



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



Thèse

présentée par

Guillaume SIMONIN

Ingénieur ENSTIB

pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE
L'UNIVERSITE HENRI POINCARÉ – NANCY I**

Ecole doctorale : Ressources Produits Procédés Environnement.

Domaine de Formation Doctorale : Génie des produits, Procédés et des Systèmes Industriels.

Discipline : Sciences du Bois

Soutenue le mercredi 10 novembre 2010

Amélioration des performances d'outils de coupe pour la première transformation du bois

Composition du Jury

Rapporteurs

Benoît FURET
Remy MARCHAL

Professeur
Professeur

IUT de Nantes, NANTES
Arts et métiers ParisTech, CLUNY

Examineurs

Patrick MARTIN
Paul SIAT

Professeur
Directeur Général

Arts et métiers ParisTech, METZ
SIAT-BRAUN, URMATT

Directeur de thèse

Pascal TRIBOULOT

Professeur

ENSTIB, EPINAL

Co-directeur de thèse

Pierre-Jean MEAUSOONE MCF HDR

ENSTIB, EPINAL

A mes frères

L'usage et la pratique ont précédé toutes les sciences et tous les arts ;
mais les sciences et les arts ont ensuite perfectionné la pratique.
(César Chesneau)



Thèse

présentée par

Guillaume SIMONIN

Ingénieur ENSTIB

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE HENRI POINCARÉ – NANCY I

Ecole doctorale : Ressources Produits Procédés Environnement.

Domaine de Formation Doctorale : Génie des produits, Procédés et des Systèmes Industriels.

Discipline : Sciences du Bois

Soutenue

Amélioration des performances d'outils de coupe pour la première transformation du bois

Composition du Jury

Rapporteurs

Benoît FURET
Remy MARCHAL

Professeur
Professeur

IUT de Nantes, NANTES
Arts et métiers ParisTech, CLUNY

Examineurs

Patrick MARTIN
Paul SIAT

Professeur
Directeur Général

Arts et métiers ParisTech, METZ
SIAT-BRAUN, URMATT

Directeur de thèse

Pascal TRIBOULOT

Professeur

ENSTIB, EPINAL

Co-directeur de thèse

Pierre-Jean MEAUSOONE MCF HDR

ENSTIB, EPINAL

Remerciements

Cette thèse a fait l'objet d'une convention CIFRE passée entre l'entreprise SIAT-BRAUN et l'Université Henri-Poincaré - Nancy I, par le biais de l'ENSTIB d'Epinal et du laboratoire de recherche, le LERMAB.

Je transmets mes sincères remerciements et ma plus vive reconnaissance à l'ensemble des personnes suivantes pour leur collaboration, leur soutien et l'intérêt qu'ils ont manifesté durant la réalisation de ce travail.

Je remercie tout d'abord Philippe et Paul SIAT de m'avoir accueilli dans leur entreprise pendant ces trois années, de m'avoir accordé leur confiance et leur soutien dans mon travail.

Je remercie également au sein de l'entreprise SIAT-BRAUN, José LOPES, directeur industriel qui a encadré tous mes travaux durant ces trois années, ainsi que Jean-Louis SCHALLER, responsable de l'affûtage, pour tout le savoir qu'il m'a transmis.

Du côté scientifique, je remercie Monsieur Pascal TRIBOULOT, directeur de l'ENSTIB, d'avoir accepté d'encadrer mon travail de thèse.

Je tiens également à remercier Monsieur Pierre-Jean MEAUSOONE, maître de conférences à l'ENSTIB et responsable de l'encadrement de ce travail en tant que co-directeur, pour son savoir sur l'usinage du bois et le suivi de mon travail dans l'entreprise.

Je remercie tous les employés de l'entreprise avec lesquels j'ai travaillé mais dont la liste est trop longue pour être citée, et enfin mes collègues de bureau à l'ENSTIB, Alexandre et Rami, ainsi que Nicolas et Gauthier pour leur investissement dans le projet.

Remerciements	III
Introduction	11
I. Introduction.....	12
I.1. Le secteur bois en chiffres.	12
I.2. Le partenariat de recherche.....	14
<i>I.2.1. Le LERMAB</i>	<i>14</i>
<i>I.2.2. L'entreprise SIAT-BRAUN.....</i>	<i>16</i>
I.2.2.1. Historique	16
I.2.2.2. Activités	17
I.2.2.3. Développement.....	18
<i>I.2.3. La méthodologie de travail.</i>	<i>19</i>
<i>I.2.4. Plan du mémoire de thèse.</i>	<i>20</i>
II. Spécificités d'une scierie.....	22
II.1. De la matière première aux produits finis.....	22
<i>II.1.1. La forêt.....</i>	<i>22</i>
<i>II.1.2. Le matériau bois</i>	<i>24</i>
<i>II.1.3. Les produits semi-ouvrés</i>	<i>27</i>
<i>II.1.4. Les produits connexes.....</i>	<i>27</i>
II.1.4.1. Les écorces.....	27
II.1.4.2. Les plaquettes.....	28
II.1.4.3. La sciure.....	29
II.2. Présentation de la scierie.....	30
<i>II.2.1. Evolution de la scierie française au cours des dernières décennies</i>	<i>30</i>
<i>II.2.2. Contexte européen</i>	<i>32</i>
II.2.2.1. Situation économique	32
II.2.2.2. Compétitivité des scieries françaises	32
<i>II.2.3. Les différents métiers de la scierie</i>	<i>33</i>
II.2.3.1. L'exploitation forestière.....	34
II.2.3.2. Le billonnage	34
II.3. La problématique de l'opération de sciage	36
<i>II.3.1. Historique de la scie à travers les âges</i>	<i>36</i>
<i>II.3.2. La scie à ruban</i>	<i>37</i>
<i>II.3.3. La scie circulaire</i>	<i>38</i>
<i>II.3.4. Problématique du rendement matière.....</i>	<i>39</i>
II.4. Présentation de la ligne de sciage SIAT-BRAUN	41
<i>II.4.1. Alimentation de la scierie</i>	<i>41</i>

II.4.2. Première partie de la ligne de tête (Figure II-21).....	42
II.4.3. Deuxième partie de la ligne de tête	43
II.4.4. La ligne retour.....	44
II.4.5. Présentation des différentes machines	45
II.4.5.1. Canter ZD1 et ZD2.....	45
II.4.5.2. Scies CSMK S1 et S2.....	46
II.4.5.3. Unités de profilage (F1 et F2)	47
II.4.5.4. Déligneuse multi-lames MKV (KV1)	48
II.4.5.5. Dédoubluse KHM.....	49
II.4.6. Les innovations.....	50
II.4.6.1. Le sciage courbe	50
II.4.6.2. Sciages à des vitesses super critiques.....	52
II.4.7. Présentation du matériau	53
II.4.7.1. Problèmes d'humidité	53
II.4.7.2. Problèmes dimensionnels	53
II.4.7.3. Bois scié par SIAT-BRAUN	54
III. Les connaissances métiers.....	60
III.1. Généralités sur l'usinage du bois	60
III.1.1. Le mode de coupe.....	60
III.1.2. La vitesse de coupe	62
III.1.3. La vitesse d'avance	63
III.1.4. L'avance par dent, ou pas d'usinage	63
III.1.5. La flèche.....	64
III.1.6. L'épaisseur moyenne de copeau	65
III.1.7. Le nombre de dents en prise dans la matière.....	66
III.1.8. La longueur de copeau.....	68
III.1.9. Conclusions.....	69
III.2. Descriptif de la lame de scie.....	70
III.2.1. La dent	70
III.2.1.1. Les plans de travail d'un outil.....	70
III.2.1.2. Les angles principaux.....	70
III.2.1.3. L'angle de coupe γ	71
III.2.1.4. L'angle de dépouille α	71
III.2.1.5. L'angle de taillant β	72
III.2.2. La voie.....	73
III.2.2.1. Présentation.....	73
III.2.2.2. La dépouille radiale α_f	74
III.2.2.3. La dépouille latérale α_s	74
III.2.2.4. Rôle de ces angles	74
III.2.2.5. Voie et marge d'affûtage.....	75

III.2.3. Les angles secondaires	76
III.2.3.1. Le biseau de coupe λ_f	76
III.2.3.2. Le biseau de dépouille, ou angle d'inclinaison d'arête de coupe λ_s	76
III.2.3.3. Autres angles et profils de denture	76
III.2.4. Le matériau de coupe	77
III.2.4.1. Les aciers rapides.....	77
III.2.4.2. Les alliages chrome-cobalt (ST).....	78
III.2.4.3. Les carbures de tungstène.....	79
III.2.5. Le profil de denture	80
III.2.6. La brasure : interface corps de lame/pastille.....	81
III.2.6.1. Définition du brasage.....	81
III.2.6.2. Différents types de brasure	82
III.2.6.3. Pré-requis pour l'application de la brasure.....	83
III.2.6.4. Le nettoyage du support de plaquette	83
III.2.6.5. La chauffe	83
III.2.7. Le détalonnage	84
III.2.8. Le corps de lame.....	85
III.2.8.1. Différents types de corps	85
III.2.8.2. Les ouvertures et racleurs	86
III.3. Interactions.....	88
III.3.1. Interaction entre l'avance par dent f_z et l'angle de coupe γ	88
III.3.1.1. Le copeau de type I obtenu par fendage.	88
III.3.1.2. Le copeau de type II obtenu par compression.	89
III.3.1.3. Le copeau de type III obtenu par flambement.....	90
III.3.1.4. Le copeau en coupe rotative	91
III.3.2. Interaction entre paramètres géométriques et angle de coupe	92
III.3.2.1. L'angle de levage des fibres	92
III.3.2.2. Usinage en avalant.....	94
III.3.2.3. Usinage en opposition	95
III.3.3. Conclusion sur les angles de coupe et de levage	95
III.3.4. Interaction entre angle de taillant et matériau de coupe	96
III.3.4.1. Propriétés des matériaux.....	96
III.3.4.2. Le choix du matériau	97
III.3.5. Interaction entre angle et efforts de coupe.....	98
III.4. Vibrations et tensionnage d'une scie.....	98
III.4.1. Théorie de la vitesse critique.....	98
III.4.2. Rôle et nécessité du tensionnage	102
III.4.3. Réalisation du tensionnage.....	103
III.4.4. Vibrations et tensionnage	104
IV. Amélioration continue des outils de coupe et de leur maintenance.....	108
IV.1. Nettoyage de la lame	109

IV.2. Contrôles systématiques.....	110
<i>IV.2.1. La planéité.....</i>	<i>110</i>
IV.2.1.1. Bibliographie	111
IV.2.1.2. Pratique au sein de l'entreprise SIAT-BRAUN.....	112
<i>IV.2.2. Contrôle de la voie</i>	<i>112</i>
IV.2.2.1. Rappel Bibliographie	112
IV.2.2.2. Pratique au sein de l'entreprise	112
<i>IV.2.3. Contrôle de l'usure.....</i>	<i>113</i>
IV.2.3.1. Cycles de l'usure.....	113
IV.2.3.2. Mesure de l'usure.....	114
IV.2.3.3. Les chocs.....	116
IV.2.3.4. Pratique au sein de l'entreprise	116
IV.3. Affûtage	117
<i>IV.3.1. Pratique au sein de l'entreprise</i>	<i>117</i>
IV.3.1.1. Détalonnage et affûtage sur la face de dépouille	118
IV.3.1.2. Calcul de la perte de voie.....	119
IV.4. Optimisation de l'atelier d'affûtage	121
<i>IV.4.1. Choix des pastilles carbure</i>	<i>121</i>
<i>IV.4.2. Achat d'une machine à braser</i>	<i>122</i>
<i>IV.4.3. Implantation et nouvelle méthode de travail.....</i>	<i>125</i>
IV.4.3.1. Implantation	125
IV.4.3.2. Problématique des lames en réparation	126
IV.4.3.3. Détalonnage et affûtage sur la face de dépouille	126
<i>IV.4.4. Outils de gestion de l'atelier.....</i>	<i>127</i>
V. Analyse et modifications des outils	130
V.1. Les outils de broyage.....	130
<i>V.1.1. Le travail des outils de canter</i>	<i>130</i>
V.2. Travail des unités de profilage	131
<i>V.2.1. Problématique</i>	<i>131</i>
<i>V.2.2. Analyse des différentes solutions.....</i>	<i>133</i>
V.2.2.1. Simple/double fraisage.....	133
V.2.2.2. Vitesse de rotation du porte-outil.....	134
V.2.2.3. Géométrie de coupe.....	135
V.2.2.4. Affûtage.....	136
V.3. Analyse et modifications des lames de scies circulaires ou comment diminuer le trait de coupe	138
<i>V.3.1. Analyse des lames existantes</i>	<i>138</i>
V.3.1.1. Machine MKV	138
V.3.1.2. Présentation des lames	138
V.3.1.3. Travail et état de surface	139

V.3.1.4. Diminution de la voie	139
V.3.1.5. Machine CSMK	140
V.3.2. <i>Modification de l'existant</i>	141
V.3.2.1. Mise ne place d'un troisième type de lame CSMK	141
V.3.2.2. Méthode de réglage MKV	145
V.3.2.3. Nouvelle lame MKV.....	148
V.3.3. <i>Inversion des sens de rotation</i>	149
V.3.3.1. Scies CSMK	151
V.3.3.2. Scies MKV	152
V.3.3.3. Propositions de travail	153
V.3.4. <i>Nouvelles lames</i>	153
V.3.4.1. Cahier des charges fonctionnel.....	153
V.3.4.2. Exemple de modification.....	154
V.3.5. <i>Conclusions</i>	156
V.4. Les modifications angulaires : Interaction matériau de coupe - angle de coupe	157
V.4.1. <i>Les différentes phases de la vie d'un outil</i>	157
V.4.2. <i>Problématique de l'étude</i>	158
V.4.3. <i>Présentation de l'étude et des paramètres</i>	158
V.4.4. <i>Le plan d'expérience</i>	159
V.4.4.1. Choix des matériaux	160
V.4.4.2. Les variables et leurs modalités	162
V.4.5. <i>Mise en place des expériences</i>	163
V.4.5.1. Obtention des différents matériels pour les essais.....	163
V.4.5.2. Présentation de la machine de test TEEMO	164
V.4.5.3. Les moyens de mesures	165
V.4.5.4. Mise en place des mesures.....	166
V.4.5.5. Organisation des essais	167
V.4.6. <i>Résultats obtenus</i>	168
V.4.6.1. Mesures de couple	168
V.4.6.2. Mesures d'usure, utilisation de la table	169
V.4.6.3. Pertinence des résultats.....	171
V.4.6.4. Essais en milieu industriel	172
VI. Conclusion générale et perspectives	174
VI.1. Conclusions	174
VI.1.1. <i>Bilan pour l'entreprise</i>	174
VI.1.2. <i>Les avancées concernant les outils</i>	175
VI.1.3. <i>Limites du projet</i>	175
VI.2. Perspectives	176
VI.2.1. <i>Perspectives du développement des outils</i>	176
VI.2.2. <i>Perspectives personnelles</i>	176

Introduction

Avant propos

Le mémoire de thèse ici présenté est le fruit de mon travail de trois années au sein de l'entreprise SIAT-BRAUN, sur le site d'URMATT (67), en tant qu'ingénieur recherche-développement sur l'analyse des outils de production de la scierie. Mon cadre de travail ne s'est pas limité à l'aspect recherche : en effet, la connaissance des conditions de fabrication, des matériels de production, ainsi que la demande de production ont souvent orienté mes travaux vers des domaines non initialement prévus. De plus, les différents essais ont été réalisés dans des conditions industrielles, et parfois n'allant pas au bout par manque de résultats immédiats. Dans ce cadre d'évolution permanente, j'ai toujours souhaité partager les nouvelles connaissances avec les personnes avec qui j'ai travaillé dans le but de mieux maîtriser leur outil de production. De ces faits, le présent document se présente en mêlant les données bibliographiques, les différentes solutions technologiques adoptées et les apports personnels réalisés pour l'entreprise. Ces trois items sont utiles à l'entreprise dans le but d'une meilleure appropriation de leur outil de production avec une veille technologique, d'une connaissance de leur procédé et de l'évolution de leurs outils de coupe.

I. Introduction

I.1. Le secteur bois en chiffres.

Pour mieux comprendre les tenants et les aboutissants du sujet, il convient d'étudier tout d'abord le milieu macro-économique de la filière bois. Les Sessis (Services des études et des statistiques industrielles) ont publié les éléments suivants dans leur étude en 2008 [1].

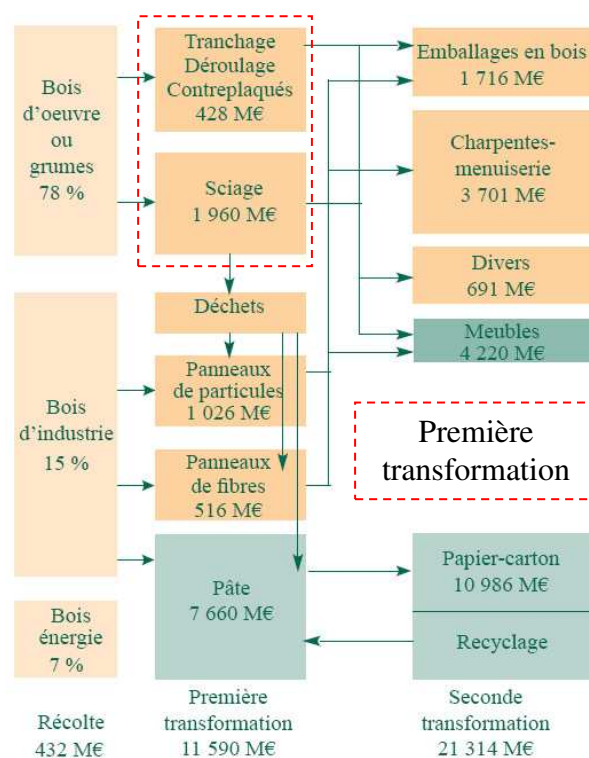
La filière bois emploie 173 000 salariés et réalise 33 milliards d'euros de chiffre d'affaires dans les entreprises de 20 salariés ou plus (Figure I-1). Un artisanat puissant la renforce avec 58 000 salariés et 7 milliards d'euros de chiffre d'affaires. En termes d'emploi, cette filière, hors artisanat, représente autant que l'industrie automobile. En revanche, son chiffre d'affaires est trois fois moins important. Cette filière se compose ainsi d'industries de main-d'œuvre et de process. Les débouchés des secteurs situés dans la deuxième transformation de la filière se concentrent dans les activités du commerce ou de la construction. La perte de 25 000 emplois, depuis l'année 2000, est due au ralentissement de l'activité dans l'industrie papetière (-15 000 salariés) et dans celle du meuble (-10 000 salariés). La production de la filière est stable sur cette période grâce aux performances des industries du travail du bois dont l'activité a progressé de 10 % entre 2000 et 2006.

La biodiversité des forêts françaises favorise la richesse des sciages et offre ainsi de multiples essences dont certaines croissent très rapidement : douglas, sapin, épicéa. Par ailleurs, les scieurs français sont capables de s'adapter et de produire de grandes longueurs, de fortes sections ou des dimensions spécifiques, à l'inverse des productions scandinaves très standardisées. Toute la récolte commercialisée de grumes n'est pas transformée chez les scieurs français. D'une part, la récolte de grumes de feuillus est largement exportée car la France dispose d'une ressource importante. D'autre part, le secteur du meuble, qui est le principal utilisateur de ces bois nobles, enregistre une baisse d'activité depuis plusieurs années. Depuis l'année 2000, les volumes de feuillus sciés reculent régulièrement et s'établissent aujourd'hui à 1,8 million de m³ de bois ronds. En

revanche, les sciages de résineux sont très sollicités en raison de l'augmentation de la construction neuve en 2003 et la production atteint 8 millions de m³ en 2006. Les volumes sciés de sapin-épicéa ont d'ailleurs encore augmenté de 20 % au cours des trois dernières années.

Le commerce extérieur des industries du travail du bois, structurellement déficitaire depuis de nombreuses années, s'est dégradé en 2007. Le déficit commercial atteint 1,7 milliard d'euros, contre 0,8 milliard d'euros en 2000. Cette diminution du solde commercial affecte l'ensemble des produits du travail du bois, qu'il s'agisse des sciages, des panneaux ou des menuiseries.

Cependant, l'activité des scieries est la plus touchée en raison d'une augmentation importante des importations. Ces dernières ont crû de 58 % entre 2000 et 2006 tandis que les exportations sont restées stables. De ce fait, le taux de couverture de cette industrie des sciages s'est fortement dégradé. Il atteint 34 % en 2006, contre 52 % en 2000. Le déficit s'est particulièrement amplifié avec l'Allemagne. Les tempêtes de 2005 dans ce pays ont eu pour



Champ : entreprises de 20 salariés ou plus
Sources : Sessi, Scees - enquêtes annuelles d'entreprises 2006

Figure I-1 : Répartition du CA de la filière bois par secteur

conséquence une augmentation importante des flux entrants de grumes d'épicéa, et dans une moindre mesure de pin. En effet, ces importations ont plus que doublé sur cette année et ont alimenté les scieries du nord-est de la France.

La balance extérieure de la France pour l'ensemble de la filière du bois et de l'ameublement affiche un solde négatif de plus de 6 milliards d'euros en 2008 : c'est le deuxième poste de déficit commercial français, après celui de l'énergie. C'est pourquoi le président de la république, N.SARKOZY, a confirmé la volonté de l'état français de changer les chiffres énumérés ci-dessus lors d'un discours prononcé à URMATT le 19 mai 2009 après la visite de l'entreprise SIAT-BRAUN.

La forêt française est la troisième plus vaste d'Europe et sa surface a augmenté de 50% depuis 1950. Cependant, seulement 60% de l'accroissement naturel annuel est prélevé chaque année. Afin de relancer et de faire progresser l'utilisation du bois, le seuil minimum d'utilisation du bois dans les constructions neuves sera multiplié par dix en 2010, avec la promotion de l'utilisation de bois certifiés dans les constructions publiques.

Pour répondre à cette augmentation de la demande, il est nécessaire de sortir plus de bois des forêts. Le problème est que la moitié de l'accroissement annuel se trouve dans des forêts privées, dont la surface moyenne est de 3 hectares (11 millions d'hectares pour 3.5 millions de propriétaires). Le président propose donc des avantages fiscaux pour les propriétaires qui choisiraient d'exploiter leurs forêts, ce qui permettrait d'avoir plus de matière d'œuvre à destination de la première transformation.

L'enjeu qui devra ensuite relevé sera pour ces industries de proposer des produits de qualité équivalente à celle des produits allemands et scandinaves, issus de processus plus élaborés et plus compétitifs que ceux présents sur le territoire français.

1.2. Le partenariat de recherche.

1.2.1. Le LERMAB

Le Laboratoire d'Etudes et de Recherches sur le Matériau Bois (LERMAB) comprend trois axes de recherche. Au sein du groupe Mécanique des structures et Ingénierie, une équipe de recherche travaille sur le thème Fabrication et Production, dont une des spécificités est l'usinage du bois. Ses travaux sont ciblés sur la détermination optimale des conditions de coupe en fonction des différents facteurs intervenant dans le processus. Dans un premier temps, l'équipe de recherche s'intéresse à identifier, spécifier, structurer et formaliser les connaissances présentes dans l'environnement de production de la pièce de bois. Dans un

second temps, l'équipe cherche également à définir les procédures expérimentales de qualification des ressources, des produits et des processus. Au final, le but global est d'infirmier ou d'affirmer les prises de décisions concernant le processus de fabrication des produits bois.

Les installations existantes au laboratoire permettent de réaliser des recherches au niveau de la coupe par enlèvement de copeau, couvrant ainsi la première et la seconde transformation du bois (scie à ruban, scie circulaire, toupillage, défonçage). La recherche comporte à la fois un volet expérimental (plan d'expérience, paramètres pertinents...) et un volet modélisation (efforts de coupe en fonction de caractéristiques mécaniques du matériau, usure des outils...). Cette équipe a effectué une thèse sur la précision des scies à ruban, par Rivat [2] en 1996 et ce même travail sur les scies circulaires par Chabrier [13] en 1997. Sur la notion de couple outil-matière, une première thèse, par A. Aguilera [59], a permis de regrouper les différents paramètres intervenant dans un contexte industriel d'usinage du bois. Une deuxième thèse, soutenue par Eyma [58] en 2002, a permis d'évaluer l'influence des caractéristiques mécaniques et physiques du matériau sur la coupe. La caractérisation scientifique de l'usinage du bois porte aussi sur les connaissances liées aux modes de dégradation de l'arête de coupe de l'outil. Une thèse a été soutenue en 2006 à ce sujet par Gauvent [51]. Boucher a réalisé une étude complète du couple-outil-matière pour la coupe rotative du bois dans sa thèse en 2007. La dernière en date est celle de Rougié (2009), qui s'était attaché à concevoir un outil d'élagage de bord de route, avec un mode de coupe innovant. Le but en était d'améliorer la sécurité, les états de surface des haies, mais aussi de broyer et de récupérer les chutes afin de les valoriser.

L'ensemble de ces thèses auront été très utiles pour la réalisation du travail présenté ci-après : les deux premières présentent l'état de l'art, une dizaine d'année en arrière, des deux principaux outils de sciage. La thèse d'Eyma a permis de comprendre tous les paramètres responsables des variations d'efforts de coupe. Les travaux réalisés par Gauvent, notamment les moyens techniques d'usure des outils, ont été réutilisés. La qualité du travail de rédaction de Boucher a mis en exergue les caractéristiques angulaires d'un outil et a été d'une grande aide pour retrouver des références bibliographiques notamment. Enfin, Rougié fût le premier à mentionner en détail les aspects du broyage du bois, qui ont eux aussi pu être réutilisés pour mon travail.

I.2.2. L'entreprise SIAT-BRAUN.

I.2.2.1. Historique

A l'origine, la société SIAT était une petite entreprise familiale, fondée en 1827. Depuis plus de 100 ans, l'entreprise est installée aux abords de la rivière « La Bruche » sur la commune d'Urmatt, sur le versant alsacien des Vosges. Vers la fin des années 1990, la scierie comptait 90 personnes.

La politique d'investissement a toujours été forte pour cette entreprise, comme en témoignent l'achat d'une ligne canter en 1985 et l'actuel parc à grumes en 1994 ; ceci a permis à l'entreprise d'être qualifiée de « scierie industrielle ».

En 1999, l'entreprise familiale SIAT prend le contrôle de l'entreprise FERDINAND BRAUN (240 personnes). En réalisant l'unité des deux entreprises, la société SIAT poursuit sa politique d'investissement, renforce sa position dans l'hexagone et se place sur le marché européen. Il ne s'agit pas d'un simple regroupement, d'une scierie qui s'ajoute à une autre, mais de la fusion de deux entités en un potentiel puissant fondé sur des complémentarités. En janvier 2002, la fusion juridique des deux sociétés devient SIAT-BRAUN.

La scierie FERDINAND BRAUN comprenait une scierie basée à Heiligenberg et une raboterie à Niederhaslach. Avant d'être rachetée par la société SIAT, la scierie FERDINAND BRAUN appartenait au groupe papetier finlandais UPM-Kymmene.

Depuis le rapprochement des deux sociétés, l'équipe dirigeante concentre ses efforts sur la construction d'une culture unique d'entreprise, chacune des deux sociétés possédant son histoire, sa culture, ses propres valeurs. Un vaste chantier a donc été mis en œuvre afin d'obtenir une entité économique et industrielle aux cohésions fortes.

1827
Création de la scierie SIAT par Florent SIAT sur le versant alsacien des Vosges à 40 kms de Strasbourg.

1830 à 1960
L'entreprise grandit au fil des générations SIAT (de Jean-Philippe à Pierre, père des dirigeants actuels).

1964
Construction d'une unité de production plus moderne (châssis + scie à ruban).

1984 à 1987
Investissements importants pour moderniser la scierie : nouvelle ligne de sciage «Carter» + scies circulaires au carbure, empileuse et trieur automatique
45 boxes, entrée en force de l'électronique.
55 salariés / 10 M €

1995
Inauguration du nouveau parc à grumes d'Urmatt.
70 salariés / 16 M €

1999
Rachat de la société Ferdinand BRAUN par Philippe et Paul SIAT : SIAT BRAUN devient le n° 1 français du sciage résineux.
90 + 240 salariés
23 + 41 M €

juin 2003
Incendie et destruction quasi-totale de la scierie d'Urmatt
310 salariés / 60 M €

mai 2005
Lancement de la nouvelle unité de production d'Urmatt (investissement 42 M€)
300 salariés / 65 M €

2006
290 salariés / 74 M €

En juin 2003, un terrible incendie détruisit l'outil de production de la scierie d'Urmatt. Avec un investissement colossal de 43 millions d'euros, SIAT-BRAUN fit peau neuve et devint le plus gros site de sciage résineux en France.

I.2.2.2. Activités

L'entreprise SIAT-BRAUN, transforme annuellement 600 000 m³ de billons pour un volume de sciages vendu de 360 000 m³ et un chiffre d'affaires de 84 millions d'euros. Les activités du groupe se répartissent sur trois sites distants d'à peine quelques kilomètres (Figure I-2) :

- Une scierie industrielle et un parc à grumes à **Urmatt** ;
- Une scierie traditionnelle et trois parcs à grumes à **Heiligenberg** ;
- Une raboterie à **Niederhaslach**.



Figure I-2I-2: Localisation des sites de production

Les principales activités exercées, tous sites confondus, sont :

- La réception et le stockage des grumes
- La mise en billons et leur stockage
- Le sciage
- Le séchage
- Le profilage

- Le stockage des produits finis et des produits connexes
- Le traitement du bois
- L'arrosage des grumes.

Les billons sciés sont transformés en différents produits (fermettes, planches, poutres, madriers, bastings, chevrons, emballages, profils rabotés, ...) destinés aux négoce de matériaux, y compris aux GSB (Grandes Surfaces de Bricolage), ainsi qu'aux charpentiers industriels et aux emballeurs. Tous ces produits peuvent avoir une épaisseur et une largeur comprise entre 14 et 400mm, et une longueur comprise en 3 et 10m.

Les produits connexes de scierie sont revendus et majoritairement valorisés comme matière première secondaire. Les industriels du panneau de particules consomment la sciure, les papetiers utilisent les plaquettes, et l'écorce est valorisée comme paillage ou comme compost auprès des entreprises s'occupant des espaces verts.

I.2.2.3. Développement

Au niveau des projets en cours, un pont, passant au dessus de la voie de chemin de fer, permettra aux camions d'accéder à la scierie sans passer au milieu du village, pour le confort des riverains.

Un futur projet de cogénération permettra, à l'aide de la combustion des écorces, de produire de l'électricité (pour une puissance de 5 MW) et de sécher les sciages ainsi que la sciure pour la fabrication de pellets.

Le parc à grumes d'Urmatt n'a pas la capacité d'alimenter à lui seul la scierie. L'entreprise utilise les parcs d'Heiligenberg pour subvenir à ce besoin. Des navettes acheminent tous les jours des billons depuis ce site. Pour des raisons économiques et environnementales, l'entreprise envisage donc d'investir dans un nouveau parc à grumes polyvalent sur le site d'Urmatt, qui permettra l'alimentation de la ligne canter.

I.2.3. La méthodologie de travail.

Le sujet traite de « l'amélioration des outils de coupe pour la première transformation du bois » et l'étude aurait du, aux premiers abords, se dérouler chez un outilleur. D'ailleurs, la thèse de Chabrier, bien que réalisée au sein de l'ENSTIB, était en collaboration avec la société RDB ONCI, fabricant de lames. Ce sont ces derniers qui réalisent les outils, d'après les cahiers des charges fournis par le scieur et les fabricants de machine-outil. Mais la vie d'un outil ne s'arrête pas à sa première utilisation. Toutes les opérations effectuées sur ce dernier à chaque passage dans l'atelier d'affûtage ont autant d'importance que sa fabrication pour sa bonne marche.

La connaissance du matériau, par le biais de ma formation à l'ENSTIB, était aussi un pré-requis pour pouvoir étudier le travail de l'outil sur ce dernier.

Pour la réalisation des travaux qui vont être présentés, il a d'abord fallu que je comprenne le métier d'affûteur, en m'immergeant complètement dans l'atelier durant quelques mois. Outre l'apprentissage de ce métier basé sur l'expérience, cela m'a permis de comprendre le fonctionnement de l'atelier et de faire les premiers constats liés aux problèmes d'outillage. Les diverses périodes de congés où je suis allé renforcer l'équipe m'ont aussi permis de suivre l'application des méthodes demandées, de détecter l'apparition de nouveaux problèmes ou encore des possibilités d'amélioration des processus.

Les matériels utilisés par l'entreprise SIAT-BRAUN sont des machines de production performantes dont les conditions de travail sont difficilement reproductibles en laboratoire. C'est pourquoi la quasi-totalité des travaux réalisés l'ont été dans l'entreprise, contrairement à la majorité des thèses. Ce mode de fonctionnement présente ses avantages et ses inconvénients. Le fait d'être en tout temps immergé dans le milieu industriel m'a permis d'en comprendre tout le fonctionnement, au delà du sujet présenté ci-après. Cela m'a aussi permis de devenir une personne « ressource » quant aux problèmes d'outils. Le temps au laboratoire a permis de faire la recherche bibliographique, d'utiliser les moyens informatiques indisponibles en entreprise, d'encadrer un projet de fin d'études sur l'usure des outils, et de rédiger les rapports d'avancement.

L'immersion continue dans l'entreprise m'a aussi permis de participer à divers projets qui n'étaient pas en rapport, ou alors indirectement, avec les outils de coupe.

I.2.4. Plan du mémoire de thèse.

Après cette introduction des différents partenaires de l'étude et des données économiques de la filière bois, le chapitre II présente les spécificités du domaine de la scierie. En effet, une scierie relève le challenge de transformer un produit naturel, de forme globalement tronconique en un produit industriel, référencé et régulier, de forme parallélépipédique rectangle. Le regard porté sera évidemment du côté du scieur, en donnant les diverses contraintes que procure la matière première pour parvenir aux produits finis. Nous présenterons ensuite la place de la scierie dans un contexte national et européen. Techniquement, l'opération de sciage est particulière: nous aborderons la problématique de cette opération et nous l'appliquerons à la ligne de sciage de SIAT-BRAUN, révélant ses nombreuses particularités.

Le chapitre III portera sur les acquis scientifiques et technologiques inhérent au métier de scieur : pré requis sur les lois d'usinage bois et particulièrement sur celles régissant le travail des scies circulaires. Cette lame de scie circulaire est un outil complexe qui nécessite une description fine. Nous présenterons donc les différentes interactions entre les différents paramètres géométriques, la caractérisation dynamique de l'outil. Ces nombreuses contraintes doivent être prises en compte lors de la fabrication de la lame de scie circulaire, domaine non maîtrisé par la scierie, mais également lors de la phase de maintenance de l'outil, domaine ici gérée par l'entreprise.

De ce fait, le chapitre IV décrira la maintenance réalisée sur la lame de scie circulaire, en caractérisant les opérations d'entretien et le processus d'affûtage. Les travaux réalisés au sein de cette unité m'ont amené à modifier différents outils de la ligne de sciage : canters, outils de profilage, lames de scie circulaire de la déligneuse CSMK et de la déligneuse multi lames MKV. Nous aborderons ces aspects au sein du chapitre V, en ciblant deux aspects complémentaires: modifications apportées au sein de l'entreprise et développements effectués à notre demande par nos fournisseurs d'outils.

Enfin, nous concluons sur le travail réalisé depuis trois ans et proposerons des développements envisageables au sein de l'atelier de sciage de l'entreprise.

Spécificités d'une scierie

II. Spécificités d'une scierie

II.1. De la matière première aux produits finis

II.1.1. La forêt

D'après l'IFN [1], et d'un point de vue botanique, une forêt est une formation végétale, caractérisée par l'importance de la strate arborée, mais qui comporte aussi des arbustes, des plantes basses, des grimpantes et des épiphytes. Plusieurs arbres forestiers vivent en symbiose avec des champignons et d'autres micro-organismes, et beaucoup dépendent d'animaux pour le transport de leur pollen ou de leurs graines.

Du point de vue de l'écologie, la forêt est un écosystème complexe et riche, offrant de nombreux habitats à de nombreuses espèces et populations animales, végétales, fongiques et microbiennes entretenant entre elles, pour la plupart, des relations d'interdépendance.

Tous les pays membres de l'union européenne dispose d'un service d'inventaire forestier. Les méthodes d'inventaire ont été harmonisées depuis peu : depuis que chaque état s'est engagé à fournir des données auprès de divers organismes, comme la FAO [2]. Ce dernier donne la définition suivante à la forêt :

« La forêt est un territoire occupant une superficie de plus de 0.5 hectare avec des arbres capables d'atteindre une hauteur supérieure à 5 mètres in situ, un couvert arboré de plus de 10% et une largeur d'au moins 20 mètres ».

Cependant, tous les pays n'appliquent pas cette définition (Tableau II-I) :

Variable	Définition de la FAO	Appliqué en Europe par	Exemples			
			Allemagne	Autriche	Espagne	France (depuis 2005)
Surface minimale (ha)	0,5	26 pays	0,1	0,05	2,5	0,5
Largueur minimale (m)	20	20 pays	10	10	25	20
Taux de couvert minimal (%)	10	22 pays	50	30	5	10
Hauteur minimale de l'arbre (m)	5	16 pays	-	1 à 8 mètres selon l'espèce	3	5

Tableau II-I : Application de la définition de la FAO

Si l'on fait exception de ces différences de modes de calcul, qui peuvent être dues à la morphologie des paysages, comme entre l'Espagne et l'Autriche, ou au type de forêt (la sylviculture allemande donne des forêts denses), on remarque que la France dispose de la quatrième forêt d'Europe (Tableau II-III) :

1 Inventaire Forestier National

2 Organisation des nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

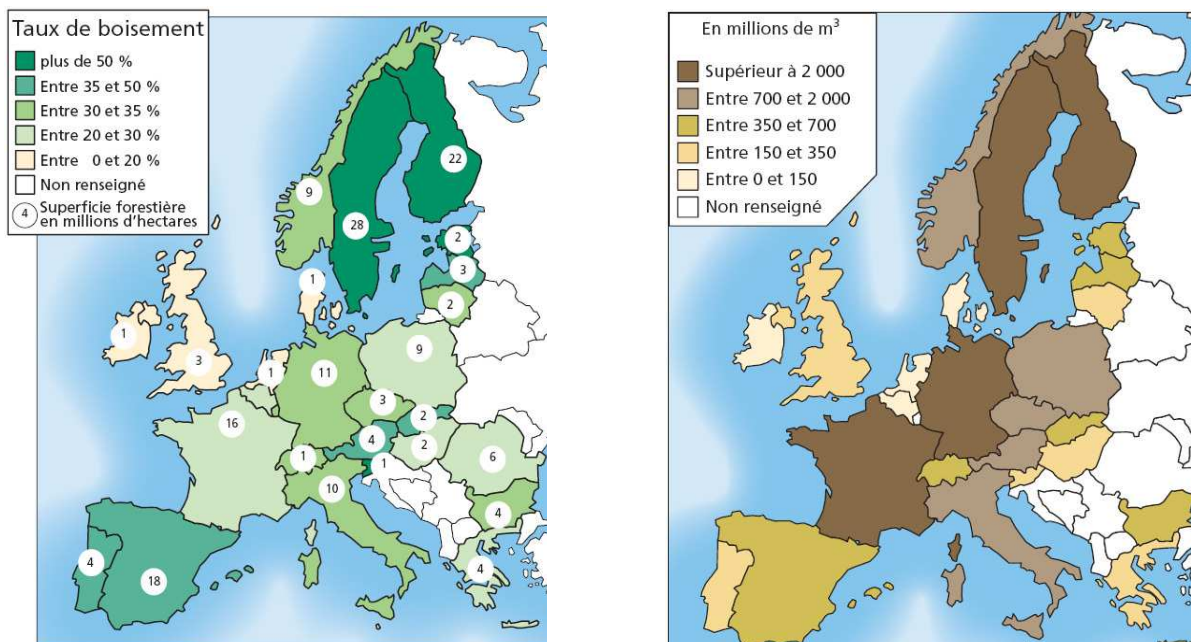


Figure II-1 : Taux de boisement et volume sur pied en Europe

Parmi ces forêts, certaines sont très denses comme en Europe centrale et d'autres plus éparses comme en Espagne. De même, certaines forêts sont à dominante résineuse, dans les pays montagnards ou nordiques. Les peuplements feuillus se retrouvent eux dans les pays méditerranéens ou sous influence océanique.

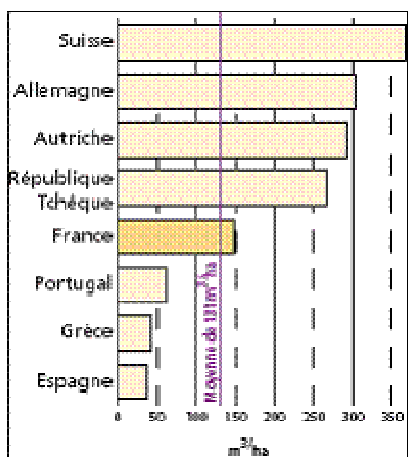


Tableau II-II : Situation de la France par rapport aux autres pays en termes de densité à l'hectare

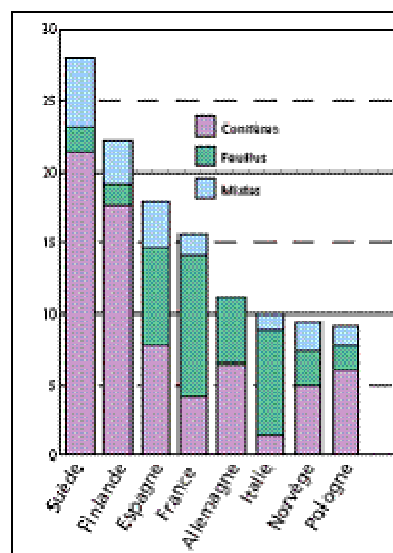


Tableau II-III : Surface des forêts des 8 pays d'Europe les plus boisés (en millions d'hectares) et composition

On remarque par le biais de ces tableaux que par rapport aux autres forêts européennes, la forêt française est à peine plus dense que la moyenne, mais qu'elle est aussi très variée, à l'instar des différents climats que l'on y rencontre.

La scierie SIAT-BRAUN ne débite que des bois résineux. La plus grande proportion est constituée de résineux dit « blanc », c'est-à-dire du Sapin (*Abies alba* et *Abies pectinata*) et de l'Épicéa (*Picea Abies*). Dans une proportion très minoritaire, du douglas (*Pseudotsuga menziensii*) ainsi que du pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) sont débités. Dans le reste du mémoire, nous utiliserons les termes « sapin » et « épicéa » pour abrégé les noms botaniques latins cités précédemment. La figure suivante (Figure II-2) présente la répartition de ces deux essences sur le sol français :

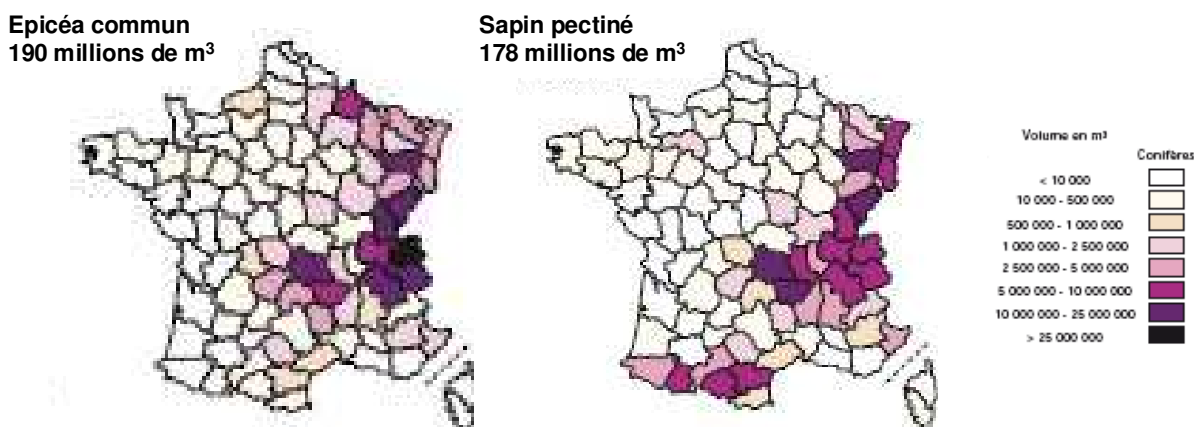


Figure II-2 : Répartition de l'épicéa et du sapin sur le sol français

La scierie SIAT-BRAUN usine sans distinction du Sapin et de l'Épicéa, ces deux essences étant très proches visuellement et mécaniquement pour l'utilisateur final [Annexe 1]. C'est d'ailleurs pour cette raison que les deux essences sont regroupées au niveau normatif sous le même code (WPCA) [3]. Environ 60% de l'approvisionnement provient des départements du Bas-Rhin, du Haut-Rhin et des Vosges, tous trois possédant une partie du massif vosgien. Dans une plus faible proportion, la scierie s'approvisionne dans le Jura, les Ardennes et en forêt noire. Lors de la dernière décennie, elle a aussi pris l'opportunité d'utiliser les chablis des tempêtes Lothar (1999) et Kyrill (2005).

II.1.2. Le matériau bois

Le bois est un matériau à l'origine du développement de l'humanité. Il constitua la matière de base des premiers outils ainsi que des premières armes (avec la pierre). Ce fut aussi le premier combustible, associé à la découverte du feu.

Le bois est surtout un matériau naturel, utilisable sans transformation complexe pour être mis en œuvre. Encore aujourd'hui, la construction d'une maison en bois par exemple demande 6 fois moins d'énergie que son équivalente en béton.

A l'échelle de la planète, la formation du bois est un processus très rapide, et ce renouvellement naturel explique pourquoi l'homme s'est toujours intéressé à ce matériau. Cet intérêt ne cesse de s'amplifier puisque la formation du bois est le deuxième puits de stockage du gaz carbonique (après les océans), responsable majoritaire de l'effet de serre et du réchauffement climatique, challenge pour l'homme de ce millénaire.

Le côté naturel du bois le rend cependant complexe par rapport aux autres matériaux : chaque arbre sur cette terre est unique (avec son propre code génétique), et de fait, le bois qui le compose aussi. Ce matériau est anisotrope, ce qui signifie qu'il n'a pas les mêmes propriétés mécaniques selon le sens dans lequel on le sollicite. Comme décrit sur la Figure II-3, il possède trois axes de travail: l'axe radial, l'axe transversal et l'axe longitudinal. Ces trois axes sont générés par le mode de croissance de l'arbre en deux phases, l'une verticale due au méristème primaire, et l'autre radiale due au méristème secondaire. Comme tout être vivant, l'arbre est constitué de cellules. Les siennes sont comparables à des tubes qui sont empilés les uns au dessus des autres et les uns à côté des autres.

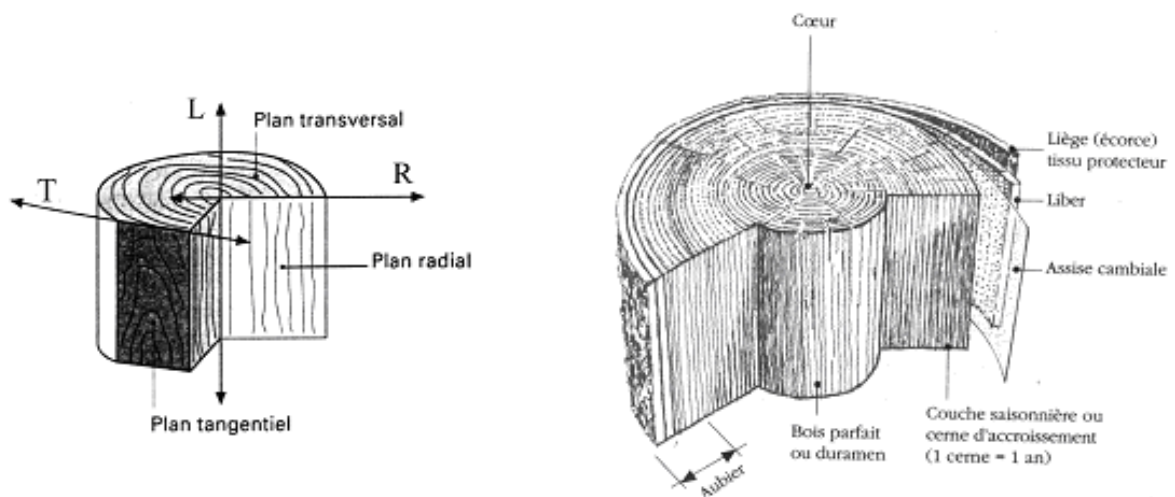


Figure II-3 : Direction d'anisotropie et anatomie du bois

Le bois, de part cet empilement de cellules, possède des caractéristiques mécaniques très supérieures dans son axe longitudinal, axe qui se retrouve être celui des produits semi-ouvrés en bois.

Les arbres sont classés par famille :

- Les gymnospermes, ou résineux. Cette famille est la plus ancienne sur terre ;
- Les angiospermes, ou feuillus ;
- Les Ginkgoacés. Cette famille presque éteinte n'est plus composée que par une seule essence : Le Ginkgo biloba.

A l'intérieur de chaque famille, on sépare les arbres en espèces regroupant les bois dont les caractéristiques de croissance sont similaires. Sur l'échelle de l'évolution, les feuillus sont plus élaborés que les conifères. Le bois, en tant qu'être vivant, est constitué de cellules, ainsi les feuillus ont des cellules différenciées, dédiées à une application donnée. Certaines servent à la circulation de la sève, les vaisseaux, et d'autres prévues pour le soutien mécanique de l'arbre, les fibres. Chez les conifères, c'est le même type de cellules qui sert à ces deux fonctions vitales pour l'arbre (Figure II-4).

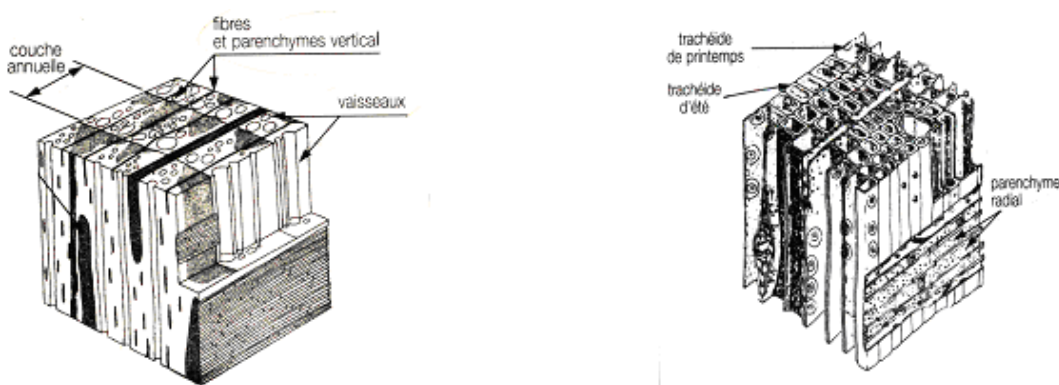


Figure II-4 : Plan ligneux des feuillus (gauche) et des conifères (droite)

La croissance de l'arbre se fait avec des rythmes de croissance et des morphologies de cellules différentes selon la saison, ce que l'on appelle les cernes d'accroissement. Dans nos régions tempérées, avec des saisons bien marquées, on peut connaître l'âge d'un arbre en comptant le nombre de cernes, à savoir un par an (les arbres stoppent leur croissance en hiver). Dans les régions tropicales où les saisons sont peu marquées, les arbres poussent de façon plus régulière sans cerne ou avec des cernes très peu visibles.

Les conifères et les feuillus ne se comportent pas de la même façon vis-à-vis de la nature de leurs cernes d'accroissement. Pour les caractéristiques mécaniques, il est préférable d'avoir des cernes étroits chez les résineux, et des cernes larges chez les feuillus (en particulier ceux à Zone Initiale Poreuse). Il reste de nombreuses différences entre ces deux grandes familles, que l'on retrouve au niveau des singularités.

II.1.3. Les produits semi-ouvrés

Dans la première transformation du bois (Figure I-1), on peut distinguer deux types de procédés utilisant comme matière première des grumes. Il y a tout d'abord l'industrie du tranchage, déroulage, visant à la fabrication de contreplaqués et celle du sciage dont le poids en termes de chiffre d'affaire est 4.5 fois plus important. C'est cette partie de la première transformation du bois à laquelle nous allons nous intéresser.

Les produits varient entre eux de par leurs caractéristiques dimensionnelles. L'épaisseur des produits varie de 14 à 150mm, tout comme la largeur qui peut varier de 25 jusqu'à plus de 300mm. Les longueurs peuvent elles varier de 1 jusqu'à 10 mètres, en général par palier de 0.5mètre.

Chaque arbre étant unique (II.1.2), la « qualité » de son bois le sera aussi. On parle de qualité d'un point de vue visuel et d'un point de vue mécanique. Chaque aspect a son importance suivant l'application recherchée du matériau : esthétique ou structurel (ou les deux à la fois ou aussi aucun des deux). Il existe des corrélations au niveau de ces deux aspects, et pour les deux, des classes de qualité ont été définie.

Une explication détaillée sur les utilisations des sciages et les classes de qualité associées est présentée en annexe 2.

II.1.4. Les produits connexes

Les produits connexes représentent les « déchets » de l'activité de sciage. Ils sont au nombre de trois, et sont valorisés dans d'autres industries.

II.1.4.1. Les écorces

L'écorce est retirée des grumes lors du billonnage (II.2.3.2). Ces chutes sont stockées avant d'être vendues à des paysagistes qui s'en servent pour le paillage des espaces verts. La pose de cette couche protectrice sur le sol a pour effet de modifier le climat local, en régulant la température du sol ainsi qu'en conservant l'humidité.



Figure II-5II-6 : Aspect des écorces

II.1.4.2. Les plaquettes

Les plaquettes sont le fruit du déchetage du bois par certains outils de scierie comme les canters (II.4.5.1), les unités de profilage (II.4.5.3) et les broyeurs. Ces particules de bois peuvent être utilisées comme matière première dans les papeteries ou comme combustible en chaufferie après une opération préalable de séchage.

Dans le cas SIAT-BRAUN, afin de garantir la vente de ces produits, des contrats annuels ont été mis en place avec les papeteries à proximité.

Ces clients sont exigeants en termes de qualité de produits, c'est à dire en granulométrie et en qualité de bois. Celui-ci doit avoir une siccité (rapport entre masse sèche et masse humide) inférieure à 48% et la proportion d'écorces doit être inférieure à 0.7% (en masse).



Figure II-6II-7 : Aspect des plaquettes

Pour la granulométrie, un facteur nommé TQV (3) permet de « calculer » la valeur d'un échantillon. Il se calcule de la façon suivante (Équation II-1):

$$\text{TQV} = \% \text{L45} * 0.2 + \% \text{St8} * 0.75 + \% \text{L13} * 1.3 + \% \text{L7} * 0.7 + \% \text{L3} * 0.2 + \% \text{D} * 0.0$$

Équation II-1 : Calcul de TQV pour la qualité de plaquette

Les différentes classes (%L45, %St8...) correspondent à des tailles de plaquettes. On remarque que les plaquettes de « taille » 13 mm (classe L13) sont les plus intéressantes à réaliser, et que la sciure et les poussières, tout comme les grosses plaquettes, n'ont aucun intérêt à être vendue vu leur coefficient de valeur. Les différents types sont triés à l'aide de tamis vibrants (Figure II-7), puis acheminées vers différents convoyeurs en fonction de leur granulométrie.

3 Total Quality Value (anglais) = Facteur de qualité générale

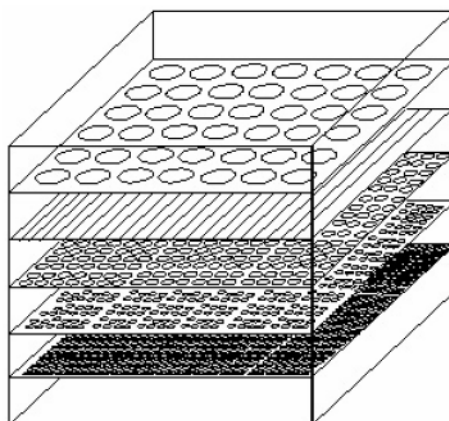


Figure II-7 : Tamis vibrants pour plaquettes

Les plaquettes ne passant pas dans les trous de diamètre 45mm (%L45), sont renvoyées vers le broyeur. Celles d'épaisseur et largeur supérieures à 8mm, ne passant pas dans les trous de 13, 7 et 3mm sont envoyées vers les plaquettes. Toutes particules passant dans le crible de 3mm constituent la sciure.

Dans la scierie SIAT-BRAUN, 3 tamis sont chargés de trier les plaquettes et la sciure. Une partie de cette dernière est envoyée avec les plaquettes, dans des proportions autorisées (Tableau II-IV). Elle est valorisée chez les clients achetant à la masse, mais pas chez ceux travaillant en volume. Par exemple, elle est valorisée dans la papeterie Norske Skög de Golbey (88), qui achète à la tonne sèche, mais pas à la Stracel (67) qui achète en volume humide.

Mojeure	000	8,79	53,79	29,29	7,23	0,89	47,12	0,16	83,08	91,88
Seuil	<1.5%	<25%			<10%	<1%	<48%	<07%	13+7-80% ou 13+7+8	>90%

Tableau II-IV : Seuils de granulométrie des plaquettes

II.1.4.3. La sciure

La sciure est constituée des fines particules de bois, résultant du travail des scies circulaires. Elle est vendue aux entreprises de fabrications de panneaux, et peut aussi servir à la fabrication de granulés de bois comprimé pour une utilisation énergétique.



Figure II-8 : Aspect de la sciure

II.2. Présentation de la scierie

D'après Hocheim [4], une scierie peut être représentée de la façon suivante d'après la méthode SADT.

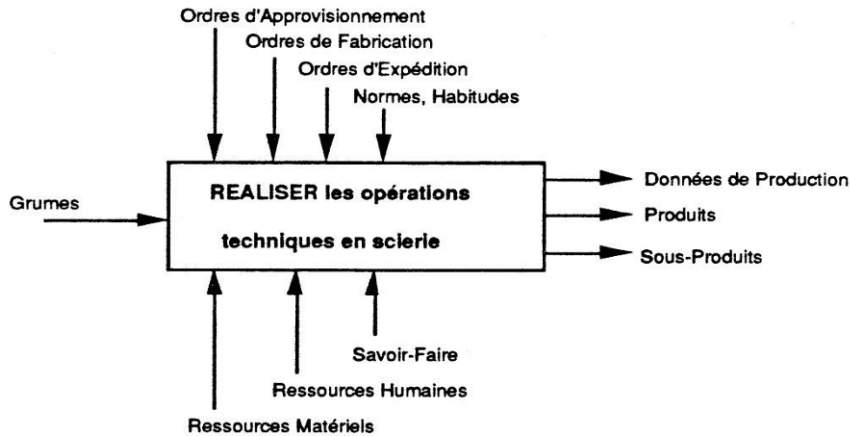


Figure II-9 : Modèle général d'une scierie

II.2.1. Evolution de la scierie française au cours des dernières décennies

Par définition, le rôle de la scierie est de transformer des bois ronds en bois sciés communément désignés par le terme « sciages ». La matière première traitée est la grume, qui consiste en tronc d'arbre ébranché et diminué de sa cime. La grume est transformée en sciages plus ou moins élaborés (plots, avivés). Le séchage ou le traitement contre les champignons et les insectes peuvent aussi accompagner l'opération de sciage. A ce titre, certaines unités de production ont également intégré la fabrication de parquets, de palettes ou de bois profilés (Figure II-10).



Figure II-10 : Fabrication de palettes et bois profilés

D'après le FCBA [5], la scierie française subit depuis trente ans une profonde mutation. Les défis suivants ont du être relevés :

- Suivre la mondialisation rapide et massive des marchés qui a induit la nécessité d'améliorer la compétitivité des entreprises, afin de demeurer présent sur les marchés intérieurs et dans une moindre mesure à l'exportation ;
- Suivre au plus près les marchés en s'adaptant constamment aux attentes des clients, c'est-à-dire la qualité de surface des produits, leur diversification, la réduction des délais ; contraste par rapport aux méthodes traditionnelles dont la base était la valorisation maximale du bois rond ;
- Concurrencer les nouveaux matériaux (béton, acier, plastique...) qui ont ravi au bois des valorisations traditionnelles, sans doute à cause d'une commodité d'emploi liée à leur homogénéité. On peut citer par exemple la fenêtre « PVC » qui a pris nombre de parts de marché.

De fait, une nette tendance au regroupement et à la concentration des scieries a été remarquée. Au lendemain de la deuxième guerre mondiale, on dénombreait en France pas moins de 15000 scieries. Vingt cinq ans plus tard, ce nombre avait diminué de moitié et en 1998, on ne dénombreait plus que 2945 unités, soit une diminution de 80% en cinquante ans. Parallèlement, on a constaté une augmentation des capacités de production. De 1990 à 1998, la production moyenne annuelle par scierie est passée de 1819 m³ à 3470 m³ de sciages. Ce sont donc les plus petites entreprises qui ont été touchées par l'évolution du domaine de la scierie : entre 1970 et 1998, 70% des scieries produisant moins de 1000 m³/an de sciages ont disparues.

Pour résumer les deux éléments contraires que sont la fermeture d'entreprise et l'augmentation des capacités de production, on remarque que la production française a augmenté de 5% environ, en trente ans. Dans le domaine des résineux, cette augmentation fut de 20% alors que la production des sciages tropicaux a diminué de moitié.

L'augmentation des capacités de sciage des entreprises a aussi permis d'augmenter leur productivité : en 1980, un salarié produisait en moyenne 336 m³/an de sciages. Ce chiffre est passé à 600 m³/an en 1998, soit une augmentation de 64% due principalement au développement de la mécanisation et des automatismes.

La scierie SIAT-BRAUN a toujours figuré parmi les plus grosses scieries françaises depuis les années 80. Elle est aujourd'hui le plus gros site de sciage résineux français, preuve que ses dirigeants ont très bien appliqué le principe d'augmentation de la production.

Cependant, elle n'apparaît pas au palmarès des 25 plus grosses scieries européennes, qui sont pour la plupart allemandes, autrichiennes ou scandinaves [6].

II.2.2. Contexte européen

II.2.2.1. Situation économique

On entend parler depuis plusieurs années de crise économique. Celle-ci a débutée aux états unis avec les sub-primes, crédits à risques utilisés pour la construction aux Etats Unis qui ont conduit à de nombreuses saisies. Cette crise en a engendré une autre, immobilière. La demande est au plus bas depuis 1991. Après une année 2007 catastrophique, les acteurs du marché ont espéré une reprise au cours de l'année 2008, qui n'arriva pas et la situation a même empiré. Or les constructions américaines sont principalement en bois. Auparavant, le dynamisme de la construction immobilière aux USA tirait vers le haut la demande en résineux. Les américains s'approvisionnaient en Amérique du Nord aussi bien qu'en Europe et principalement en Allemagne et en Autriche, Aujourd'hui, ce bois ne part plus pour les USA et engorge le marché européen en faisant une concurrence importante à l'offre française [7].

La réduction des exportations (vers les Etats-Unis) a été particulièrement forte pour les pays suivants : la Lituanie (-94%), l'Autriche (-69%), la Suède (-59%) et un total pour l'Europe de -50%. Globalement avant la crise, l'Europe exportait environ 5 millions de mètres cube outre-Atlantique. Il y a donc un engorgement du marché européen de presque 2,5 millions de mètres cube. De fait, la Suède ou l'Allemagne cherchent à se rabattre sur le marché espagnol, français et maghrébin.

II.2.2.2. Compétitivité des scieries françaises

Depuis le début des années 1990, la production française de sciage connaît un véritable décrochage par rapport à celle de ses principaux concurrents européens : Allemagne, Autriche, Finlande et Suède [8]. Sur la décennie 1990-2000, la Finlande voit son volume de production doubler, ceux de l'Allemagne et de la Suède progressent d'un tiers, alors que celui de la France ne bénéficie que d'un sursaut en 2000, principalement dû aux chablis de 1999.

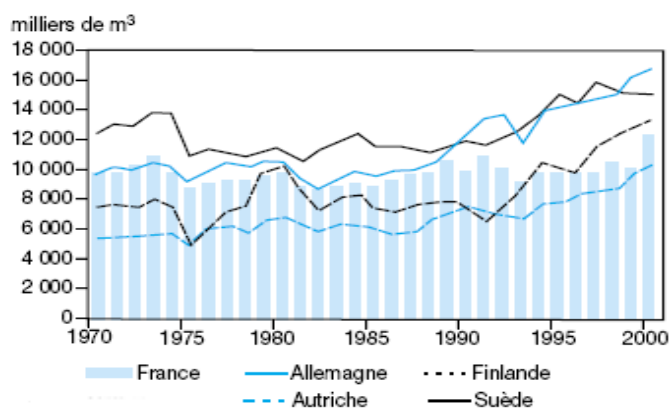


Figure II-11 : Evolution de la production de sciages des principaux pays européens

Si l'on compare les scieries françaises aux scieries allemandes, on s'aperçoit que :

- La productivité du travail y est inférieure : chaque euro distribué en dépense de personnel crée de 15 à 30% de valeur ajoutée de plus en Allemagne qu'en France ;
- Le chiffre d'affaire par salarié est 30% plus faible en France qu'en Allemagne ;
- Le taux d'investissement est aussi plus faible : 17% en France contre 21% en Allemagne ;
- La capacité de développement est donc aussi plus faible. Cet indicateur, calculé comme étant le ratio entre excédent brut d'exploitation et chiffre d'affaires, mesure la capacité d'une entreprise à s'adapter à la concurrence.

La France possède donc un tissu de l'industrie du sciage plus artisanal que ses voisins européens, et qui ne permet pas de les concurrencer en termes de prix et de valeur ajoutée.

II.2.3. Les différents métiers de la scierie

Pour présenter les différents métiers de la scierie, on peut utiliser une approche via la méthode SADT. Les opérations techniques en scierie sont représentées sur la Figure II-12, d'après [4]. Nous nous appuyons sur ce diagramme pour présenter ensuite les différents métiers de la scierie.

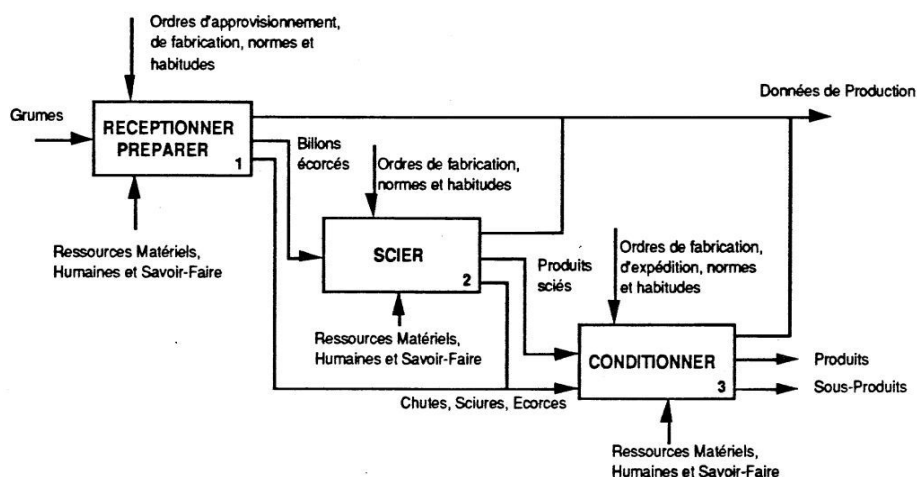


Figure II-12 : Opérations techniques en scierie

II.2.3.1. L'exploitation forestière

Seule exception à la règle, cette opération n'est pas représentée sur la Figure II-12 ci-dessus. En effet, intégrée au départ au sein d'une scierie, elle a maintenant une forte tendance à s'externaliser avec des travaux de sous-traitance. Elle consiste en l'abattage des arbres et au débardage (sortie de la forêt) des grumes. L'acheminement de ces dernières vers les scieries fait aussi partie du métier d'exploitant forestier.

D'après le FCBA [5], les scieries françaises sont souvent intégrées en amont à des exploitations forestières, mais ceci dans une moindre mesure que par le passé : en 1980, 80% des scieries possédaient une exploitation forestière alors qu'elles ne sont plus que 60% actuellement.

La société SIAT dispose elle d'un service forestier composé de 15 personnes dont 10 commis de coupe, et de 20 salariés bûcherons. La majorité des coupes (environ 70%) est cependant gérée par des exploitants forestiers indépendants.

II.2.3.2. Le billonnage

Le billonnage représente la partie n°1 (réceptionner, préparer) de la Figure II-12. Dans le cas SIAT-BRAUN, les grumes, d'un diamètre compris entre 20 et 90cm, sont acheminées dans les scieries via des camions spéciaux appelés « grumiers ». Différentes opérations doivent être réalisées avant de pouvoir acheminer ces bois vers l'unité de sciage. Tout d'abord, il faut réduire la « patte » de la grume, c'est-à-dire les 50 centimètres de l'arbre les plus près du sol et qui ont souvent un diamètre plus élevé que le reste de la grume et une forme ovale dépendant du sol. La patte est nécessaire à l'arbre pour sa stabilité mais ne

représente aucun intérêt pour le sciage. Ensuite, les grumes sont écorcées pour plusieurs raisons :

- L'écorce est pleine de cailloux, terre, et présente une densité supérieure au bois qui pourrait nuire aux outils de coupe ;
- L'écorce n'est pas admise sur les sciages ou dans les plaquettes et la sciure, seules issues possibles pour un bois rentrant dans la scierie (II.1.4.2).

La société SIAT-BRAUN possède des écorceuses à rotors (ou annulaires), qui sont plus performantes que les écorceuses à fraises au niveau de la productivité.

Une détection de la mitraille peut être faite ainsi qu'un cubage pour optimiser l'opération aval de tronçonnage, ce qui est le cas dans notre scierie. Le tronçonnage est ensuite pratiqué pour obtenir des longueurs de billons égales à celles des sciages, et pour purger les défauts :

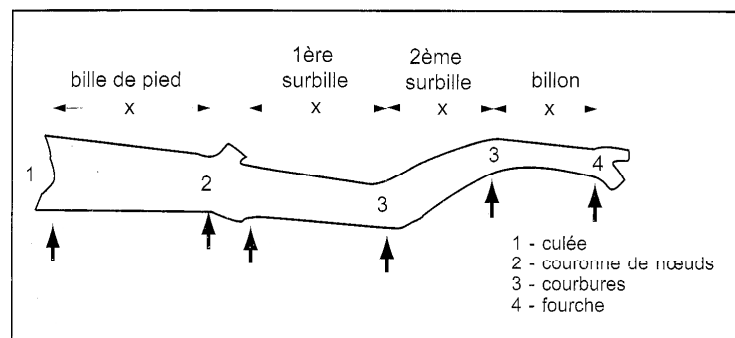


Figure II-13 : Vocabulaire des parties d'une grume

Comme indiqué sur la Figure II-14, le billonnage doit se faire en adéquation avec les schémas de sciage, afin d'optimiser le rendement matière en aval. Les critères retenus pour le classement des billons sont le diamètre et la cylindricité, mais aussi l'aspect général de la grume. Une fois mis à longueur, ces derniers sont acheminés vers des cases de rangement (environ 150) d'après les critères précédemment cités.

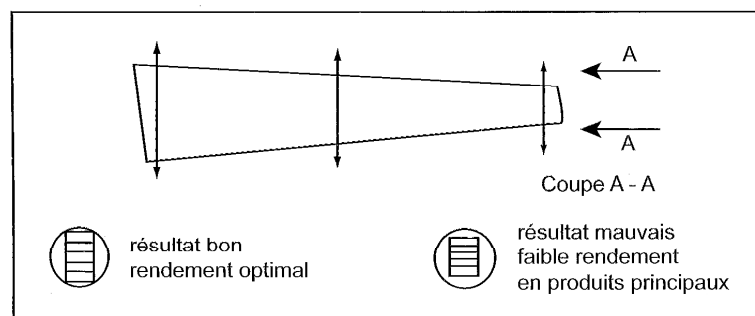


Figure II-14 : Influence du billonnage sur le rendement matière

II.3. La problématique de l'opération de sciage

II.3.1. Historique de la scie à travers les âges

La mythologie grecque accorde le mérite de l'invention de la scie à Dédale, le légendaire constructeur du labyrinthe de Crète à qui l'on devrait aussi l'invention de la colle. Plus sûrement, les préhistoriens ont retrouvé des ébauches de dentition sur des lames de silex

Si l'on considère que la planche est la véritable preuve de la scie à bois, il faut alors attendre les égyptiens pour en trouver les premières traces dans la barque royale de Kheops vers 2500 avant J-C., cette dernière étant composée de quatre cents planchettes de bois sciées et cousues ensemble. Les fouilles ont dégagé des restes de scie à poignée comme on en retrouve aussi chez les gaulois. Les Romains inventent quant à eux la scie en arc qui permet de tendre la lame et assurer ainsi une bien meilleure efficacité à la scie. Pourtant durant presque un millénaire, la scie a pour ainsi dire disparu en Europe ; Elle ne réapparaît que vers 1180 – 1200, et disparaît durant le moyen âge. La raison de cette disparition fut la pénurie de gros bois suite à la surexploitation généralisée des forêts. Les charpentiers travaillaient donc à la hache et à l'herminette des bois entiers qu'ils se contentaient d'équarrir. L'âge d'or de la scie va incontestablement de la Renaissance aux temps des lumières, avec les travaux de menuiserie. Une grande variété de scie est donnée dans l'encyclopédie de Diderot et d'Alembert.

Du point de vue de la mécanisation, sont apparues en Allemagne en 1322 les premières scies alternatives, connues sous le nom de « moulins à scier ». Ces machines sont les plus anciennes. Elles reproduisent le mouvement des scieurs de long (Figure II-15) ; ce qui n'empêcha pas ces derniers, durant six siècles encore, de débiter à la main les troncs en planches.



Figure II-15 : Scieurs de long

Au 15^{ème} siècle, on trouve une machine à scier parmi les dessins de Léonard de Vinci. Des le début du 16^{ème} siècle, les scies alternatives se sont développées, jusqu'en 1870, date d'apparition des scies à ruban. Depuis leur apparition, et jusque dans un passé récent, leur travail plus rapide et plus précis que ce que permettaient les autres scies leur a permis de prendre une place prépondérante : en France, elle constitue 90% des scies de tête. La scie circulaire, quant à elle, fut vraisemblablement l'un des premiers témoins du développement de la machine-outil. On attribue son invention à l'Anglais Jeremy Bentham en 1793. Néanmoins, le brevet de cette invention a été déposé le 27 mars 1816 par Auguste Brunet et Jean-Baptiste Cochot. La scie à ruban est donc plus ancienne que la circulaire, qui connaît un développement récent qui lui fait prendre des parts de marché. Le choix de l'une ou l'autre des technologies se fait en fonction des besoins et contraintes des utilisateurs. Les deux modes de fonctionnement de ces outils doivent être étudiés afin de comprendre leur co-existence.

II.3.2. La scie à ruban

La scie à ruban transforme un mouvement de rotation issu du moteur en un mouvement de translation de la lame au niveau du bois. Les lames sont des rubans où les dents sont taillées sur un chant (monocoupe) ou sur les deux chants (bicoupe). Les lames sont liées au bâti via deux volants : l'un est libre et l'autre est entraîné par le moteur. Les bâtis sont généralement en fonte, mais certains sont aussi assemblés en acier mécano-soudé. La fonte a pour avantage d'assurer une absorption des vibrations, une stabilité, une longévité, c'est-à-dire une qualité exceptionnelle à ce type de matériel. Les bâtis en acier mécano-soudé présentent l'avantage d'être moins coûteux car plus faciles à réaliser que ceux en fonte, mais sont souvent d'une précision moindre et surtout, ne présentent pas de qualités antivibratoires.

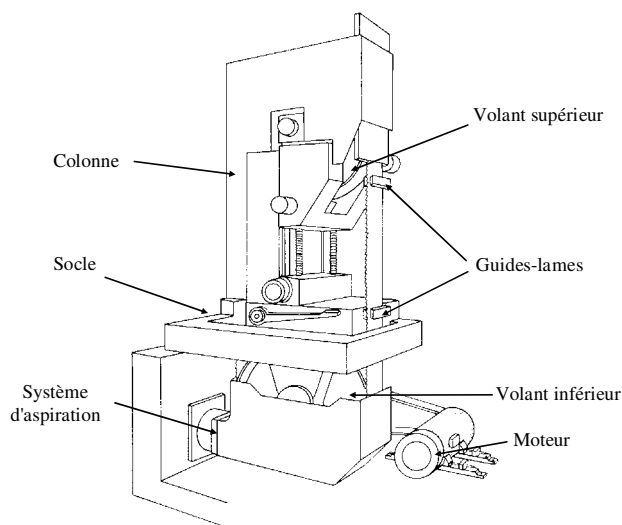


Figure II-16 : Modèle de scie à ruban

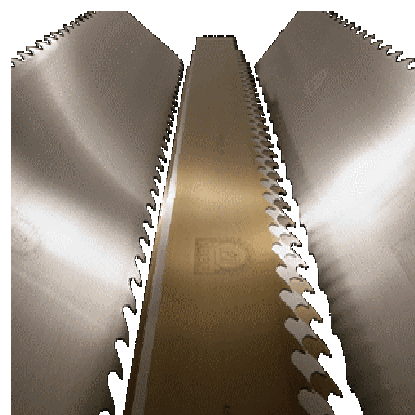


Figure II-17 : Lames de scie à ruban

D'après Sales [9], Les différents modèles de scie à ruban à grumes se distinguent principalement :

- Par la disposition de leur bâti : il peut être vertical (la solution la plus courante), horizontal ou incliné ;
- Par le nombre de bâtis simultanément associés (2, 3 ou 4), pour réaliser en un seul passage plusieurs traits de scie ;
- Par la nature du dispositif de déplacement relatif lame-bois : bâti fixe et bois mobile ou bien bâti mobile et bois fixe ;
- Par la possibilité de scier selon un seul sens de déplacement (scies monocoupes) ou bien à l'aller et au retour (scies bicoupes).

Le cas que l'on rencontre le plus fréquemment dans les scieries est un bâti unique et vertical fixe équipée d'une lame bicoupe. Le principal avantage de la scie à ruban est le rendement matière. Les rubans sont en général toujours plus fins que les scies circulaires, à conditions de coupe égales.

II.3.3. La scie circulaire

La lame de scie circulaire se présente sous la forme d'un disque denté (Figure II-18) auquel on impulse un mouvement de rotation continu. La transmission de l'énergie à la lame se fait par l'intermédiaire d'un arbre, soit en prise directe avec le moteur, soit relié à celui-ci par un dispositif poulies-courroies lorsque l'on désire obtenir un rapport de vitesse entre les deux organes. Il existe aussi des machines possédant des variateurs de fréquence mais ces modèles sont peu répandus en Europe.



Figure II-18 : Aspect d'une scie circulaire

Le dispositif d'assemblage de la lame et de l'arbre de transmission d'énergie a été conçu en fonction des critères fondamentaux suivants :

- Fiabilité de restitution de l'énergie à l'outil de coupe ;
- Facilité de changement et de réglage des lames.

Le dispositif de base est constitué de deux flasques évidées, fortement serrées sur le corps de lame par un écrou auto-bloquant. Cet effet est obtenu par une inversion du sens de serrage de l'écrou par rapport au sens de rotation de la scie.

La nécessité de mettre en jeu plusieurs lames simultanément a conduit à concevoir des manchons constitués d'un ensemble de bagues intercalaires (Figure II-30).

La fiabilité de positionnement et de maintien des lames peut être améliorée par l'incorporation d'un ergot ou d'une clavette placée au niveau de l'arbre. Par ailleurs, la planéité des surfaces de contact est essentielle pour assurer un maintien satisfaisant de la lame.

La scie circulaire autorise des vitesses de coupe et d'avance beaucoup plus importantes que pour la scie à ruban.

II.3.4. Problématique du rendement matière

L'industrie de la première transformation du bois, et en particulier celle du sciage, pourrait être qualifiée d'entreprises « à faible valeur ajoutée ». Certaines scieries, pour augmenter leur marge, ont intégré de nouveaux métiers à leur site de production, tel que le séchage, rabotage, aboutage... Mais pour l'activité de sciage à proprement parlé, on peut distinguer quatre éléments de rentabilité :

- Le rendement matière. En effet, l'activité consiste à débiter des produits parallélépipédiques à partir de matière première cylindrique. Plus le ratio de volume produits/matière consommé est important, et plus l'entreprise peut être rentable ;
- La productivité. Les ressources humaines représentant le deuxième poste le plus important du prix de revient, après le coût de la matière première. Dans les scieries, cette dernière se mesure en mètres cubes de bois sciés par heure de travail payée. Il est évident qu'un maximum de bois doit être débité pendant le temps d'ouverture de l'entreprise.

- La valeur ajoutée. Dans le débit de grumes à proprement parlé, la seule valeur ajoutée correspond à la transformation des billons en sciages : aucune autre matière n'est incorporée au produit final. La valeur ajoutée correspond à la différence entre le prix de vente des billons et le prix de revient de la grume.
- Les coûts de fonctionnement. Pour fonctionner, l'entreprise doit payer ses ressources humaines, son énergie, amortir ses investissements, etc...

Une publication du CIRIS [10], centre de recherche pour l'industrie du bois, a démontré que le rendement matière était de loin l'élément de rentabilité le plus important pour une scierie, suivi de la valeur ajoutée, de la productivité et des autres coûts de fonctionnement.

Dans le marché global dans lequel nous nous trouvons, les prix de vente des sciages et d'achat des grumes sont souvent ceux du « marché » sur lesquels il est donc difficile d'avoir une influence pour une entreprise seule.

Pour ce qui est des coûts de fonctionnement, toute entreprise peut avoir une influence sur ces derniers, et le bon sens impose que cela soit un travail du quotidien.

Les deux postes sur lesquels les outils ont une influence sont la productivité et le rendement matière :

L'outil transforme la matière ligneuse en sciure lors de son passage, il faut donc que ce dernier soit le plus fin possible afin de limiter la perte matière, et donc d'augmenter le rendement.

Le problème d'un outil fin est sa moindre rigidité face aux efforts de coupe. Sur une ligne où les machines sont placées en série, pour augmenter la cadence, on ne peut que diminuer l'espace entre chaque pièce ou alors augmenter la vitesse de production de la ligne, et il faut donc que l'outil soit suffisamment robuste pour résister aux conditions de coupe.

Du fait que les machines soient placées en série, le bris d'un outil n'a pas pour effet l'arrêt d'une seule machine, mais de toute la ligne de sciage.

II.4. Présentation de la ligne de sciage SIAT-BRAUN

II.4.1. Alimentation de la scierie

Le processus de fonctionnement de la ligne Canter de la scierie SIAT-BRAUN peut s'expliquer de façon chronologique dans le déroulement des opérations :

La matière première est constituée de billons, c'est-à-dire de rondins de bois qui ont été écorcés et mis à longueur dans les différents parcs à grumes.

Les billons sont chargés par le portique ou des grues dans les mécanisations d'alimentation (démêleur). Des escaliers hydrauliques permettent d'acheminer les billons un à un sur une chaîne d'alimentation.

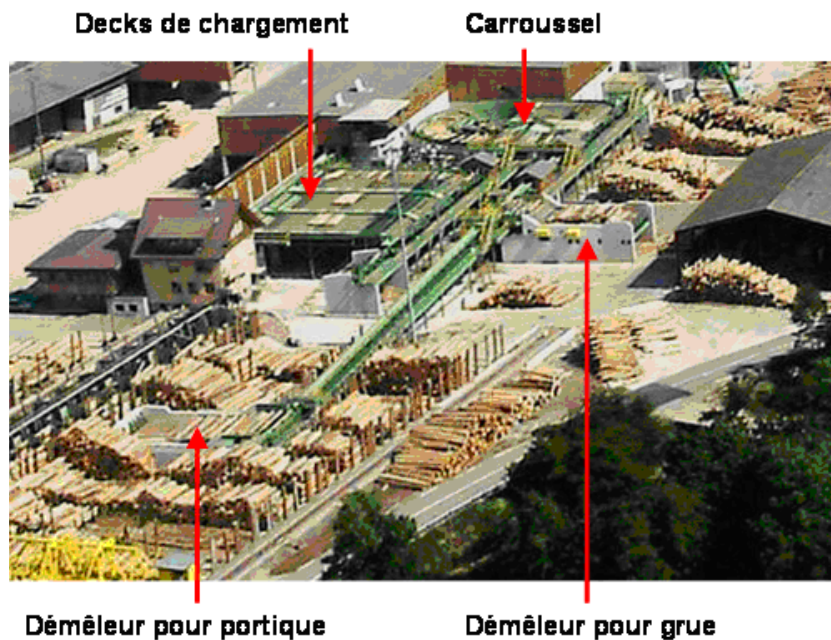


Figure II-19 : Vue de l'alimentation de la scierie

Sur cette chaîne, on trouve un mesureur qui permet de regarder l'orientation des bois car pour le procédé d'optimisation suivant la courbe, il est nécessaire que tous les billons entrent dans la scierie avec le petit bout en avant. Un autre mesureur détecte la présence d'éclats métalliques (balles de fusil, éclats d'obus) qui nuirait aux outils de coupe. Les billons mitraillés sont éjectés dans un box destiné à cet effet, ainsi que les bois trop petits ou trop gros ne correspondant pas au diamètre du plan de débit en cours de sciage.

Un carrousel et un convoyeur direct (suivant le sens des billons) transfèrent les billons vers une deuxième chaîne, ou ces deniers sont ensuite optimisés en fonction de leur forme géométrique grâce à un mesureur 3D (3 Dimensions). Trois sous familles sont alors constituées, chacune sur 1 des 3 decks d'alimentation de la ligne de sciage. Sur la Figure

II-20, on peut voir un exemple d'optimisation faite pour les 3 sous famille : les produits principaux (en jaune) et les produits latéraux en (bleu, vert, rose).

L'alimentation de la ligne de sciage se fera successivement à partir de chacun des decks en fonction de leur remplissage.

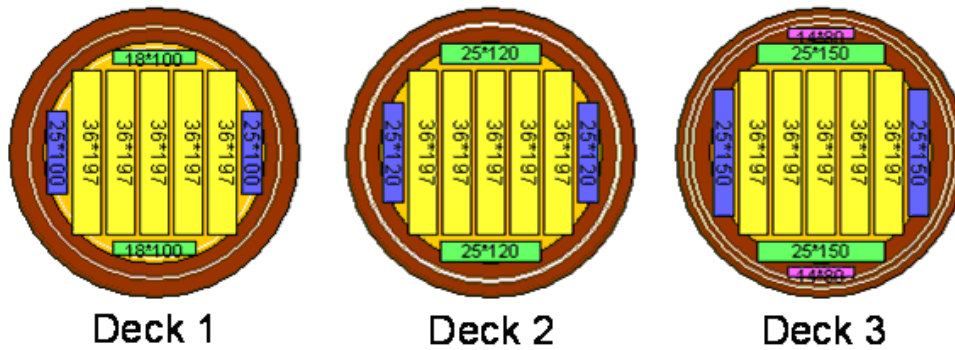


Figure II-20II-21 : Produits débités suivants les decks

II.4.2. Première partie de la ligne de tête (Figure II-21)

Avant la première opération de sciage, les billons traversent une nouvelle barrière de mesurage 3D qui pilote l'orientation du billon afin de mettre ce dernier dans la meilleure orientation afin de maximiser la production tant quantitative que financière. Chaque billon possède sa propre forme géométrique avec un pourcentage de courbure plus ou moins prononcé. Nous verrons plus loin que cette ligne de sciage est capable de tirer partie de cette courbure. Le sciage suivant la courbe impose que les billons passent courbure vers le bas pour la création des faces de référence par le premier canter [Zd1].

Une fois ces faces de référence créées, il est possible de débiter deux planches parallèlement aux faces de référence grâce à un groupe de sciage CSMK [S1]. Ces planches seront acheminées vers la déligneuse SODERHAMN, équipée de deux lames, qui permet d'enlever la partie flacheuse de ces planches (opération de délignage).

Parce que les opérations réalisées ne sont pas forcément celles calculées par l'ordinateur (jeu mécanique, résistance du billon à l'orientation...), une nouvelle mesure [Me7] est effectuée après le lâché des planches faites sur le groupe de sciage.

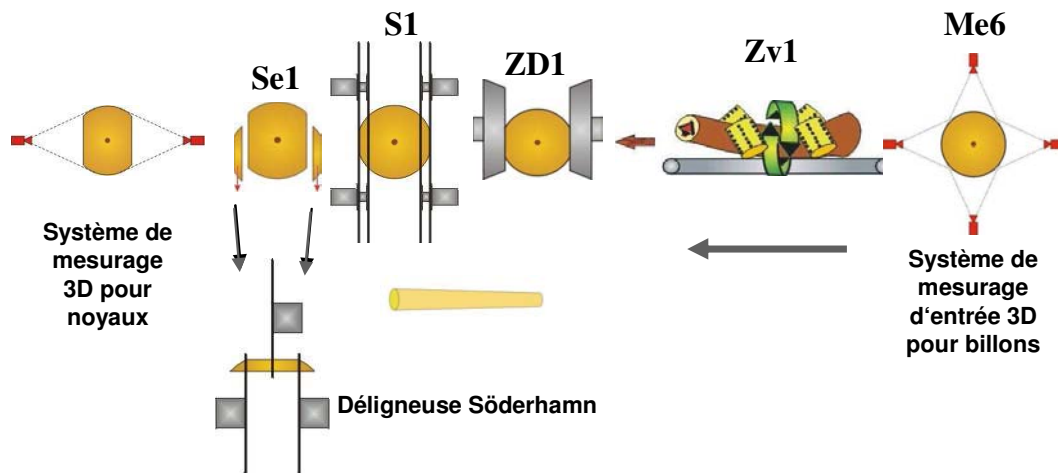


Figure II-21 : Première partie de la ligne de tête

II.4.3. Deuxième partie de la ligne de tête

Le deuxième canter [Zd2] doit réaliser deux faces de référence perpendiculaires aux premières. Les billons sont retournés d'un quart de tour par un retourneur [DV 1]. Le billon est centré devant le canter [ZD2] et est en appui sur ses faces de référence faites sur [ZD1].

Nous obtenons donc un équarri soit en suivant la courbure du billon, ou si celle-ci est trop importante, en fraisant diagonalement le billon, afin de minimiser la perte matière. En effet, le rayon de courbure maximum admissible par les outils de la ligne est de 70 mètres. Au delà de cette valeur, le canter [Zd2] se positionne de manière à réduire la courbure. Sur les prochaines figures, les machines fonctionnant suivant la courbe sont encadrées d'un trait bleu.

Le groupe de machine suivant est composé d'un retourneur [Dv2], d'une scie CSMK [S2], d'un séparateur de planche [Se2] et d'un deuxième retourneur [Dv3]. Ce groupe est utilisé si la taille du billon permet de faire deux planches supplémentaires, parallèlement aux faces créées par le premier canter. Ces planches sont acheminées vers la déligneuse LINCK. Cette déligneuse est équipée de 6 lames mobiles et d'un système transversal de vision permettant de détecter les singularités des planches : nodosité, coloration, pente de fil...

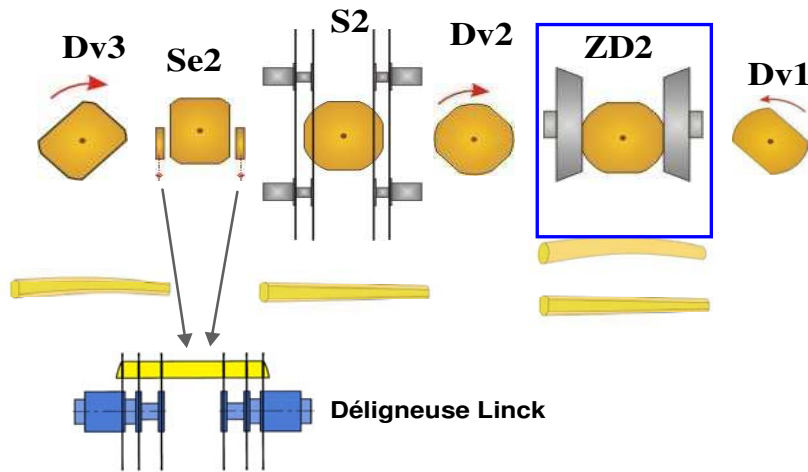


Figure II-22 : Deuxième partie de la ligne de tête

La ligne de sciage est construite en « U ». Après les deux premiers groupes de sciage, le circuit revient en arrière (sciage retour) en passant par un stock tampon nommé « la gare ».

II.4.4. La ligne retour

Sur la ligne de retour (Figure II-23), les billons sont remesurés, afin de contrôler le travail effectué par le deuxième canter, et positionner les têtes de fraisage des deux unités de profilage [F1 et F2]. Ces machines permettent de déchiqeter les flaches restantes sur les équarris. Ces machines fonctionnant avec un système d'amenage suivant la courbe, ce sont elles qui vont permettre physiquement l'optimisation du rendement matière.

Après ces machines, se trouve la déligneuse multi-lames MKV [Kv1], équipée d'un double arbre, qui va scier les produits principaux (Figure II-20, produits jaunes) et les sous-produits de fraisage (Figure II-20, produits bleus).

Le séparateur Se3 va permettre de séparer les sous-produits de fraisage des produits principaux, ces derniers n'allant pas vers le même trieur.

Les produits principaux peuvent ensuite être refendus par la machine KHM.

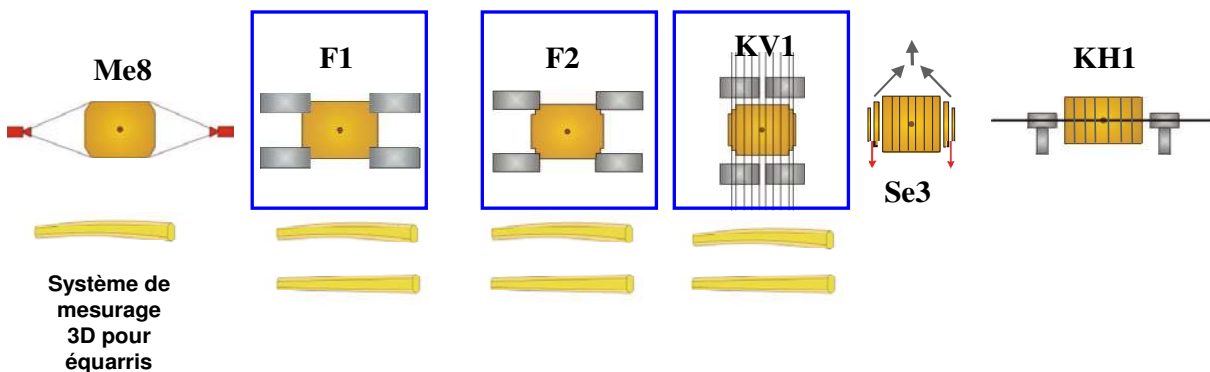


Figure II-23 : Partie retour de la ligne canter

II.4.5. Présentation des différentes machines

II.4.5.1. Canter ZD1 et ZD2

Les canters ont deux fonctions principales :

- Créer des faces de références pour les opérations en aval ;
- Transformer les dosses, c'est-à-dire le bois situé entre le phloème et la face de référence créée, en plaquettes.

Les canters sont composés de deux têtes, une à droite et l'autre à gauche. Sur chacune de ces têtes, on trouve deux outils différents : les couronnes à plaquettes en carbure (scies), dont le rôle principal est de créer les faces et les couteaux dont le but est le déchiquetage.

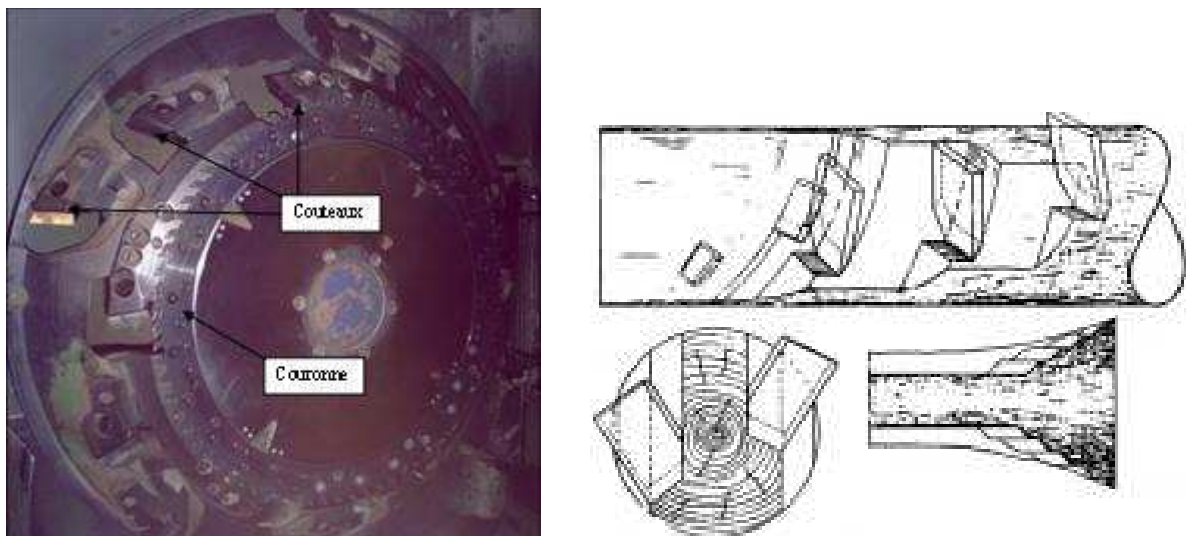


Figure II-24 : Aspect d'une tête de canter, et de son mode de coupe sur le bois

Les plaquettes réalisées sont à destination de la papeterie. Elles doivent donc être calibrées pour alimenter les défibreurs. Les dimensions idéales de plaquettes sont :

- Une longueur comprise entre 25 et 28mm ;
- Une largeur comprise entre 15 et 30mm ;
- Une épaisseur comprise entre 4 et 8mm.

La vitesse d'avance de la ligne étant variable suivant les schémas de sciage, la vitesse de rotation des têtes doit s'adapter en conséquence afin de garder une longueur de plaquettes (égale à l'avance par dent) constante. La longueur de plaquette préconisée par le constructeur de la machine est de 27mm.

Les caractéristiques des couronnes et des couteaux sont présentées dans les tableaux suivants :

Couronne	
Diamètre (mm)	860
Vitesse de rotation (tr/min)	400-1000
Largeur (mm)	4.5
Z (nombre de dents)	75
γ – Angle de coupe (°)	20
β – Angle de taillant (°)	58
α – Angle de dépouille (°)	12
Voie (mm)	0.7
Matériau partie active	Carbure
Fréquence de changement	2 jours

Tableau II-V : Caractéristiques des couronnes de canter

Couteaux	
Vitesse de rotation (tr/min)	400-1000
Largeur (mm)	92
Z (nombre de dents)	5x3
γ – Angle de coupe (°)	58
β – Angle de taillant (°)	32
α – Angle de dépouille (°)	2
Matériau partie active	Acier rapide
Fréquence de changement	1 jour

Tableau II-VI : Caractéristiques des couteaux de canter

II.4.5.2. Scies CSMK S1 et S2

Sur la ligne canter présente dans l'entreprise, on compte deux machines CSMK 375. Le nombre 375 indique la hauteur de coupe (en millimètres) maximale pour les lames. La machine travaille en double arbre, c'est-à-dire deux lames pour un trait de scie (Figure II-26), avec un arbre en dessous de la pièce à scier, l'autre en dessous. Si la hauteur de bois est supérieure à 375mm, des fraises de limitation permettent de déchiqeueter le bois risquant d'entrer en contact avec les arbres de scie.

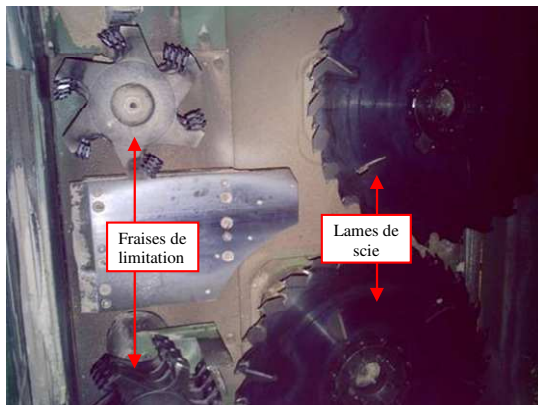


Figure II-25II-26 : Aspect d'une scie CSMK, principe des fraises de limitation

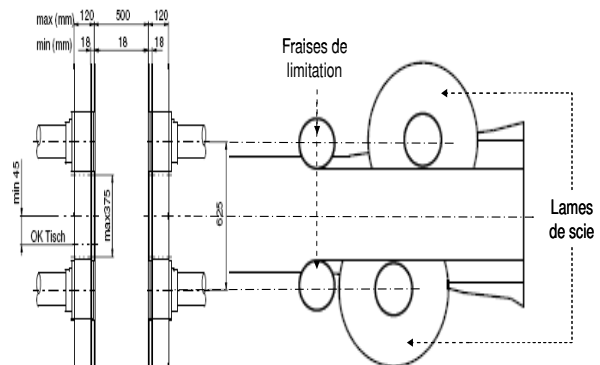


Figure II-26II-27 : Plan de la machine CSMK S1

Une machine est située juste après le premier canter (nommée S1) et permet la découpe d'une planche de chaque côté.

La deuxième machine est située juste après le deuxième canter (nommée S2). Cette machine permet la découpe de quatre planches (deux de chaque côté). Sur cette machine, une scie est fixée en bout d'arbre, et l'autre est disposée sur un manchon mobile afin de permettre un mouvement entre ces deux lames :

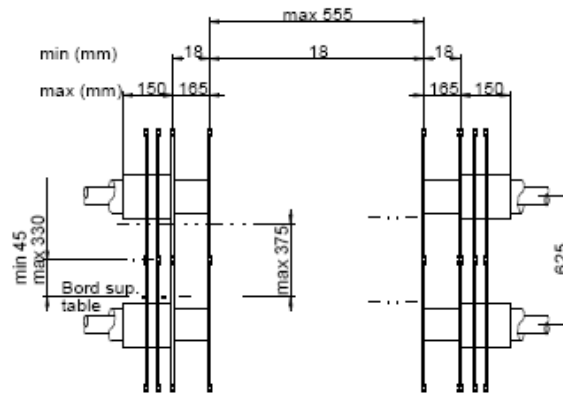


Figure II-27 : Plan de la machine CSMK S2

Pratiquement, huit lames sont donc montées dans cette machine. Cependant, les scies extérieures ne sont que très rarement utilisées : on préfère, pour un choix financier, débiter une planche épaisse plutôt que deux fines.

II.4.5.3. Unités de profilage (F1 et F2)

Ces deux unités de profilage ont pour but, comme les canters de:

- Créer les faces des sous-produits de fraisage ;
- Transformer les parties flacheuses des noyaux en plaquettes.

Ces machines sont équipées de quatre têtes chacune, et chaque tête est composée de 3 segments de scie, et de 3 rangées de 4 couteaux disposés en hélice.

Comme pour les canters, la vitesse de rotation des têtes s'adapte en fonction de la vitesse d'avance de la ligne pour garder une longueur de plaquettes constante.

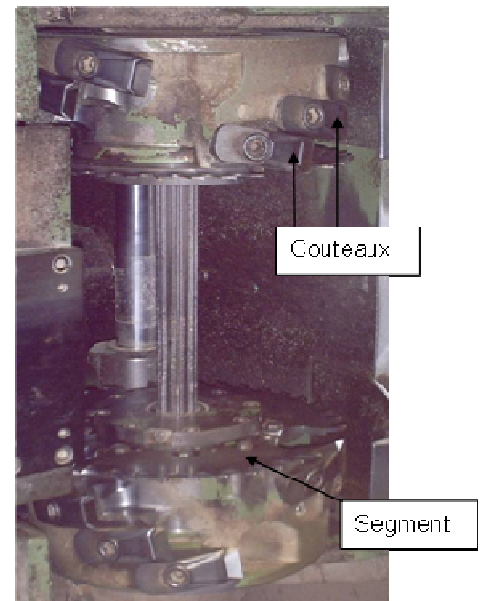


Figure II-28 : Aspect d'une unité de profilage

Suivant les calculs d'optimisation, la largeur des produits sera variable (l'épaisseur des produits latéraux étant constantes pour tous les billons d'un même deck, Figure II-20). Le positionnement de la machine entre chaque billon est très rapide afin de limiter l'écart entre les billons. Les têtes sont montées sur un arbre cannelé afin de permettre leur mouvement axial, mais aussi pour permettre la transmission de puissance.

Les caractéristiques des segments de scie et des couteaux sont présentées dans les tableaux suivants :

Couronne	
Diamètre (mm)	401
Vitesse de rotation (tr/min)	800-2300
Largeur (mm)	3.5
Z (nombre de dents)	3x10
γ – Angle de coupe (°)	20
β – Angle de taillant (°)	58
α – Angle de dépouille (°)	12
Voie (mm)	0.5
Matériau partie active	Carbure
Fréquence de changement	5 jours

Tableau II-VII : Caractéristiques des couronnes de canter

Couteaux	
Vitesse de rotation (tr/min)	800-2300
Largeur (mm)	41
Z (nombre de dents)	3x4
γ – Angle de coupe (°)	55
β – Angle de taillant (°)	32
α – Angle de dépouille (°)	3
Matériau partie active	Acier rapide
Fréquence de changement	1 jour

Tableau II-VIII : Caractéristiques des couteaux de canter

II.4.5.4. Déligneuse multi-lames MKV (KV1)

Cette déligneuse à double arbres permet de scier les noyaux suivant la hauteur. Elle sépare les différents produits principaux entre eux ainsi que les sous-produits de fraisage.



Figure II-29II-30 : Déligneuse MKV, lames montées à gauche, tourniquet de changement à droite

Dans cette machine, les lames sont montées sur des manchons qui sont eux-mêmes montés sur les arbres de la machine. Les lames sont flasquées par des cales d'épaisseur variable qui conditionnent l'épaisseur des produits souhaités (Figure II-30).

C'est le réglage, et donc la composition des manchons, de cette machine qui va définir le schéma en production, puisque c'est elle qui débite les produits principaux. Pour la productivité, les changements de série doivent se faire très rapidement. La machine est donc équipée d'un « tourniquet », qui permet de retirer l'ancien manchon et d'introduire le nouveau en 5 minutes environ.

Les lames sont montées sur la machine par le biais de manchons clavetés, selon le principe suivant (Figure II-30):

Les manchons ont une longueur de 500mm. Les lames sont séparées par des entretoises de diamètre 190mm. Ce sont ces pièces qui vont déterminer l'épaisseur des produits. L'épaisseur des moyeux étant supérieure de 1.1mm à celle du trait de scie, les entretoises ont une largeur 1 mm inférieur à celle du produit désiré.

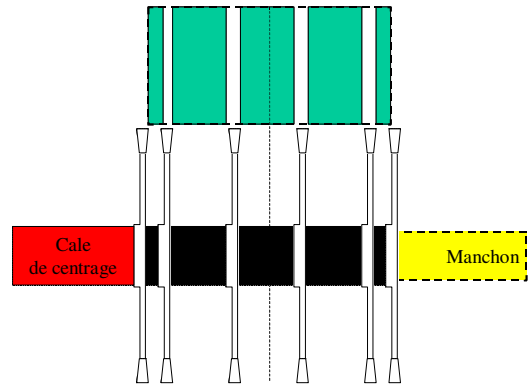


Figure II-30II-31 : calage des lames sur manchon MKV

La cale de centrage permet, comme son nom l'indique, de centrer l'ensemble cales + lames au milieu du manchon. Cette dernière est effectuée avec une précision de 0.5mm.

II.4.5.5. Dédoubluse KHM

La dédoubluse KHM permet de refendre les produits principaux uniquement. Elle fonctionne avec des arbres verticaux équipés chacun de 1 ou 2 lames (Figure II-31)



Figure II-31 : Scies de la dédoubluse KHM

Les billons sont acheminés vers les outils et extraits des machines via des rouleaux horizontaux et verticaux, et parfois en liaison avec des plaques de guidage. Tous ces éléments sont montés sur des codeurs et reliés hydrauliquement aux bâtis machines. Leurs positions et alignements respectifs sont des éléments très importants dans la bonne marche de la scierie et le bon fonctionnement des outils. J'ai réalisé des fiches machines pour connaître et sauvegarder l'état standard des réglages suivant les préconisations constructeurs. Ces fiches sont présentées en annexe 5.

II.4.6. Les innovations

II.4.6.1. Le sciage courbe

Le sciage suivant la courbe est un concept qui a vu le jour dans les années 1980 [11].

Les billons qui alimentent la scierie ne sont pas des cylindres parfaits, ni même des troncs de cônes, ils divergent des modèles à travers leur courbure, ovalité et conicité. Le sciage suivant la courbe permet une augmentation du rendement matière par rapport au sciage droit, mais aussi d'augmenter la résistance mécanique des sciages et de limiter les déformations de séchage, par un débit concordant avec le plan ligneux du bois.

Pour scier suivant la courbe, les machines sont équipées de systèmes d'alimentation et d'extraction pouvant se déplacer dans une direction normale à l'avance du bois, qui se positionnent suivant les consignes de l'ordinateur de commande, suite à des mesures tridimensionnelles. La Figure II-32 suivante représente l'optimisation d'un billon sur la ligne :

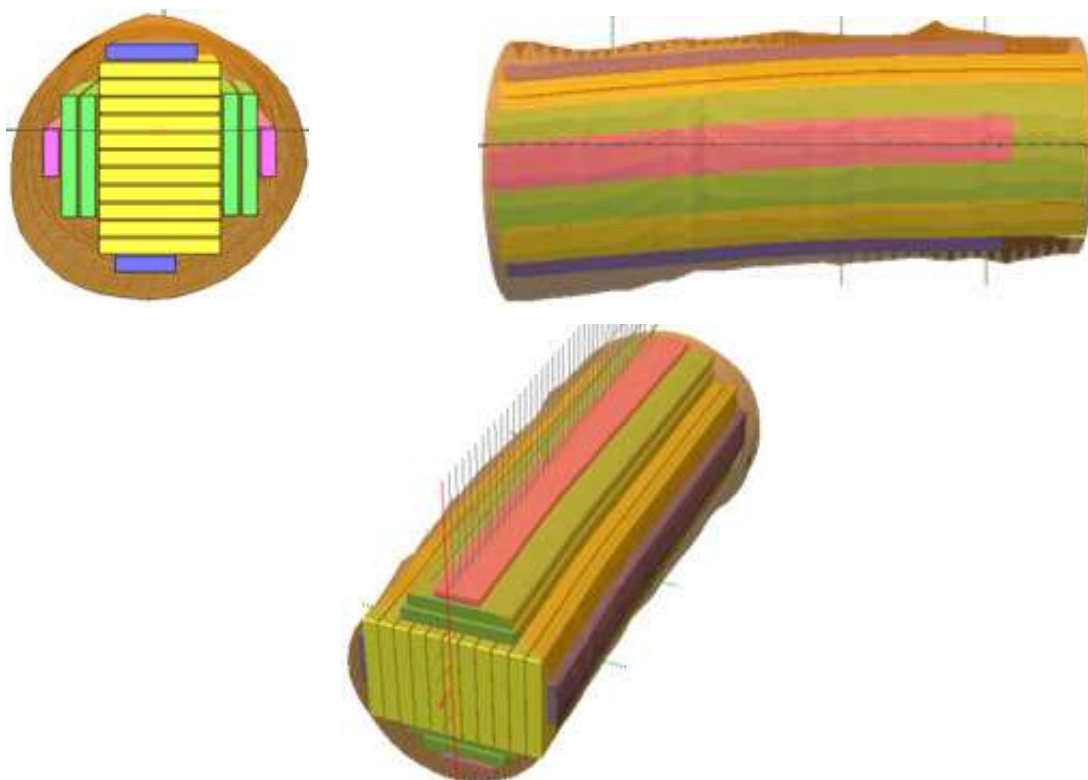


Figure II-32 : Optimisation de la découpe d'un billon suivant la courbe

Chaque fabricant de machines de scierie a mis en place son système de sciage courbe. Une étude menée par l'université de Rosenheim pour la société EWD [12] a mis en avant un gain en rendement matière compris entre 3 et 5%. Ce gain se fait sur les sous-produits de fraisage (produits bleus sur la Figure II-32). Dans cette étude, comme sur la ligne de la scierie SIAT-BRAUN, le rayon de courbure minimum admissible par les machines est de 70 mètres.

Pour des raisons d'efforts axiaux sur les outils de coupe (Figure II-33), ce rayon est même limité pour des produits de fortes épaisseurs :

val. limité pour orientation courbe						
épaisseur prod.	25	36	50	63	75	mm
courbe max.	7.0	7.0	6.0	5.0	1.0	mm/2m

Figure II-33 : Limitation de la courbure des sciages suivant leur épaisseur

Le sciage suivant la courbe permet de relâcher les contraintes internes des billons, ainsi que de suivre au mieux le fil du bois. D'après [11], les produits réalisés sont plus résistants mécaniquement et seront plus droits après séchage. La libération des contraintes peut aussi avoir l'effet « d'amplifier » la courbure des produits obtenus, qui paraît plus importante que celle donnée en consigne (Figure II-35) :

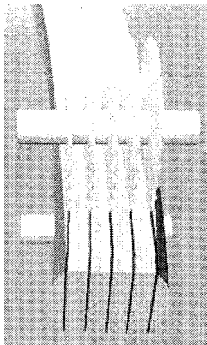


Figure II-34 : Travail des outils en sciage courbe

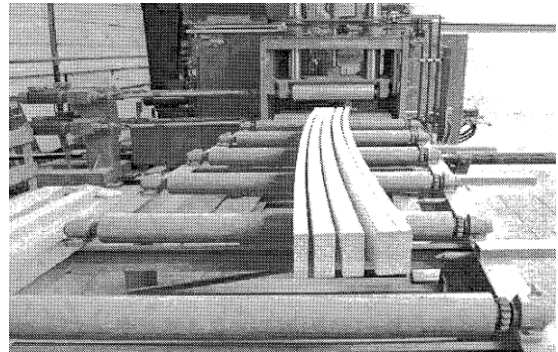


Figure II-35 : Aspect des pièces sciées courbe

Chaque fabricant de machine ayant développé son propre concept de sciage suivant la courbe et restant pour l'instant secret au sein de celles-ci, il est difficile de trouver des publications comparatives à ce sujet.

II.4.6.2. Sciages à des vitesses super critiques

Les lames pouvant travailler dans les domaines supercritiques sont les lames dites « guidées ».

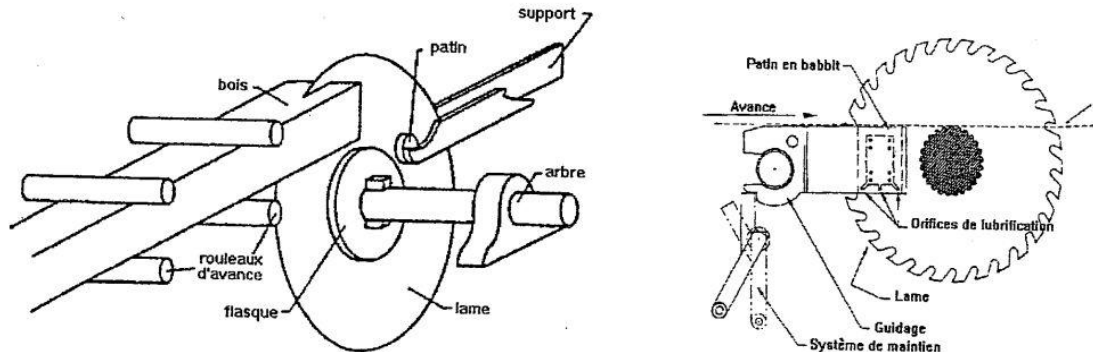


Figure II-36 : Lames guidées montées sur machine

La présence de guides modifie le comportement vibratoire d'une lame. En effet, l'addition de guides ne modifie pas la valeur de la vitesse critique, mais améliore la rigidité latérale dans la zone de bonne coupe : celle-ci peut être doublée par rapport à une lame maintenue par flasques.

Une vitesse de coupe ou de rotation d'une lame donnée est dite supercritique si elle dépasse sa vitesse critique la plus faible (III.4.1).

D'après Chabrier [13], si les vitesses de coupe supercritiques d'une lame de scie circulaire peuvent être atteintes, certains bénéfices peuvent alors être réalisés. Ainsi augmenter la vitesse de la broche, pour une vitesse d'avance donnée, réduirait l'épaisseur de coupe par dent. Il devrait en résulter ensuite une surface de coupe plus lisse.

De plus, d'après Satoru [14], l'épaisseur de la lame peut devenir plus mince et des économies de matière première seraient ainsi obtenues.

Cette technologie est cependant peu utilisée en Europe, mais plutôt en Amérique du Nord. Historiquement, la raison principale de ce fait est que la technologie des machines est différente avec l'utilisation de ce genre de lames.

II.4.7. Présentation du matériau

II.4.7.1. Problèmes d'humidité

Le bois est un matériau fibreux qui réagit géométriquement à la présence d'humidité dans son environnement. Suivant les conditions climatiques de son environnement (température, humidité de l'air), le bois se stabilise à une certaine humidité. Selon la norme, le calcul de l'humidité du bois s'opère de la façon suivante :

$$H_{\text{bois}} (\%) = \frac{(\text{Masse de bois humide} - \text{Masse de bois anhydre}) \cdot 100}{\text{Masse de bois anhydre}}$$

Au moment de l'abattage, le bois peut contenir plus d'eau que de matière ligneuse ; parfois quatre fois plus dans certains peupliers. L'humidité est alors supérieure à 100 %. Les vides cellulaires d'un bois vert sont remplis d'eau libre, en phase liquide, et les fibres saturées d'eau liée. Cette eau est emprisonnée dans les pores par des liaisons hydrogène, elle n'est ni liquide, ni gazeuse. L'eau libre s'évacuera progressivement par évaporation, sans que le bois ne subisse de retrait ou de déformation. Lorsque l'eau libre a entièrement disparu, il ne reste que l'eau liée saturée dans les fibres et l'eau vapeur remplissant les pores du bois. Au cours du séchage, le départ de l'eau liée entraîne les variations dimensionnelles du bois.

II.4.7.2. Problèmes dimensionnels

La Figure II-37 ci-après illustre les différentes phases de l'évolution de l'humidité dans le bois. Le point de saturation des fibres (PSF), définit la limite d'humidité du bois pour laquelle les pores du bois sont vides d'eau libre mais les fibres saturées d'eau liée.

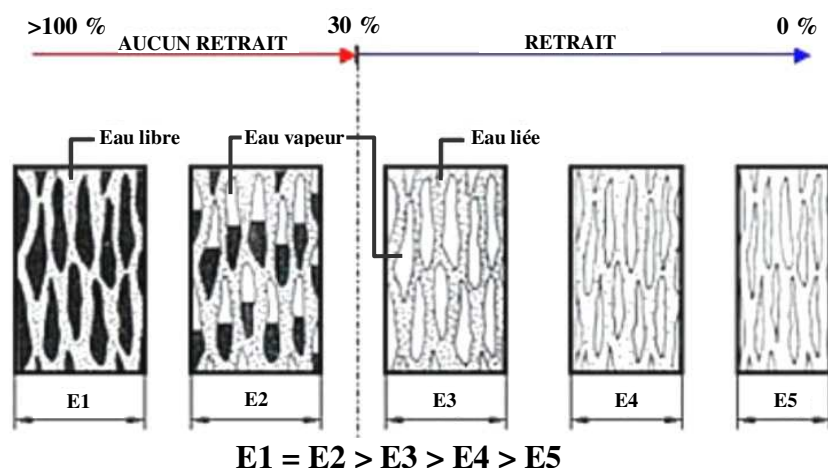


Figure II-37 : L'eau dans le bois à différentes humidités

Même s'il est variable de quelques pour-cent entre essences ou entre peuplements forestiers, le point de saturation des fibres est communément considéré égal à 30%. La Figure II-38 ci-dessous détaille la qualification des bois en fonction du taux d'humidité.

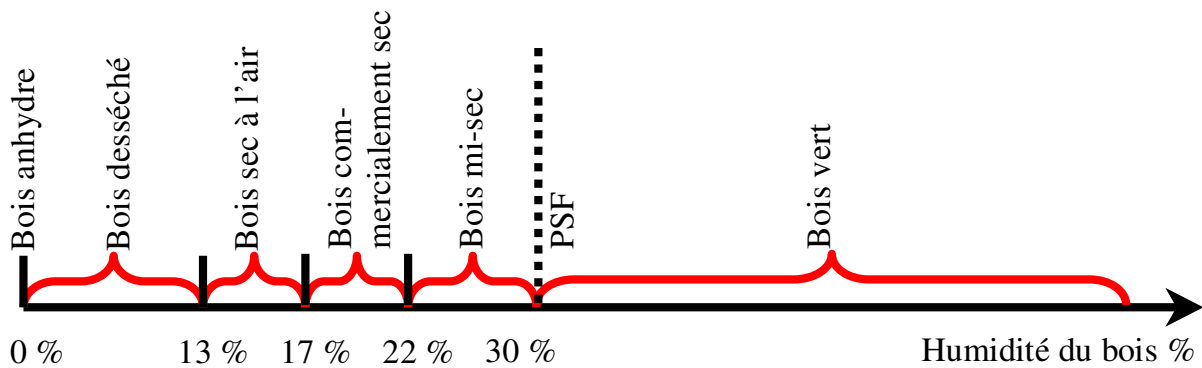


Figure II-38 : Les noms d'état d'humidité du bois

D'un point de vue usinage du bois, l'aspect variations dimensionnelles est peu influent. En revanche, la présence d'eau liée, liquide ou vapeur dans le bois, influence fortement les efforts de coupe nécessaires à l'usinage, comme en témoigne le facteur d'humidité K_h , qui intervient dans les calculs d'efforts de coupe d'après Kivimaa [17] :

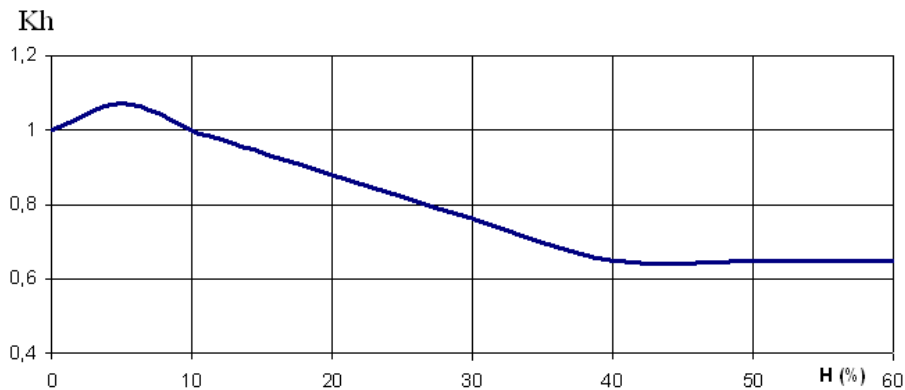


Figure II-39 : Influence de l'humidité du bois sur l'effort de coupe tangentiel (Hêtre, $E_m=0,2\text{mm}$) d'après [17]

Sur la figure précédente, on remarque que le coefficient varie d'environ 0.65 à 1.1, soit une variation d'environ 70%, ce qui peut avoir une influence non négligeable sur les efforts et donc sur le travail réalisé par un outil.

II.4.7.3. Bois scié par SIAT-BRAUN

Suite à plusieurs problèmes de surcharge de véhicules mis à jour, il m'a été demandé en travail annexe, de trouver un moyen d'estimer la masse des camions chargés quittant l'entreprise. Si cela paraît anecdotique par rapport au problème de caractérisation d'outils, il est néanmoins important de connaître les conditions dans lesquelles le matériau est coupé. En

effet, un bois plus ou moins humide déterminera des conditions de coupe très différentes et sera peut-être une des sources des problèmes inhérents à la qualité de coupe résultante.

Pour aboutir à un résultat utilisable rapidement et avec les moyens de l'entreprise, j'ai donc utilisé une balance afin de connaître la masse volumique de chutes de sciages (de sections parallélépipédiques) directement après cette opération. Pour que les résultats soient significatifs, 628 mesures ont été effectuées, et la répartition par classe a donné le graphique suivant :

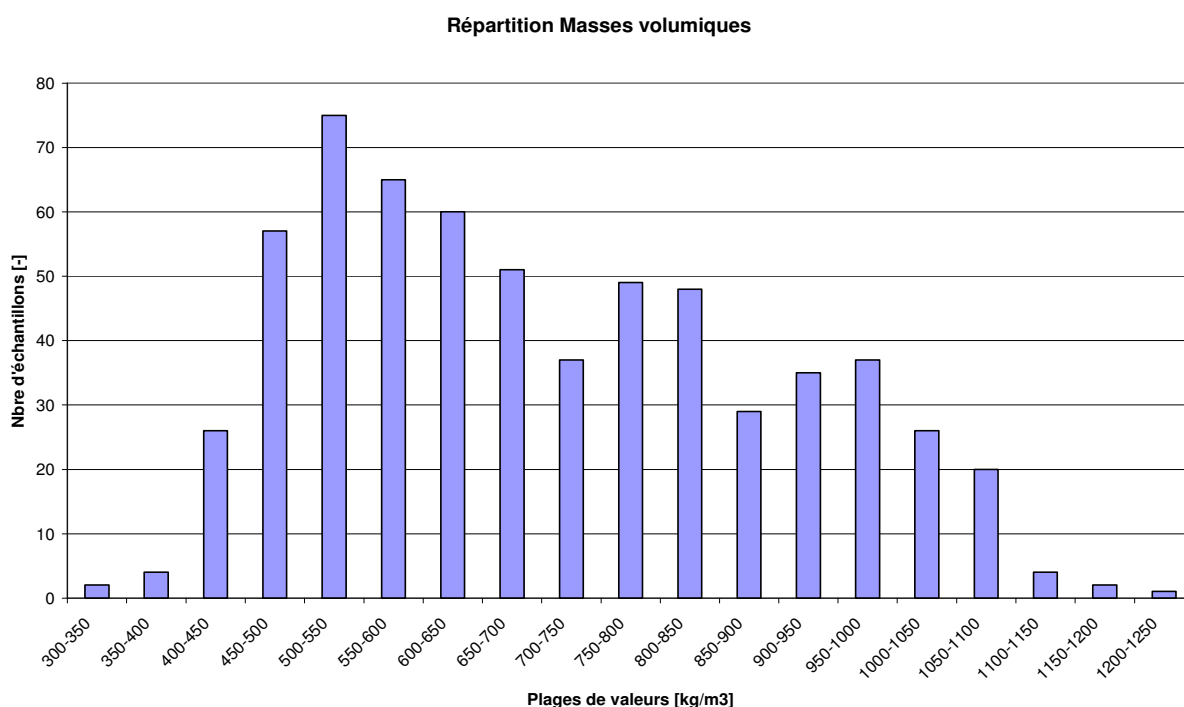


Figure II-40 : Répartition par masses volumiques

On remarque par le biais de ce graphique que la moyenne de toutes les valeurs est de 701 kg/m^3 , avec un écart-type de 144 kg/m^3 . Le minimum est de 309 kg/m^3 et le maximum de 1201 kg/m^3 . D'après la forme du graphique, cette répartition ne semble pas correspondre à une loi normale.

D'après [15], l'infradensité moyenne du sapin et de l'épicéa (peuplements issus du massif vosgien) sont comprises entre 300 et 500 kg/m^3 . L'infradensité représente le rapport entre la masse anhydre d'un échantillon de bois et son volume à l'état saturé c'est-à-dire au dessus du PSF. Cette valeur est très utile dans notre cas pour trouver l'humidité des bois pesé, en se permettant de négliger les effets de retrait en dessous du PSF.

$$i = \frac{m_s}{V_h} \quad x = m_e + m_s$$

$$H = \frac{m_e}{m_s}$$

$$\frac{x}{i} = 1 + H$$

Équation II-2: Calcul de l'humidité des échantillons

i : Infradensité du bois [kg/m^3] ;

x : Masse volumique relevée [kg/m^3] ;

M_s : Masse anhydre du bois [kg] ;

M_e : Masse d'eau dans le bois [kg] ;

V_h : Volume à l'état vert du bois [m^3] ;

H : Humidité su sec du bois [-].

A partir de l'équation 15, on peut donc transformer la Figure II-40 en termes d'humidité à partir des extrêmes d'infradensité.

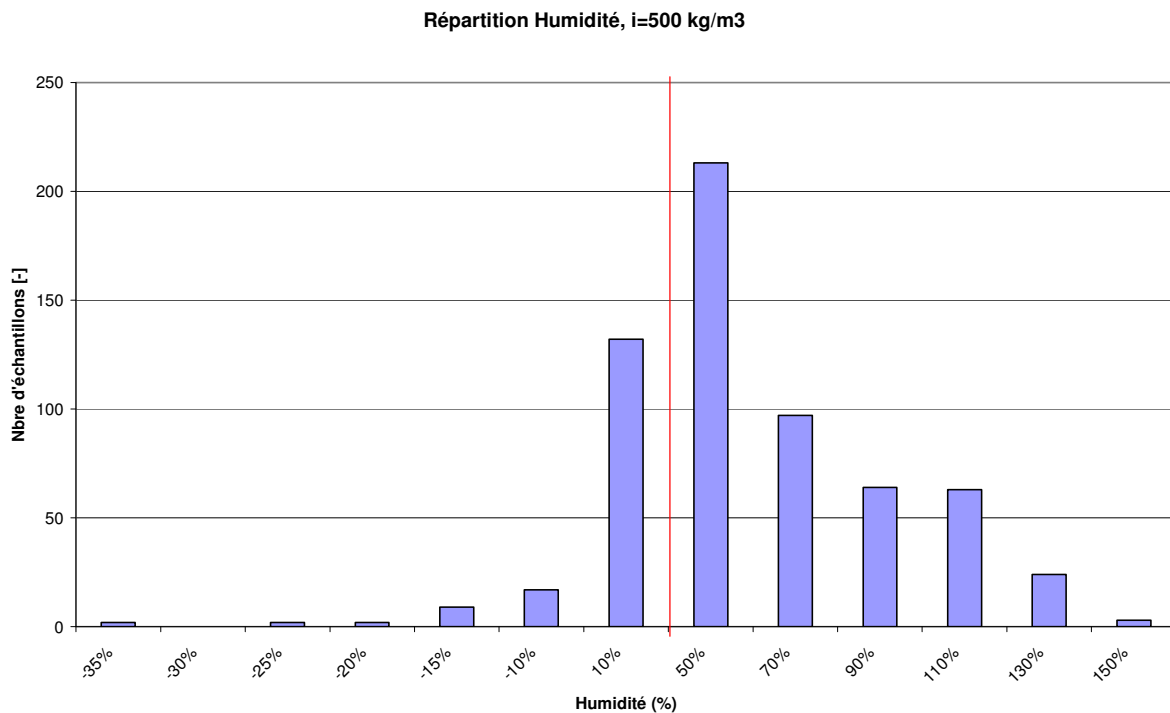


Figure II-41III-61 : Répartition des humidités avec une infradensité à $500 \text{ kg}/\text{m}^3$

Sur la Figure II-41, on remarque que 26% des bois ont une humidité inférieure à 40%. Les humidités apparaissant comme négatives ne le sont pas, et correspondent à une infradensité moindre du bois. Cependant, l'extrema de $500 \text{ kg}/\text{m}^3$ a été choisi puisqu'il était le plus défavorable en termes de coefficient Kh.

Les raisons de différences d'infradensité, et donc de proportion de matière ligneuse dans un volume donné, ont été recensées par Nepveu [16], en voici les principales :

- La largeur de cerne ;

- L'âge de ces cernes ;
- La présence de bois juvénile ;
- La présence de bois de réaction (bois de compression chez les conifères) ;
- Le type de sylviculture ;
- La latitude et l'altitude où a poussé l'arbre.

Au delà des variations d'infradensité, les variations d'humidité s'expliquent par les points suivants :

- Le temps de stockage des billons : ces derniers étant sciés par classes de diamètres (II.4.1), il se peut que certains soient stockés depuis une heure sur le parc, alors que d'autres le sont depuis 3 semaines (maximum). De plus, ces derniers étant écorcés, ils perdent leur humidité deux fois plus rapidement que les bois avec écorces.
- Le temps de stockage des grumes en forêt ;
- Les conditions climatiques de ces stockages ;
- La position du sciage dans le billon. Le cœur (bois mort) d'un sapin ou d'un épicéa est plus sec que la périphérie, composée de bois vivant. Cette partie peut être aussi sujette à de fortes variations suivant les montées de sève.

Si la majorité des bois semblent avoir une humidité supérieure à 40%, et donc un facteur Kh minorant, il est à noter que certains ont une humidité très inférieure, et donc un coefficient Kh majorant. Il ne suffit que d'un ou deux billons avec une augmentation non négligeable des efforts de coupe nécessaire pour faire dévier ou briser une lame.

Après avoir vu la présentation de la scierie, on se rend compte de l'évolution qui a eu lieu au cours des siècles précédents. La technologie des machines permet d'améliorer sans cesse la productivité ainsi que le rendement matière. Cependant, l'outil est toujours l'interface entre la technologie des machines et la matière première. Nous étudierons donc dans le prochain chapitre l'outil de coupe utilisé majoritairement au sein de l'entreprise SIAT-BRAUN : la scie circulaire.

Les connaissances métiers

III. Les connaissances métiers

III.1. Généralités sur l'usinage du bois

III.1.1. Le mode de coupe

La structure orthotropique du bois n'est pas sans influence sur la génération de surface par travail mécanique. Les efforts de coupe et la formation du copeau vont dépendre de l'orientation de l'arête tranchante et de la direction de coupe par rapport aux fibres de bois. Chacune des trois directions principales du bois aura donc un comportement différent vis-à-vis de l'outil. Kivimaa [17] fût un des pionniers à définir les 3 principaux modes de coupe dans l'usinage. Ainsi, sur la Figure III-1 ci-après, on observe les trois modes de coupe A, B et C avec pour chacun une spécification des directions du mouvement de la dent et de l'arête de coupe.

De nos jours, la notation de McKenzie [18] est aussi utilisée pour définir les différents modes de coupe. Il considère une combinaison de deux nombres dans laquelle le premier correspond à l'angle formé entre la direction de l'arête de coupe et le fil du bois et le deuxième à l'angle formé entre la direction de déplacement de l'outil et le fil du bois.

Directions principales de coupe:	
+ A: coupe transversale	- direction \perp fibres - arête de coupe \perp fibres
+ B: coupe longitudinale	- direction // fibres - arête de coupe // fibres
+ C: coupe tangentielle	- direction \perp fibres - arête de coupe // fibres

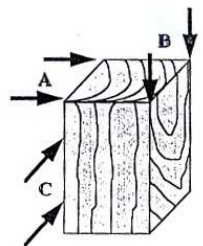


Figure III-1 : Les trois modes de coupe A, B et C d'après Kivimaa [1]

Orientation	Exemples d'opérations d'usinage	Coupe
1 90-90	Sciage à ruban (<i>déclignage</i>)	A
2 90-0	Corroyage	B
3 0-90	Tenonnage par dérouleur (<i>petite passe</i>)	C
4 0-90	Tronçonnage	C
5 90-0	Toupillage avec faible passe	B
6 90-90	Fraisage en bout	A

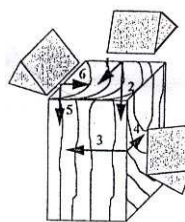


Figure III-2 : La définition des modes de coupe par McKenzie [2]

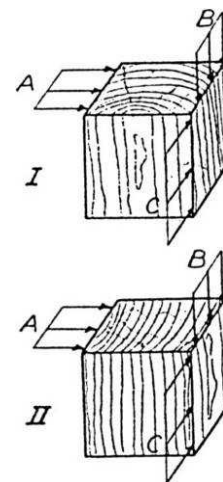


Figure III-3 : Distinction des modes de coupe face aux cernes de croissance

Que ce soit avec la définition de Kivimaa ou celle de McKenzie, et pour apporter encore plus de précision, il est nécessaire de faire une dernière distinction portée cette fois sur la direction de l'arête de coupe par rapport aux cernes de croissance. La Figure III-3 ci-dessus donnée par Kivimaa distingue deux configurations différentes, sans changer les règles précédemment énoncées pour A, B et C. Il est alors envisageable de parler de coupe B – I et

de coupe B – II ou de mode 90-0 I et 90-0 II. Ces modes de coupe sont idéalement caractérisés pour les cas de coupes linéaires.

La définition de ces modes de coupe est de la première importance puisque vont en découler, entre autre, des variations importantes de types de copeaux et d'efforts de coupe. On conçoit, par exemple, qu'un copeau issu d'une coupe A soit différent de celui issu d'une coupe B et lui même aussi différent d'une coupe C. Signalons également que les efforts de coupe peuvent varier de 1 à 4 suivant le mode de la coupe comme le montre la Figure III-4.

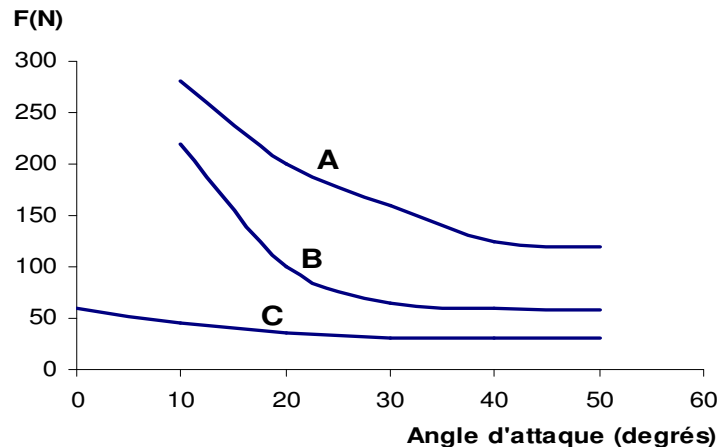


Figure III-4 : Variation de l'effort de coupe suivant les modes A, B ou C pour du Hêtre à 12% d'humidité, copeau de 0.2mm d'épaisseur, outil usé à 50%

Dans la pratique, la coupe se fait rarement suivant une seule direction. En effet dès que l'on parle de coupe rotative, l'angle entre la direction de déplacement de la dent et le fil du bois change constamment.

Pour des raisons de clarté et de lisibilité dans le reste du mémoire, afin de « coller » à la réalité de la scierie, et puisque l'appellation des modes de coupe principaux a depuis longtemps été vulgarisée, les termes suivants seront utilisés :

- Le **déclignage** (ou coupe en long) représente un mode de coupe 90-0 d'après Mc Kenzie ou B suivant Kivimaa. La direction des cernes par rapport à l'arête de coupe n'est cependant pas possible à préciser, elle dépend de la position de la lame dans le billon débité.
- Le **tronçonnage** (ou coupe en travers) représente un mode de coupe 0-90 ou C. La direction des cernes étant elle aussi aléatoire, il ne sera pas fait de distinction entre les modes I et II pour cette opération.

Par ces deux termes, il sera possible de désigner la majorité des opérations réalisées au sein de la scierie.

Les différents paramètres désignés ci après sont étroitement liés entre eux. Si l'on modifie l'un deux, l'évolution des autres en sera directement marqué, dans un sens positif ou négatif par rapport à la coupe du matériau. J'ai essayé de montrer au mieux ces différentes liaisons, mais cela rend parfois la lecture délicate en donnant des renvois. Le dernier chapitre (III.1.9) récapitulera les différentes liaisons entre les différents paramètres.

III.1.2. La vitesse de coupe

La vitesse de déplacement de l'arête de coupe pendant l'usinage est appelée vitesse de coupe. Elle s'exprime en mètres par seconde, et pour les outils tournants, elle est définie par la formule suivante :

$V_c = \pi \times D \times N$	<p>V_c : Vitesse de coupe en mètres par seconde (m/s)</p> <p>D : Diamètre de l'outil en mètres (m)</p> <p>N : Vitesse de rotation en tours par seconde (s^{-1})</p>
-------------------------------	---

Équation III-1: Vitesse de coupe

Les efforts de coupe en dépendent peu, pour un matériau de coupe donné. Mais de même qu'en fraisage et tournage des métaux, la dureté du matériau à usiner oblige à adopter une vitesse maximale de pénétration de la dent dans la matière. De plus, les contraintes liées au type de fixation de la dent sur le support (monobloc, brasage, fixation mécanique) obligent à observer des règles de sécurité quant au choix de la vitesse de coupe. Dernièrement l'INRS a travaillé sur l'édition d'un normographe plastifié permettant un choix adapté de la vitesse de rotation du système d'outillage, en fonction du diamètre de coupe, du matériau de coupe et du matériau à usiner. Ceci permet, pour les industriels, d'avoir un outil permettant de vérifier que leurs machines fonctionnent dans les bonnes conditions de sécurité. Pour les scies circulaires à plaquettes carbure, cette vitesse doit être comprise entre 60 et 75 $m.s^{-1}$.

Le FCBA [24] précise cette plage pour le sciage d'une essence résineuse métropolitaine, à savoir entre 65 et 75 $m.s^{-1}$.

D'après Anquetil [22], l'usure d'un outil, quelque soit le matériau de l'arête (diamant ou carbure), augmente avec la vitesse de coupe (Figure III-5). S'il faut donc une certaine énergie nécessaire à la pénétration de l'outil dans la matière, il ne faut pas que la vitesse de coupe soit trop importante afin de ne pas engendrer d'usure prématurée et des défauts possibles au niveau du matériau usiné.

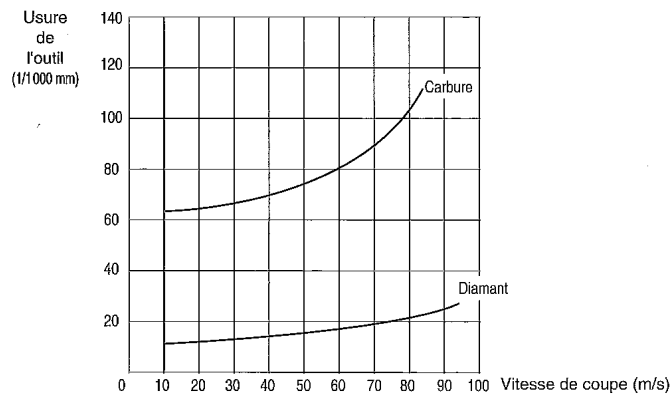


Figure III-5 : Usure des outils en fonction de la vitesse de coupe

III.1.3. La vitesse d'avance

La vitesse d'avance représente la vitesse du bois par rapport à la machine. La productivité de cette dernière est directement liée à ce paramètre, que l'on note V_f et qui s'exprime le plus souvent en $m.min^{-1}$. En effet, lorsque l'espacement entre deux pièces a été optimisé au mieux, le nombre de pièces pouvant être produites pendant un laps de temps donné dépendra directement de l'avance de la machine.

Le type d'outil conditionne fortement le maximum que peut atteindre la vitesse d'avance pour une machine : un ruban supporte une vitesse maximale de $120 m.min^{-1}$ (EWD), alors que les systèmes à scie circulaire peuvent atteindre des vitesses de $600 m.min^{-1}$.

Sur le site d'Urmatt, la vitesse d'avance maximum pour les scies circulaires est de $420 m.min^{-1}$, et celle du ruban d'Heiligenberg, âgé de 30 ans, peut atteindre $40 m.min^{-1}$.

III.1.4. L'avance par dent, ou pas d'usinage

Pour déterminer les bonnes conditions de coupe d'un outil ainsi que du travail réalisé (état de surface), il est commun de parler d'épaisseur de copeau. Le calcul de cette variable est expliqué à la section III.1.6. Un des paramètres de cette épaisseur de copeau est l'avance par dent, qui se calcule comme suit (Équation III-2):

$$f_z = \frac{V_f}{N \times Z}$$

Équation III-2 : L'avance par dent

f_z , avance par dent [mm] ;

V_f , vitesse d'avance [mm/min] ;

N , vitesse de rotation [tr/min] ;

Z , nombre de dents [-].

D'après Auger [23], cette valeur doit se situer entre 0.5 et 1.5 mm pour du matériel de scierie. On trouve, dans les cahiers du FCBA [24], une valeur de 0.3mm pour les essences

résineuses. Les fournisseurs de lames, qui ne souhaitent pas trop communiquer sur leurs modes de calcul de leurs outils, afin de préserver leur savoir faire, ont par expérience une marge comprise entre 0.6 et 1.2 mm (valeurs trouvées d'après les devis).

La plage de valeurs utilisable est donc large et assez disparate entre les différentes références. L'expérience que j'ai pu me faire au sein de la scierie indique qu'il faut utiliser des avances par dent comprises entre 0.5 et 1.4 mm par dent.

III.1.5. La flèche

La flèche représente la sur-hauteur que l'on donne à une lame par rapport à la hauteur de bois à scier, afin d'être sûr d'effectuer correctement cette opération. La flèche se note f (Figure III-7). Dans le cas de scies à doubles arbres, la flèche de la scie en retrait est aussi appelée : « recouvrement » entre les deux scies (Figure III-6). La première scie réalise une rainure tandis que la deuxième finalise le sciage.

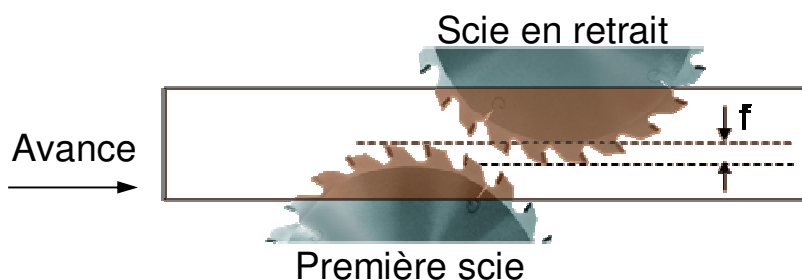


Figure III-6 : "Recouvrement" entre deux scies

Une étude menée par Siklienka [19] a mis en avant l'influence de ce paramètre sur l'énergie consommée par une scie circulaire délignante (mode de coupe B) du sapin (*Picea abies*). Quelque soit le type de lame (avoyée ou à plaquettes carbures), la vitesse d'avance est le paramètre qui influe le plus sur cette énergie, mais la flèche arrive en second. Dans cette étude, où la flèche fut augmentée de 20 à 80 mm par palier de 15mm, un maximum est atteint pour une flèche de 35mm. En dessous de cette valeur, la variation de l'épaisseur moyenne de copeau, à avance par dent et hauteur de bois constantes, explique la diminution de l'énergie. Au dessus de cette valeur, c'est la diminution de la longueur des arcs de cycloïde, et donc du temps de contact entre le bois et l'outil, qui explique la diminution de l'énergie (III.1.8).

Dans la pratique, on cherche à travailler avec la flèche la plus faible possible, soit 10 mm environ. Cette valeur prend en compte l'imprécision des réglages, celle du diamètre des lames (marge d'affûtage), etc.

Ce choix s'explique aussi par le fait qu'une flèche importante, à hauteur de sciage égale, requiert un diamètre de lame lui aussi plus important : le rayon de la lame est égale à la distance entre l'axe de la lame et la base du bois augmenté de la hauteur de bois à scier et de la flèche. En règle générale, l'augmentation du diamètre entraîne celle de l'épaisseur du trait de scie (III.2.2).

III.1.6. L'épaisseur moyenne de copeau

L'avance par dent représente l'épaisseur maximum que pourra avoir le copeau. Le reste de sa forme dépend de la trajectoire de l'outil dans le bois (Figure III-7).

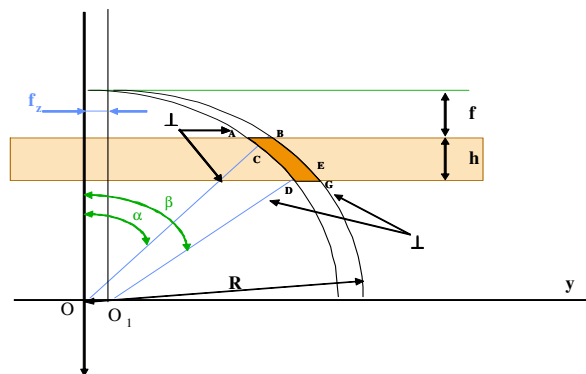


Figure III-7 : Schéma de calcul de l'épaisseur moyenne de copeau

L'équation (Équation III-3) permettant de déterminer l'épaisseur moyenne de copeau est un développement limité d'ordre 1 issu de Martin [20] :

$$e_m = \frac{fz}{2} \times \left(\sqrt{\frac{2f}{R}} + \sqrt{\frac{2(f+h)}{R}} \right)$$

Équation III-3 : Calcul de l'épaisseur moyenne de copeau

e_m , épaisseur moyenne de copeaux [mm] ;

fz , avance par dent [mm] ;

h , hauteur de bois [mm] ;

R , rayon de la lame [mm] ;

f , flèche de la lame [mm], voir III.1.5.

Dans le cas d'une lame travaillant « noyée » dans la matière, c'est-à-dire sans dépassement ($f=0$), la formule devient :

$$em = fz \times \sqrt{\frac{h}{D}}$$

Équation III-4 : Epaisseur moyenne de copeau sans flèche

Il est à noter que le calcul dans le cas d'une scie sans flèche est le même que pour une opération de rabotage. Les fabricants de lame, lorsqu'ils parlent d'épaisseur de copeau,

parlent en fait d'avance par dent, calcul plus simple à réaliser. Le diamètre de lame est souvent régi par la hauteur de bois à scier. Le terme $\sqrt{\frac{h}{D}}$ est donc fixe pour un cas donné, et l'épaisseur moyenne de copeau varie donc exclusivement dans le même sens que l'avance par dent.

III.1.7. Le nombre de dents en prise dans la matière

Lors du sciage, les frottements latéraux augmentent avec le nombre de dents en prise dans le bois ainsi que la puissance absorbée par l'outil. D'après le FCBA [24], ce nombre doit être limité à deux.

Anquetil [22], fournit un tableau du nombre de dents à choisir sur une lame de délignage à plaquettes carbure, en fonction du diamètre et de l'épaisseur de bois à débiter.

Diamètre des outils (mm)	Epaisseur à débiter (mm)							
	15	27	34	41	54	65	80	90
200	52	28	22	18				
250	66	36	24	20	16			
300	78	40	32	24	18	16		
350		48	36	32	24	20	16	
400			42	36	28	22	18	16
500				42	32	28	24	20
600					42	32	28	24

Tableau III-I : Nombre de dents en prise dans l'épaisseur du bois en fonction du type de sciage

J'ai cherché à trouver la formule exacte du nombre de dents présentes dans le bois (Z_{bois}). Ce nombre est représenté par la ligne verte (figure ci-dessous) et peut se résumer à l'angle décrit : θ (Figure III-8).

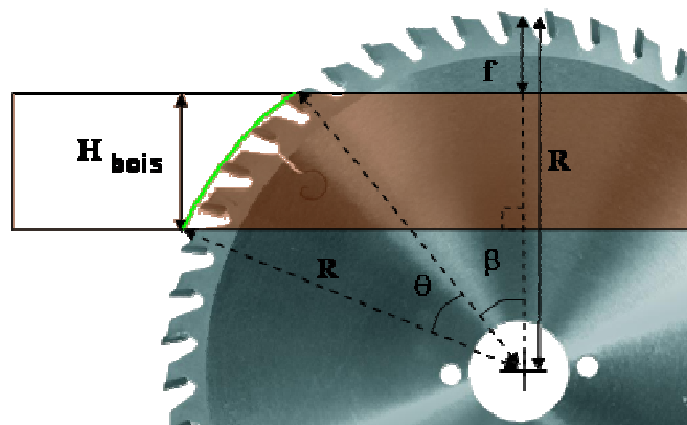


Figure III-8 : Nombre de dents en prise dans le bois

$$\frac{Z_{\text{bois}}}{Z_{\text{total}}} = \frac{\theta}{360^\circ}$$

En utilisant la relation : $\frac{Z_{\text{bois}}}{Z_{\text{total}}} = \frac{\theta}{360^\circ}$, il résulte que trouver θ permet de connaître Z_{bois} . Soit H la hauteur de bois scié et D le diamètre de la lame.

$$\cos(\beta) = \frac{R-f}{R} \quad \text{d'où} \quad \beta = \text{ArcCos} \frac{R-f}{R} ;$$

$$\cos(\beta + \theta) = \frac{R-(H+f)}{R} \quad \text{d'où} \quad \beta + \theta = \text{ArcCos} \frac{R-(H+f)}{R} ;$$

Il en résulte que :

$$\theta = \text{ArcCos} \frac{R-(H+f)}{R} - \text{ArcCos} \frac{R-f}{R}$$

Qui permet d'obtenir le nombre de dents dans la matière, Zbois (Équation III-5):

$$Z_{\text{bois}} = Z_{\text{total}} * \frac{\text{ArcCos} \frac{R-(H+f)}{R} - \text{ArcCos} \frac{R-f}{R}}{360^\circ}$$

Équation III-5 : Nombre de dents dans la matière

Dans le cas d'une lame travaillant sans flèche, c'est-à-dire noyée dans la matière, la formule simplifiée s'écrit (Équation III-6) car $\text{ArcCos}(1)=0$.

$$Z_{\text{bois}} = Z_{\text{total}} * \frac{\text{ArcCos} \frac{R-H}{R}}{360^\circ}$$

Équation III-6 : Nombre de dents dans la matière sans flèche

Le nombre de dents usinant en même temps le bois ne dépend donc en effet que de quatre paramètres, à savoir :

- Le diamètre de la lame ;
- Le nombre de dents ;
- La flèche ;
- La hauteur de bois scié.

Ce nombre n'est donc qu'un problème géométrique de la coupe puisque la vitesse d'avance, de rotation ou le sens de travail (opposition, avalement) n'interviennent pas dans ce calcul. Si l'on reprend le Tableau III-I d'Anquetil en y appliquant la formule (ce dernier considère une flèche de 10mm), on obtient (Tableau III-II) :

Diamètre des outils (mm)	Epaisseur à débiter (mm)							
	15	27	34	41	54	65	80	90
200	2,2	2,0	1,8	1,7				
250	2,5	2,2	1,8	1,7	1,7			
300	2,7	2,2	2,1	1,8	1,7	1,7		
350		2,5	2,2	2,3	2,1	2,0	1,8	
400			2,4	2,4	2,3	2,0	1,9	1,9
500				2,4	2,3	2,3	2,3	2,0
600					2,7	2,4	2,4	2,2

Tableau III-II : Nombre de dents en prise dans le bois d'après [22]

On remarque que les valeurs obtenues sont toutes voisines de deux, mais le nombre de dents en prise est rarement un entier. Un nombre décimal indique le prorata d'alternance entre l'entier inférieur et le supérieur. Par exemple, un nombre de 1.6 indique que la lame aura 60% du temps 2 dents dans la matière (et donc 40% du temps, 1 dent).

Par expérience, et en concordance avec les fabricants de lames, il est nécessaire d'avoir toujours au moins deux dents dans la matière, donc un nombre strictement supérieur à 2. Le non respect de cette règle engendre des vibrations au niveau de la coupe, comme le montre l'étude V.3.4.2. Cependant, lors du dimensionnement d'une lame, les fabricants privilégieront toujours l'avance par dent, paramètre selon eux prépondérant vis à vis du nombre de dents en prise dans la matière, pour différentes raisons énumérées ci-après. Par exemple, dans les opérations de délignage dans la scierie, le nombre de dents en prise peut atteindre 5.5 dents, soit plus du double de ce qui est préconisé pour ce paramètre, mais dans le but de ne pas dépasser l'avance par dent maximum. Ce nombre trop important a pour effet, d'après le CTB [24], de générer des frottements supplémentaires qui augmentent la puissance utile absorbée par l'outil.

III.1.8. La longueur de copeau

La longueur du copeau est la caractéristique permettant de définir la distance pendant laquelle une dent sera en contact avec le bois : comme on vient de le voir, le nombre de dents en prise dans la matière augmente lorsqu'on diminue la flèche d'une lame. La longueur du copeau formé par chaque dent va varier de la même façon (Figure III-9) et on peut la calculer à partir des équations précédemment définies (Équation III-5 et Équation III-6). Ces calculs vont permettre d'expliquer les conclusions de Siklienka [19] présentées au chapitre (III.1.5)

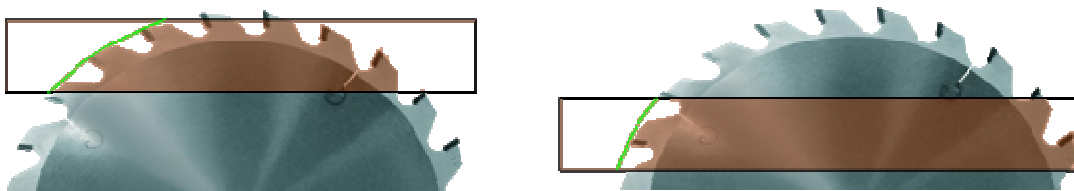


Figure III-9III-9 : Modification de la longueur des trajectoires d'outils

Dans les précédentes équations, on multipliait le nombre de dents de lame par le rapport $\frac{\theta}{360^\circ}$. Pour obtenir la longueur du copeau, il suffit de multiplier ce même rapport par le diamètre de la lame. La longueur de copeau se calcule donc comme suit (Équation III-7):

$$L_c = \pi * D * \frac{\text{ArcCos} \frac{R - (H + f)}{R} - \text{ArcCos} \frac{R - f}{R}}{360^\circ}$$

Équation III-7 : Longueur du copeau

Dans le cas d'une lame travaillant sans flèche, c'est-à-dire noyée dans la matière, la formule simplifiée s'écrit (Équation III-8):

$$L_c = \pi * D * \frac{\text{ArcCos} \frac{R - H}{R}}{360^\circ}$$

Équation III-8 : Longueur du copeau sans flèche

III.1.9. Conclusions

Les liaisons entre les différents paramètres peuvent se résumer dans le schéma suivant (Figure III-10):

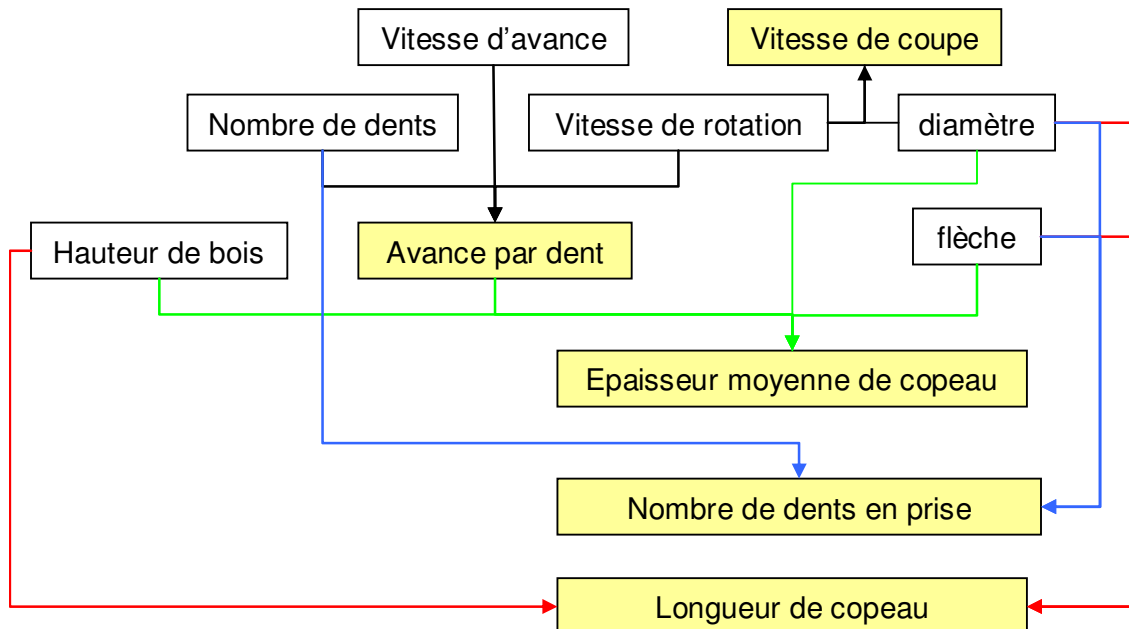


Figure III-10 : Interactions entre les différents paramètres

On remarque sur ce schéma que la majorité des paramètres (fond blanc) ont une influence sur les valeurs à optimiser pour le sciage du bois (sur fond jaune). La caractérisation au sein de l'entreprise pour les outils s'est réalisée en tenant compte des différents compromis sur les paramètres énumérés.

III.2. Descriptif de la lame de scie

III.2.1. La dent

III.2.1.1. Les plans de travail d'un outil

La géométrie de coupe d'un outil doit, pour pouvoir être décrite, reposer sur un référentiel. La définition des plans utilisés est basée sur la norme NF E66-502 [21]. La géométrie est toujours mesurée pour un point de l'arête de coupe. L'utilisation d'un outil tournant engendre un mouvement circulaire de la dent. Compte tenu de ce mouvement circulaire, la mesure angulaire s'effectue toujours entre le plan radial de la scie et une tangente à la surface générée. Le plan Pr (comme plan radial ou plan de référence) correspond ainsi au plan radial du système d'outillage passant par le point de l'arête de coupe que l'on souhaite identifier. Le plan travail conventionnel, orthogonal à Pr et à l'axe de rotation du système d'outillage, est nommé Pf . La norme définit un troisième plan important Pp , plan vers l'arrière de l'outil, perpendiculaire à la fois à Pr et à Pf . La norme définit ensuite deux autres plans orthogonaux à Pr , caractérisant la surface usinée. Il s'agit ainsi du plan Ps , coplanaire à la surface usinée, et du plan Po , orthogonal à la surface usinée. Dans le cas de la scie circulaire, il est quelque peu inutile d'énumérer à chaque fois le plan de travail usité. Nous considérerons donc par la suite (sauf indication contraire), que nous nous trouvons dans le plan Pf .

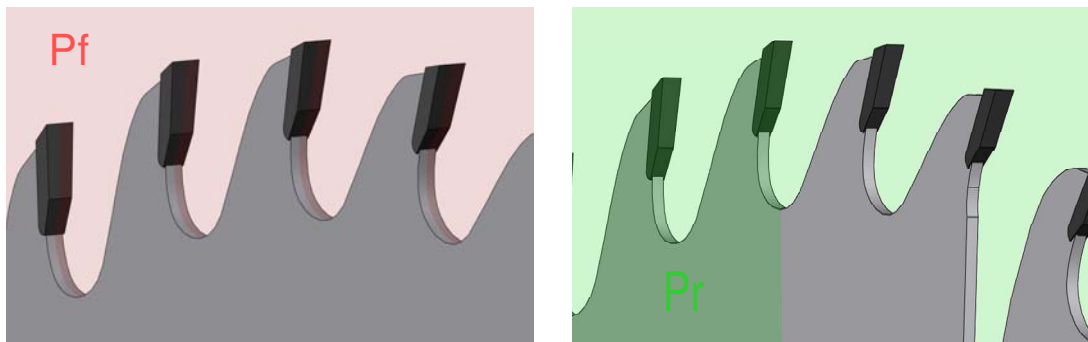


Figure III-11 : Orientation des plans Pf et Pp

III.2.1.2. Les angles principaux

Une dent est un outil tranchant destiné à détacher le copeau puis à le fragmenter pour qu'il soit évacué. Ses caractéristiques géométriques doivent résulter d'un examen détaillé des conditions de travail : mode de coupe, nature du bois, vitesse de coupe, vitesse d'amenage... L'arête de coupe est l'intersection entre la face de coupe et la face de dépouille.

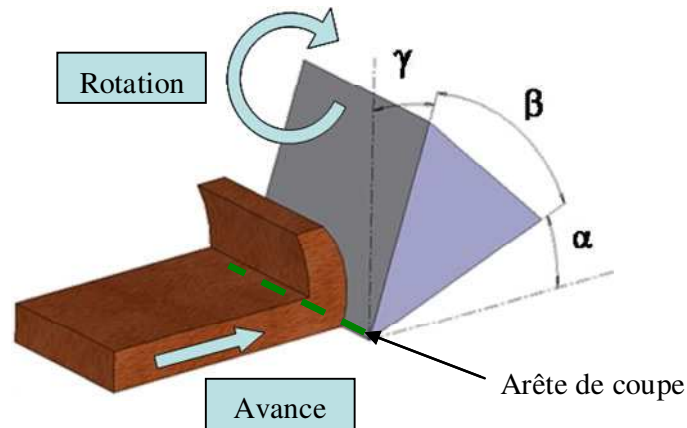


Figure III-12 : Les angles principaux d'un outil de coupe

III.2.1.3. L'angle de coupe γ

Anciennement appelé angle d'attaque (appellation encore régulièrement utilisée dans l'industrie), cet angle fait partie des paramètres qui vont conditionner la formation du copeau. On le détermine en fonction du mode de coupe (voir III.1.1) qui va être mis en jeu, ainsi qu'avec le diamètre de la lame. D'après Anquetil [22], cet angle doit être de 27° pour les bois tendres dans le cas du délignage, et de 5° pour les applications de tronçonnage. D'après Auger [23], cet angle dépend du diamètre de la lame, et de la nature du bois (Tableau III-III):

Diamètre des lames (mm)	Nature des bois		
	Bois tendres verts	Bois verts durs et secs tendres	Bois secs durs
200	22°	18°	13°
300	26°	20°	15°
400	30°	25°	17°
500	32°	27°	18°
600	35°	30°	20°

Tableau III-III : Angles de coupe préconisés d'après [23]

Pour les lames travaillant avec une flèche faible, les valeurs du tableau précédent doivent être augmentées de 5° . Toutes les références citées sur l'angle de coupe ne mentionnent pas de références sur le matériau de coupe (III.2.4).

III.2.1.4. L'angle de dépouille α

Cet angle évite les frottements entre la dent et le matériau bois après la coupe. On parle de talonnement lorsque ce phénomène se produit. D'après Anquetil [22], la valeur de cet angle doit être de 15° , et ne dépend que de la nature du bois. D'après Auger [23], cet angle dépend aussi du diamètre de la lame, et de la nature du bois (Tableau III-IV) :

Diamètre des lames (mm)	Nature des bois		
	Bois tendres verts	Bois verts durs et secs tendres	Bois secs durs
200	14°	12°	10°
300	15°	13°	11°
400	16°	14°	12°
500	17°	15°	13°
600	18°	16°	14°

Tableau III-IV : Angles de dépeuille préconisés d'après [23]

Pour les lames travaillant avec une flèche faible, les valeurs du tableau précédent doivent être augmentées de 3°.

III.2.1.5. L'angle de taillant β

Avant de parler de cet angle, il convient d'énumérer le fait que les trois angles sont complémentaires, c'est à dire que la somme de leurs valeurs est égale à 90°. L'angle de taillant représente donc l'angle formé par le matériau de coupe. D'après Auger [23], cet angle dépend aussi du diamètre de la lame, et de la nature du bois (Tableau III-V) :

Diamètre des lames (mm)	Nature des bois		
	Bois tendres verts	Bois verts durs et secs tendres	Bois secs durs
200	54°	60°	67°
300	49°	57°	64°
400	44°	51°	61°
500	41°	48°	59°
600	37°	44°	56°

Tableau III-V : Angles de taillant préconisés d'après [23]

De même, pour les lames travaillant avec une flèche faible, il faut augmenter l'angle de coupe et de dépeuille de 5 et 3° respectivement. Ce qui induit une diminution de l'angle de taillant de 8°, et le tableau devient donc (Tableau III-VI) :

Diamètre des lames (mm)	Nature des bois		
	Bois tendres verts	Bois verts durs et secs tendres	Bois secs durs
200	46°	52°	59°
300	41°	49°	56°
400	36°	43°	53°
500	33°	40°	51°
600	29°	36°	48°

Tableau III-VI : Angles de taillant avec flèche faible

Pour des raisons de durée de vie des outils, les fabricants de lame de scie circulaire ont adopté le carbure de tungstène (III.2.4.3) comme matériau de coupe. Ce matériau beaucoup plus dur que l'acier rapide et le stellite a permis de multiplier jusqu'à 10 fois la durée de vie des lames. Cependant, cette grande dureté corrélée à une ténacité beaucoup plus faible

demande à ce que l'angle de taillant des outils soit de l'ordre de 50°, valeurs beaucoup plus fortes pour l'application « bois tendres verts » que les valeurs préconisées. Cette augmentation a donc été réalisée au détriment des angles de coupe et de dépouille préconisés.

III.2.2. La voie

III.2.2.1. Présentation

Par rapport aux autres caractéristiques présentées dans ce chapitre, toutes angulaires, la voie est une caractéristique géométrique, également rattachée à la dépouille radiale (III.2.2.2) et à la dépouille latérale (III.2.2.3).

Dans l'usinage de tous les matériaux, et du bois en particulier, les arêtes coupantes doivent être en saillie par rapport au corps de l'outil. C'est une nécessité pour effectuer la coupe elle-même, mais aussi pour atténuer suffisamment les frottements entre l'outil et le matériau, générateurs de perturbations (échauffements, vibrations...) afin de rester dans les limites d'un fonctionnement normal. Dans le cas d'une lame avoyée, la mise en saillie des arêtes s'effectue par des déformations localisées, réalisées par torsion ou par écrasement. Dans le cas d'une lame avec ajout du matériau de coupe, sur une encoche prévue à cet effet (stellite, carbure...), la plaquette est calculée en largeur pour laisser subsister un dépassement latéral identique de part et d'autre du corps de lame, après la rectification des flancs [24].

Mathématiquement, la voie correspond à la moitié de la différence entre la largeur de la dent et celle du corps de lame. Dans le cas des lames carbures, d'après Anquetil [22], la voie dépend principalement du diamètre de l'outil : plus celui-ci est élevé, et plus la voie doit l'être aussi (Tableau III-VII):

Diamètre des lames (mm)	Epaisseur du corps de l'outil (mm)	Perte au trait de scie (mm)	Voie (mm)
200	1,8	2,6	0,4
250	2	2,8	0,4
300	2,2	3,2	0,5
350	2,5	3,6	0,55
400	2,5	3,6	0,55
500	3	4,2	0,6
600	3	4,5	0,75

Tableau III-VII : Voie en fonction du diamètre de lame d'après [22]

Ceci se vérifie au niveau des lames présentes dans la scierie. Pratiquement, le diamètre de lame conditionne la hauteur de sciage maximum admissible par les lames. C'est surtout cette hauteur qui importe au niveau de la voie.

Les dents, constituées de pastilles brutes, sont rectifiées pour donner la voie à la lame. Cette opération de rectification se fait suivant deux angles que nous allons présenter ci-après (Figure III-13) :

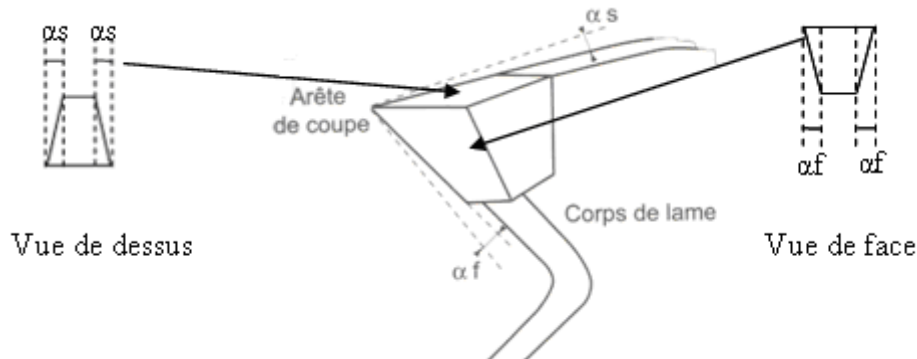


Figure III-13 : Angle de dépouille radiale et latérale

III.2.2.2. La dépouille radiale α_f

Cet angle se mesure entre la droite intersection de la face de coupe et le chant de la dent, et le plan parallèle au corps de lame passant par la pointe de l'arête de coupe (parallèle à P_f). Les fabricants de lames donnent à cet angle une valeur comprise entre 1 et 2°.

L'angle donné à la scierie SIAT-BRAUN lors du reconditionnement de lames est de 1.5°, angle donné par le deuxième fabricant de lames retenu pour la scierie. Il faut remarquer que ces lames ont bien fonctionné sur la ligne de sciage.

III.2.2.3. La dépouille latérale α_s

Cet angle se mesure entre la droite intersection de la face de dépouille et le chant de la dent, et le plan parallèle au corps de lame passant par la pointe de l'arête de coupe.

L'angle donné à la scierie SIAT-BRAUN lors du reconditionnement de lames est de 3.5° (valeur donnée pour les mêmes raisons que pour la dépouille radiale).

III.2.2.4. Rôle de ces angles

Dans le cas où ces deux angles seraient nuls, toute la surface de la dent serait en contact avec le matériau lors de l'opération de coupe, ce qui induirait beaucoup de frottements. Mais grâce à eux, on peut considérer que seule une partie de la face de coupe l'est. Si la valeur de ces angles est trop grande, les frottements seront diminués, mais la voie va diminuer plus rapidement à chaque affûtage, ce qui réduira considérablement la durée de vie de la lame (Figure III-14). Leurs valeurs respectives sont donc un compromis entre frottement et marge d'affûtage.

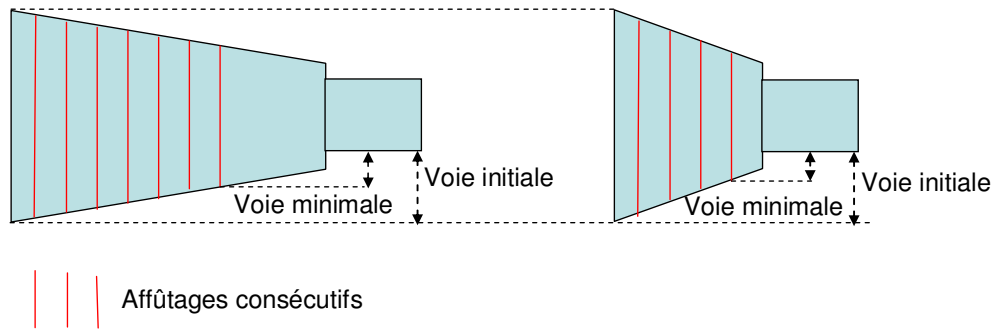


Figure III-14 : Influence des angles de dépouille sur la marge d'affûtage

III.2.2.5. Voie et marge d'affûtage

La marge d'affûtage représente la différence entre la voie initiale et la voie minimale qu'il est possible d'utiliser. Cette marge est un compromis économique pour l'entreprise puisqu'elle est proportionnelle à la voie. Or, une voie trop importante est synonyme d'une augmentation de la perte de matière première. De plus, le travail de la scie sera aussi moins précis puisque les efforts sur les dents, proportionnels à la largeur de copeau, augmenteront eux aussi (Figure III-15):

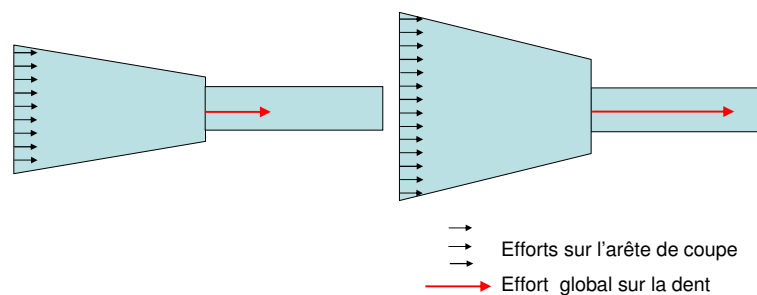


Figure III-15: Répartition et transmission des efforts de coupe

Dans le cas d'une marge trop faible, il conviendra de changer plus souvent les dents, avec le brasage de nouvelles (III.2.6). Ceci a aussi un coût non négligeable pour l'entreprise.

Ce principe ne s'applique pas uniquement aux scies circulaires, mais aussi aux scies à ruban, comme l'a démontré Okai [25] sur la précision des sciages obtenus : en dessous de la voie minimale, la qualité est moindre à cause des frottements entre la lame et le bois. Avec une trop grande voie, la qualité est aussi moindre à cause de l'augmentation des efforts de coupe qui engendrent eux aussi des déviations de la lame.

III.2.3. Les angles secondaires

Ces angles sont répertoriés sur la Figure III-16 ci-dessous :

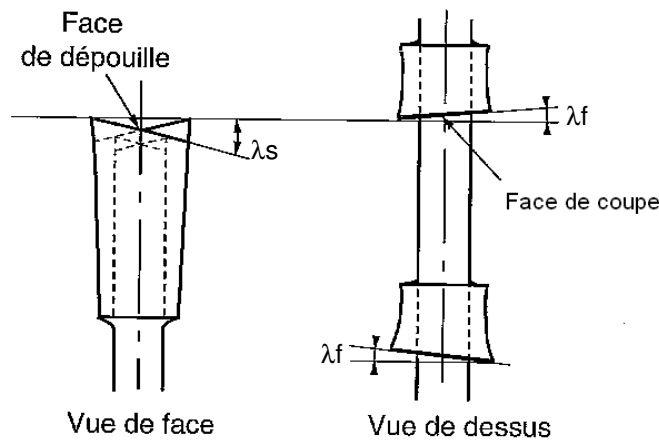


Figure III-16 : Angles secondaires d'une lame [24]

Pour ces deux angles, un principe d'alternance est utilisé, c'est-à-dire que ces angles sont attribués alternativement à droite et à gauche.

III.2.3.1. Le biseau de coupe λ_f .

D'après le FCBA [24], les lames à pastilles en carbure sont toujours dépourvues de biseau sur la face de coupe. L'organisme ne donne cependant pas de raison à cette pratique.

III.2.3.2. Le biseau de dépouille, ou angle d'inclinaison d'arête de coupe λ_s .

L'angle d'inclinaison d'arête de coupe permet d'avoir une entrée progressive dans la matière. En denture droite, toute l'arête de coupe attaque la matière lors de la pénétration de la dent, d'où un choc plus important. Le biseau de dépouille, même s'il va engendrer une augmentation progressive de l'effort de coupe, a pour inconvénient de fragiliser la pointe de dent, et aussi d'augmenter la surface de contact entre la matière et l'outil.

III.2.3.3. Autres angles et profils de denture

Beaucoup de profils sont réalisables à partir des angles cités précédemment, du nombre de dents entre chaque répétition du profil, etc... La figure suivante en indique les principaux :

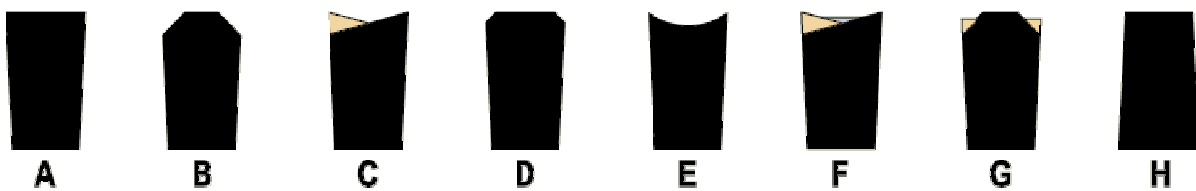


Figure III-17 : Les différents profils de denture [26]

D'après l'organisme Forintek[26], ces profils ont les caractéristiques suivantes :

- Le profil A, ou denture plate, est le plus courant, le moins coûteux et le plus facile à affûter. Il est surtout utilisé pour le délignage, mais ne produit pas le meilleur état de surface ;
- Le profil B, ou denture trapézoïdale, donne un meilleur état de surface avec les matériaux composites comme les panneaux de particules ;
- Le profil C, ou denture en biseau alterné sur la face de dépouille est parfois utilisé pour le délignage, mais l'effet inciseur du coin de l'arête en fait un outil idéal pour le tronçonnage ;
- Le profil D, ou denture à coin chanfreiné, est utilisé pour le délignage de bois durs, lorsque le coin de la dent risque davantage de se briser ;
- Le profil E, ou à dos concave, donne le meilleur résultat pour le tronçonnage, mais exige un affûtage particulier et très soigné ;
- Le profil F, ou denture combinée, est utilisé pour les bancs de scie destinés aux opérations de délignage et de tronçonnage. Il est constitué de quatre dents en biseau alterné sur la face de dépouille suivies d'un racleur ;
- Le profil G, ou denture trapézoïdale avec racleur, est surtout utilisé pour les produits à revêtement stratifié. La dent trapézoïdale est légèrement plus haute que le racleur et tranche les fibres au centre du trait de scie ; il ne reste au racleur qu'à enlever une faible quantité de bois sur les côtés, ce qui diminue la pression de coupe, et, par conséquent, les risques d'éclat dans le stratifié.

III.2.4. Le matériau de coupe

Il existe aujourd'hui une multitude de matériaux de coupe. Leur description serait longue et exhaustive, c'est pourquoi ne seront présentés dans cette partie que les matériaux utilisés en première transformation du bois, et plus particulièrement au sein de la scierie SIAT-BRAUN.

III.2.4.1. Les aciers rapides

Les aciers utilisés en usinage du bois sont des aciers au chrome (SP), des aciers rapides (HL), des aciers surcarburés (HS) qui sont des aciers rapides à haute teneur en carbone (1,5 à 1,8 %) et en tungstène (15 à 18%). La dureté moyenne est de 60 à 65 HRC pour les aciers rapides. Ces derniers ont pour principaux avantages:

- Une acuité d'arête de coupe engendrant un excellent pouvoir tranchant ;
- Une grande facilité d'affûtage ;
- Une bonne résistance aux chocs ;
- Une mise en œuvre facile ;

D'après Ockajova [27], les lames avoyées produisent plus de particules fines que les autres types de lame. Ceci est surtout dû au fait que l'arête de coupe n'est pas aussi large que le trait de scie, pour l'avoyage par torsion, technique la plus employée (Figure III-18). La largeur de l'arête est comprise entre la moitié du trait de scie (voie maximale) et la largeur du trait (voie nulle).

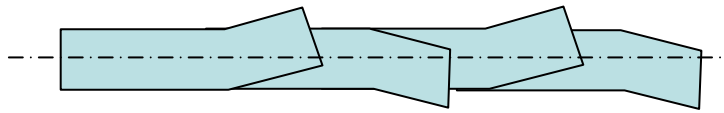


Figure III-18 : Vue de dessus d'une lame avoyée

Les copeaux sont donc plus fragmentés, du fait de cette différence. Ces lames possèdent de plus un angle de coupe plus prononcé, qui a aussi pour effet de réaliser plus de poussières.

Cette technologie n'est à ce jour plus employée que pour les applications de billonnage, c'est-à-dire de tronçonnage de grumes à des longueurs standard de billons. Les lames, d'un diamètre de 2100 mm, doivent avoir un nombre minimal très élevé de dents. De plus, les chocs importants sont incompatibles avec l'utilisation de matériau rapportés.

La résistance aux chocs, ainsi que la facilité d'affûtage, font que ces aciers sont très utilisés dans le domaine de la scierie pour la réalisation de couteaux de canter et de broyeur, pour lesquels il est nécessaire d'avoir un angle de taillant β très faible.

III.2.4.2. Les alliages chrome-cobalt (ST)

Il existe plusieurs types de ces alliages, mais le plus connu est le « Stellite » (marque déposée de la société Deloro). Ils ont une dureté comprise entre 47 et 52 HRC, donc plus faible que les aciers à froid. Leur particularité est de garder leurs caractéristiques mécaniques à chaud.

Les matériaux de base étant résistants à la corrosion, il est aisé de comprendre la bonne résistance de ces alliages à l'usure. Le stellite est principalement utilisé pour la création

des arêtes de coupe sur les lames de scie à ruban. L'alliage en fusion est déposé sur le corps entouré d'un moule, avant les opérations d'affûtage et de rectification.

Un autre alliage de ce type très connu est le tantung, qui est plus utilisé en deuxième transformation du bois. Sa dureté est plus élevée, comprise entre 60 et 65 HRC, et il conserve lui aussi ses propriétés à chaud.

III.2.4.3. Les carbures de tungstène

Les carbures de tungstène sont issus de la métallurgie des poudres, obtenus par frittage à une température de 1 400°C et une pression allant de 150 à 220 MPa. Le frittage procède à l'agglomération de grains de carbure de tungstène WC avec l'aide d'un liant, le cobalt Co. Contrairement aux aciers et alliages chrome-cobalt qui sont des matériaux homogènes, les carbures de tungstène sont des matériaux hétérogènes.

Ces deux éléments principaux (Co et WC) sont choisis pour leurs caractéristiques complémentaires. Le carbure de tungstène a pour principales qualités :

- Sa dureté (85 à 90 HRC), qui le place parmi les corps connus les plus durs, après le diamant et le nitrure de bore, lui confère une excellente résistance à l'abrasion ;
- Sa température de fusion particulièrement élevée, qui lui permet de supporter sans dommage les températures atteintes lors de l'usinage ;
- Sa bonne inertie aux attaques physico-chimiques ;

Le liant est choisi pour son aptitude à tenir les grains entre eux. Bien sûr, cette hétérogénéité se traduit par une sensibilité aux chocs et vibrations, car les surfaces d'assemblage sont autant de zones de fragilité potentielle. Les performances du carbure de tungstène sont fonction de deux paramètres principaux :

- Plus le pourcentage du Co augmente, plus la résistance aux chocs est élevée, mais plus la résistance à l'usure est faible ;
- Plus les grains de carbure de tungstène sont petits, plus le matériau est résistant à l'usure, mais plus il est fragile.

Une explication plus détaillée des carbures sera reprise par la suite, dans le chapitre consacré aux tests d'usure qui ont été menés (V.4).

III.2.5. Le profil de denture

Le profil de denture permet de collecter la sciure générée par la face de coupe pendant que celle-ci est prise dans la matière à usiner (Figure III-19).



Figure III-19 : Copeau fragmenté dans le profil de denture

D'après Anquetil [22], la hauteur de dent doit être égale à la moitié du pas. Le rayon de creux de dent à $1/5^{\text{ème}}$ du pas, ceci pour des raisons de rigidité de la dent (Figure III-20). Ces valeurs empiriques sont issues de l'expérience du métier. Dans l'entreprise, on donne à la dent une hauteur comprise entre la moitié et les trois quarts du pas.

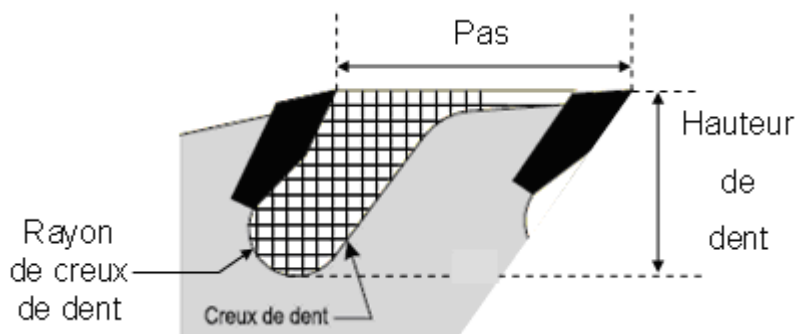


Figure III-20 : Géométrie du profil de denture

Le volume du creux de dent doit pouvoir contenir toute la sciure produite par la dent. Ceci va dépendre de l'épaisseur de copeau ainsi que de sa longueur. D'après Fibois [28], on considère de plus que la sciure formée a un coefficient de foisonnement (volume apparent/volume matière) compris entre 2 et 3. Ce dernier doit être pris en compte dans le calcul du volume de copeau. Le volume du creux de dent peut donc être un facteur limitant au niveau des scies circulaires : un sciage à une grande vitesse d'avance impose un nombre de dents importants sur la lame, mais il faut que le volume de bois enlevé par chaque dent puisse être contenu dans le creux dont la capacité diminuera avec l'augmentation du nombre de dents.

III.2.6. La brasure : interface corps de lame/pastille

La brasure (Figure III-21) est de loin le procédé le plus répandu pour la fixation des plaquettes de carbure sur le corps de la lame.

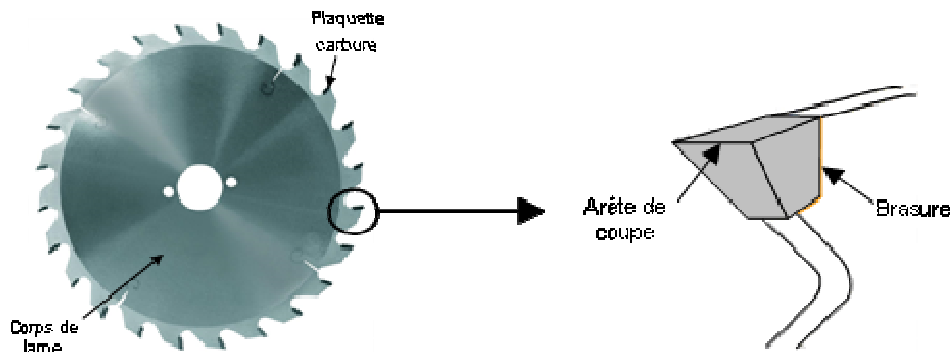


Figure III-21 : Brasure d'une plaquette carbure sur un corps de lame

A noter qu'il existe aussi des systèmes de fixation mécanique, procédé que l'on trouve en Amérique du nord et pour les lames de billonnage à lames carbure (Figure III-22). Ces systèmes peuvent être soit rivetés, soit à ressort, mais si la dent est composée d'un support acier et d'une plaquette en carbure, ces deux sous-ensembles sont eux aussi liés par une brasure.

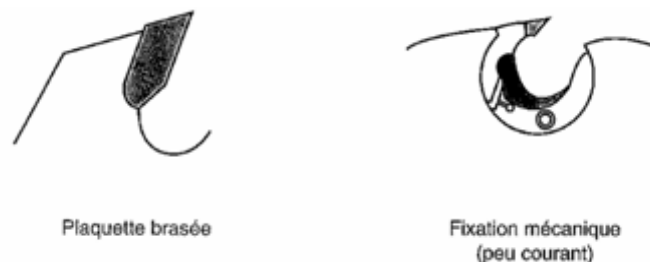


Figure III-22 : Types de fixation des plaquettes carbure

III.2.6.1. Définition du brasage

Le brasage est l'assemblage de deux matériaux à l'aide d'un métal d'apport ayant une température de fusion inférieure à celle des métaux à assembler et mouillant, par capillarité, les surfaces qui ne participent pas par leur fusion à la constitution du joint brasé. C'est un assemblage dit « hétérogène ». Le chauffage de la zone à braser peut se faire par un fer à souder, de l'air chaud, une flamme (chalumeau), un arc électrique, un inducteur ou au laser. Le métal d'apport peut être un alliage d'étain, de cuivre, d'argent, d'aluminium, de nickel, ou autres alliages de métaux précieux, ces derniers ayant la particularité d'avoir des points de fusion relativement bas. Très fréquemment des flux de brasage sont utilisés afin de permettre le mouillage du métal d'apport par destruction de la couche d'oxyde à la surface des métaux à assembler.

III.2.6.2. Différents types de brasure

Pour les scieries, deux types de brasure sont disponibles sur le marché :

- La brasure référencée 4900, dont la composition massique des éléments est la suivante : Ag 49%; Cu 16%; Zn 23%; Mn 7,5%; Ni 4,5% ;
- La brasure référencée 49 Cu, composée de deux couches dont la composition massique est : Ag 49%; Cu 27,5%; Zn 20,5%; Mn 2,5%; Ni 0,5%. Ces couches prennent en sandwich une couche de cuivre dans des proportions 1/3-1/3-1/3 (Figure III-23).



Figure III-23 : Aspect d'une brasure avec cuivre

La nécessité d'incorporer une feuille de cuivre dans la brasure vient du fait que le carbure et l'acier du corps de lame n'ont pas la même vitesse de chauffe et de refroidissement, et surtout les mêmes coefficients de dilatation thermique, celle du carbure étant beaucoup plus faible que celle de l'acier. Feld [53] a beaucoup travaillé sur les problèmes de brasure pour expliquer les problèmes liés aux caractéristiques intrinsèques aux matériaux brasés lors de la chauffe (Figure III-24).

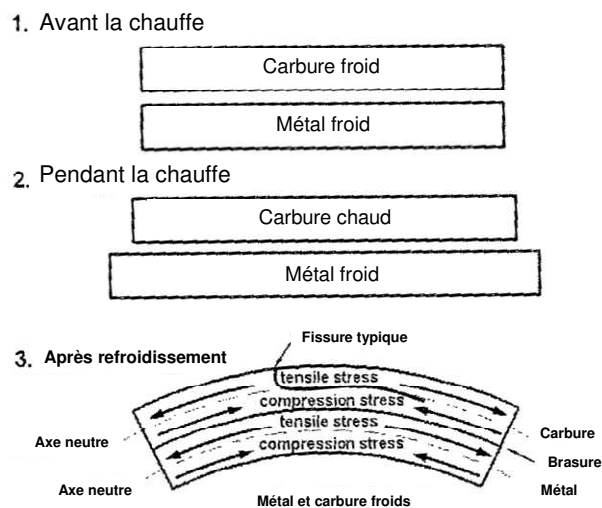


Figure III-24: Echanges thermiques et contraintes lors de l'opération de brasage

Lors du refroidissement des matériaux, des tensions se créent au sein du carbure. Ces tensions sont libérées par la création de fissures au sein du carbure.

Celui-ci étant un mélange de grains de tungstène et d'un liant métallique, les tensions seront d'autant plus fortes que la proportion de grains de carbure le sera (et donc la proportion de liant faible). Ceci est dû à la modification de la ténacité du carbure (Figure V-29).

L'apport d'une couche de cuivre permet de limiter les tensions, par l'ajout d'un corps dont les caractéristiques se situent entre celles de l'acier et du carbure. D'après les fabricants de machines à braser les plaquettes, la couche de cuivre permettrait aussi de jouer le rôle d'amortisseur, face aux chocs et vibrations dus à la coupe, mais ceci n'a pas été vérifié expérimentalement.

III.2.6.3. Pré-requis pour l'application de la brasure

Pour braser deux corps ensemble, leurs surfaces doivent être propres. Pour nettoyer les surfaces ainsi qu'en améliorer la mouillabilité par la brasure, un décapant est utilisé.

Lorsqu'un liquide est mis en contact avec la surface d'un solide, il se forme un angle du premier sur le second. Lorsque le mouillage est parfait, l'angle de raccordement devient nul, et dans ce cas l'énergie d'adhésion est maximum.

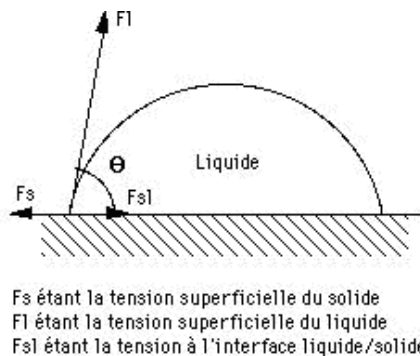


Figure III-25 : Mouillabilité d'un matériau par un liquide

III.2.6.4. Le nettoyage du support de plaquette

Dans la fabrication d'une lame neuve, la surface sur laquelle on va braser la plaquette est relativement propre puisque fraîchement usinée. Dans le cas d'un changement de plaquette, l'ancienne est débrasée, mais il subsiste sur le corps de lame des restes de l'ancienne brasure, ainsi que la feuille de cuivre. Une brasure réalisée sur un support sale adhéra moins au corps de lame et résistera moins aux efforts de coupe, c'est pourquoi le logement de la pastille est nettoyé au chalumeau et à la brosse métallique. Si celui-ci est vraiment trop sale, une meule émeri est montée sur l'affûteuse, afin de nettoyer le corps de lame par enlèvement de matière.

III.2.6.5. La chauffe

La chauffe de la pastille se fait soit par flamme oxyacétylénique (combustion d'un mélange d'acétylène et d'oxygène à une température de 3100°), soit par induction. La flamme est le moyen le plus facile à mettre en œuvre mais a l'inconvénient de ne pas permettre une

bonne maîtrise de la température. Cette élévation trop haute de la température peut entraîner une trempe de l'acier non contrôlée du corps de lame à proximité de la brasure.

D'après Denis [29], la trempe des aciers comporte normalement un chauffage jusqu'au-delà de la température d'austénitisation, (état de la matière) un maintien à cette température pendant un temps déterminé et un refroidissement à une vitesse déterminée. Cette température (aux alentours de 900°) doit être choisie de manière à assurer une bonne répartition des éléments d'alliage, ce qui assure un durcissement homogène. Si le refroidissement se produit à une vitesse assez rapide, l'acier va subir la transformation martensitique (autre état de la matière). De cette façon, on obtient le durcissement. Ce durcissement provoque aussi des effets indésirables comme par exemple une augmentation de la fragilité du matériau (résilience). Cette fragilité peut entraîner la casse de dents complètes lors de chocs dus à la coupe, et donc la perte complète du corps de lame. C'est pour cette raison qu'après la trempe, on applique souvent d'autres traitements thermiques, comme le revenu. Cette opération, non réalisable avec une flamme, peut être réalisée par un chauffage par induction électrique pilotée. Mais ce procédé n'est disponible que sur les machines spéciales pour le brasage des plaquettes

Une étude sur les corps de lames cassés, ainsi que celle sur l'acquisition d'une machine à braser, sont présentées dans le chapitre IV.4.2.

III.2.7. Le détalonnage

En général, d'après le FCBA [24], il est indispensable de réaliser une contre-dépouille appelée aussi « détalonnage » sur la partie en acier de la dent, dont la valeur est plus élevée que la dépouille donnée sur la plaquette de carbure. Cet angle a pour rôle d'éviter que la meule diamantée (qui ne doit normalement être en contact qu'avec le carbure) ne pénètre trop profondément dans le contrefort en acier pendant l'affûtage.

En principe, ce « détalonnage » doit être effectué chaque fois que l'on réaffute la plaquette sur sa face de dépouille, afin de limiter le contact entre la meule diamantée et l'acier à une valeur comprise entre 1 et 1.5mm maximum (Figure III-26). Au-delà de cette valeur, l'importance du contact entre la meule diamantée et le contrefort de la dent favorise l'encrassement des grains et abrège considérablement leur pouvoir de coupe.

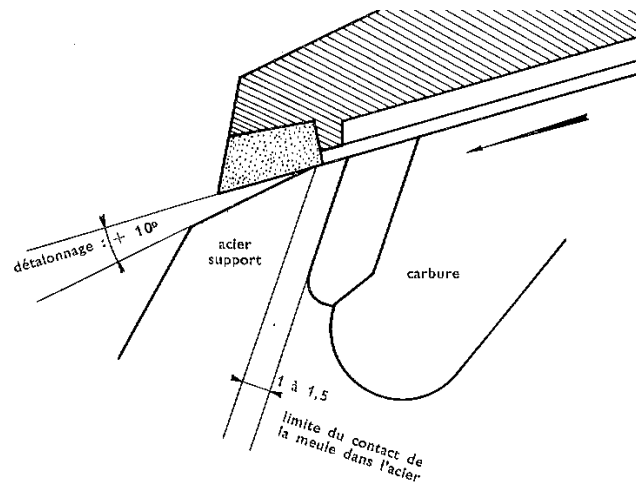


Figure III-26 : Nécessité du détalonnage

III.2.8. Le corps de lame

III.2.8.1. Différents types de corps

Les corps de lames ne sont pas que de simples morceaux de « tôle » circulaires sur lesquels on a taillé la forme des dents. Ces derniers possèdent des caractéristiques techniques en grand nombre que nous allons présenter ci-après.

Historiquement, depuis son apparition, le corps de lame était d'épaisseur constante (ou « droit »). Les lames d'épaisseur variable, ou encore dites « à moyeu » ou à « corps renforcé » ont vu le jour après des études dans les années 1990 (Figure III-27).

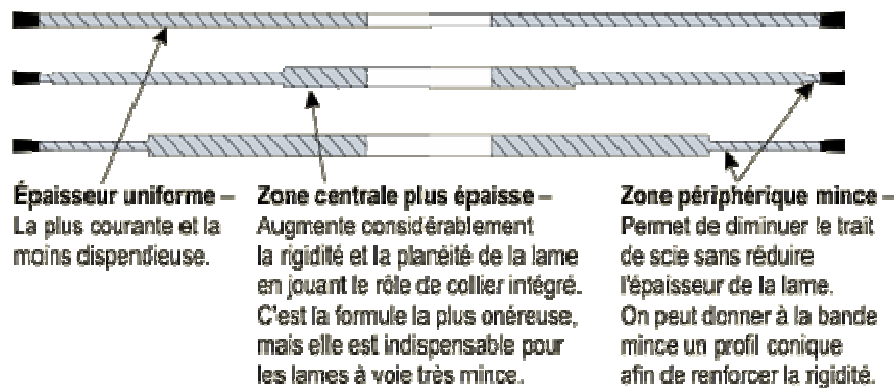


Figure III-27 : Les différents corps de lame d'après [26]

Dans certaines applications, des éléments extérieurs ne permettent pas de choisir le diamètre optimal de lame. Ceci peut intervenir par exemple lorsque la vitesse de rotation des axes machines est fixe, et le diamètre de lame doit être augmenté pour respecter la vitesse de coupe.

Pour garder la stabilité dynamique de la lame, sans trop augmenter le diamètre des flasques, qui, par leur masse alourdiraient l'axe machine et le déséquilibreraient (en

particulier pour les lames sur manchons), des lames à moyeux sont utilisées : la partie fine où est réalisée la coupe, est optimisée pour le rendement matière. Sa stabilité est assurée par la partie centrale, plus épaisse, de par sa rigidité et ses caractéristiques vibratoires supérieures comme l'a démontré Cheng [30]. Ces solutions sont plus onéreuses (Figure III-27) que les lames droites puisqu'il faut utiliser une plaque métallique plus épaisse pour la partie centrale, et que beaucoup de matière doit être enlevée en périphérie.

Le positionnement d'une lame, qu'elle soit droite ou à moyeu, sur une machine se fait par le biais de flasques de serrage (Figure III-28). D'après Stanford [31], ces flasques doivent légèrement être évidés afin de permettre un serrage continu sur la périphérie, synonyme d'une plus grande stabilité. En effet, plus le diamètre des flasques de serrage est grand, et plus leur serrage apporte de la stabilité à la lame comme l'a démontré Stakhiev [32].

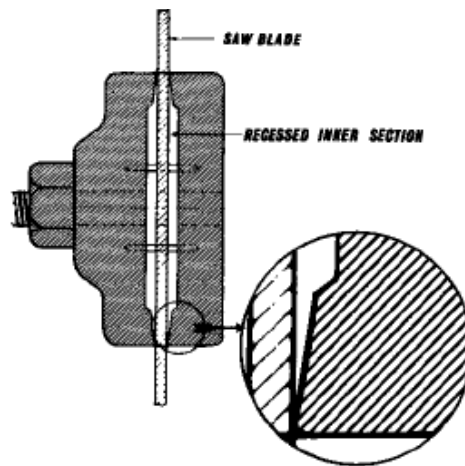


Figure III-28 : Maintien de la lame par flasques de serrage d'après [31]

III.2.8.2. Les ouvertures et racleurs

Dans tous les corps de lames, des découpes sont réalisées. Elles sont souvent accompagnées de racleurs pour les lames de déblaiement.

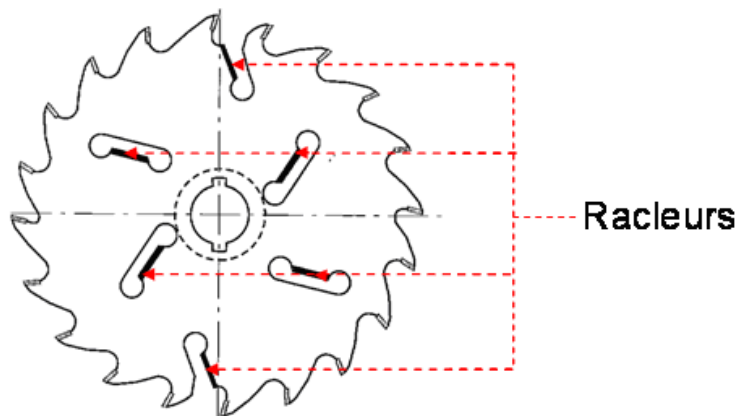


Figure III-29 : Aspect d'une lame de débit à racleurs

Le nombre d'ouvertures est fonction, d'après Anquetil [4], du diamètre de la lame ainsi que du nombre de diamètres nodaux prévus (voir III.4.1).

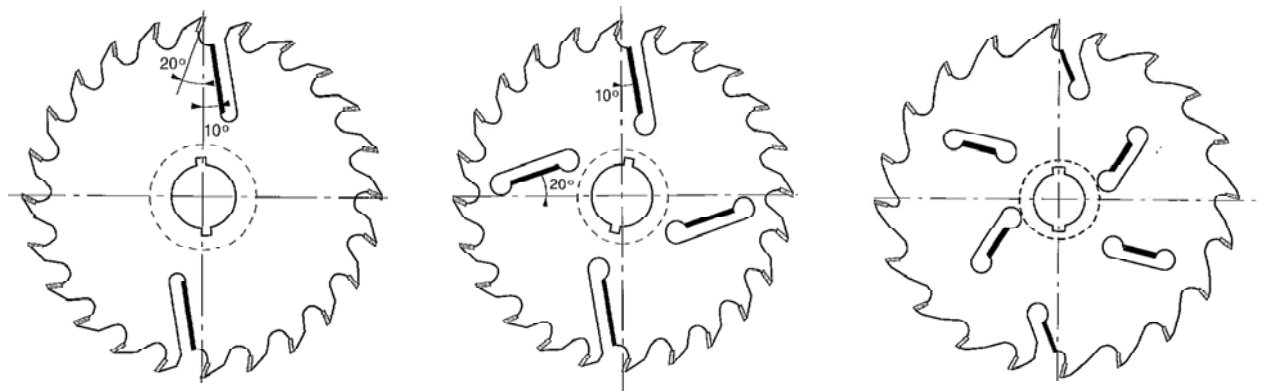


Figure III-30 : Nombre de racleurs par lame

Comme on peut le remarquer sur la figure précédente, les ouvertures ont un « angle de coupe » (III.2.1.3) négatif compris entre -30° et -10° . Leur longueur va dépendre de leur nombre, puisque l'on s'arrange pour que le corps de lame ne soit jamais continu sur un diamètre donné, du flasque de serrage jusqu'aux pointes de dents. Ainsi, chaque cercle concentrique appartenant à la surface de l'outil est coupé au moins en deux points.

D'après Stakhiev [33], la valeur de la vitesse critique de rotation va dépendre du nombre d'ouvertures et de leur angle. Plus le nombre est élevé, plus la vitesse de rotation le sera. Par contre, ces découpes dans le corps de lame diminuent sa stabilité dynamique. Elles ont un rôle au niveau de la dilatation thermique, en plus de celui pour les vibrations (voir III.4.1).

Il n'y a pas d'angles vifs sur les ouvertures puisqu'elles sont le théâtre de grandes contraintes pendant la coupe. Ponton [34], qui a réalisé des modèles en éléments finis de scies circulaires, affirme que les fentes dans les scies présentent les plus grandes contraintes, tangentielles et radiales, par rapport aux autres éléments du corps de lame (Figure III-31).

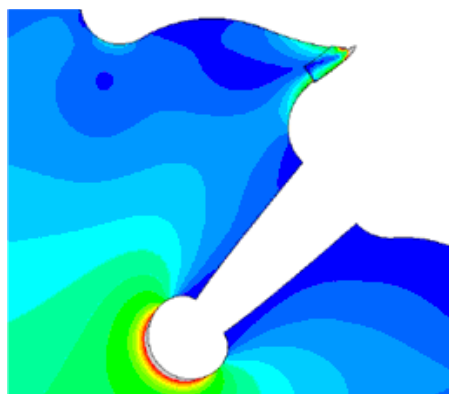


Figure III-31 : Aspect des contraintes sur une fente périphérique

En milieu industriel, on remarque la présence de ces contraintes puisque les lames en instance de bris présentent des criques (fissures) en premier lieu au niveau des fentes.

On brase souvent des racleurs au niveau des ouvertures pour deux fonctions :

- « Racler » comme leur nom l'indique la sciure après la coupe. D'après Anquetil [22], la qualité de l'état de surface obtenu avec des lames à racleurs est très supérieure à celle obtenue par une scie de débit classique ;
- Eviter les frottements entre le corps de l'outil et le bois, en particulier les coups de feu qui peuvent être le résultat d'un bois arrêté dans une machine. Dans ce cas, le contact de longue durée entre la lame et le bois va augmenter le gradient de chaleur au sein de la lame, et entraîner son bris.

Comme les racleurs doivent évacuer une partie de la sciure, les ouvertures jouent le rôle de logement à l'instar des profils de denture (III.2.5). Ceci explique l'association de ces deux éléments. Tout comme les dents, les racleurs possèdent une voie par rapport au corps de lame. Celle-ci est égale à la moitié de la voie des dents. Tous les fabricants de lame respectent cette règle mais aucune donnée ou caractéristique scientifique ne les corrobore.

III.3. Interactions

Dans les deux précédents sous-chapitres, nous avons successivement décrit les paramètres influents sur la coupe du bois, ainsi que ceux qui permettaient de décrire une lame de scie. Cependant, il existe des interactions, c'est-à-dire des dépendances entre ces différents paramètres. Nous allons donc les exposer ci-après.

III.3.1. Interaction entre l'avance par dent f_z et l'angle de coupe γ

Franz [35], a défini trois types de copeau obtenu lors de l'usinage du bois. Les quatre paramètres régissant le type obtenu sont l'avance par dent, l'angle de coupe, l'essence ainsi que son humidité, ces deux derniers paramètres étant fixes dans l'application industrielle étudiée. Franz a également défini trois types lors de mouvement de coupe linéaires instantanés, en faisant varier, pour une matière première et une humidité données, la prise de passe ainsi que l'angle de coupe.

III.3.1.1. Le copeau de type I obtenu par fendage.

L'outil vient générer une fissure se propageant suivant le fil du bois en avant de l'arête de coupe. Ce type de copeau est largement déconseillé car la direction et la longueur de cette fissure ne sont pas maîtrisables et peuvent laisser d'importantes marques sur la surface usinée.

Une essence de bois ayant une forte résistance à la flexion et une faible résistance à la traction perpendiculaire aux fibres favorisera la formation de ce type de copeaux. C'est principalement le cas des feuillus à zone initiale poreuse. La présence en début de cerne d'amas de vaisseaux de gros diamètres, avec donc une proportion de fibres réduite, favorise la rupture en traction perpendiculaire.

Au niveau des conditions de coupe, un angle de coupe élevé, et/ou une forte profondeur de passe, favorisent ce type de copeau. Ces conditions induisent un effort normal élevé ce qui engendre un angle important entre l'effort de coupe total et la direction de coupe et dont la rupture par fendage.

Dans les Figure III-32 à Figure III-35, nous allons considérer les efforts de coupe de la façon suivante : F_a est l'effort suivant la direction de l'avance, F_p les efforts dans une direction normale à la coupe, et F_c la résultante entre les deux efforts précédemment cités.

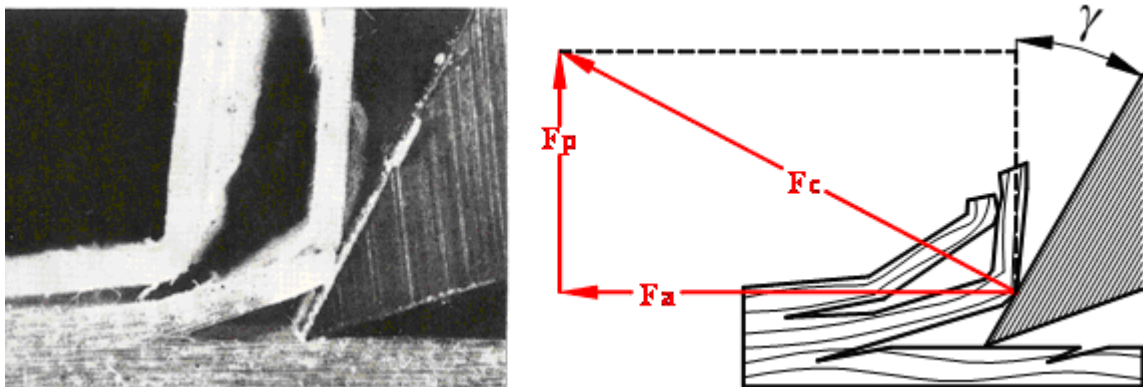


Figure III-32 : Copeau de type I

Les efforts de coupe associés à ce type de copeau évoluent de façon cyclique : ils augmentent jusqu'à un pic maximum correspondant à la fissuration le long du fil du bois en avant de la dent ; une fois cette fissure réalisée, le copeau formé fléchit et glisse légèrement sur la face de coupe ; ensuite, il se rompt telle une poutre encastree chargée en porte-à-faux. L'usure de l'outil par frottement est assez faible. En revanche ce type de copeau engendre des chocs dus aux pics d'efforts et peut donc favoriser les brèches sur l'arête de coupe.

III.3.1.2. Le copeau de type II obtenu par compression.

Ce type de copeau est celui qui doit être recherché lorsque l'on effectue l'opération de délignage : le mouvement de l'outil comprime le bois dans le sens des fibres en avant de l'arête de coupe; et un plan de cisaillement se forme entre cette dernière et la surface brute de la pièce de bois. La matière adopte alors une déformation plastique par glissement sur la face de coupe. Pour obtenir ce type de copeau, il est nécessaire (par rapport au type I) de réduire

l'angle de coupe et/ou la profondeur de passe. La contrepartie est qu'à volume de copeau identique, l'obtention de ce copeau nécessite plus d'énergie que pour le type I. Au niveau des efforts, la continuité du copeau impose une stabilité dans les deux directions. C'est ce type de copeau que l'on recherche pour obtenir le meilleur état de surface possible.

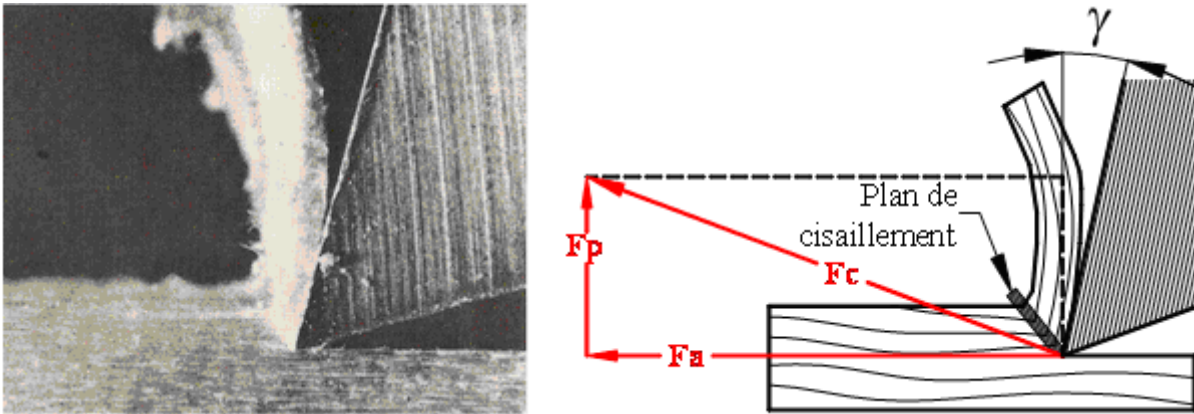


Figure III-33 : Copeau de type II

III.3.1.3. Le copeau de type III obtenu par flambement.

La formation du copeau de type III est cyclique. Dès sa pénétration, l'outil, comprime longitudinalement le bois devant la dent, comme pour le type II. Mais cette fois-ci, un angle de coupe très faible et une faible prise de passe font que le bois se rompt localement en cisaillement longitudinal. Celui-ci le reste tout de même attaché à la pièce, aligné de la direction de coupe. En effet, la relaxation des contraintes se fait vers la zone de bois intacte en avant de l'arête de coupe. Mais, à son tour, cette zone subit le cisaillement et se rompt en relâchant à nouveau les contraintes. Lorsque la longueur de bois rompu devient critique, le bois ne se comprime plus mais flambe et se libère ainsi de la pièce et de l'outil. Alors, les efforts de coupe chutent. La surface résultante laisse apparaître des fibres endommagées, mais toujours rattachées à la pièce générant un état de surface pelucheux. Ce copeau n'est donc pas parfait, mais reste dans tous les cas moins gênant que le copeau de type I.

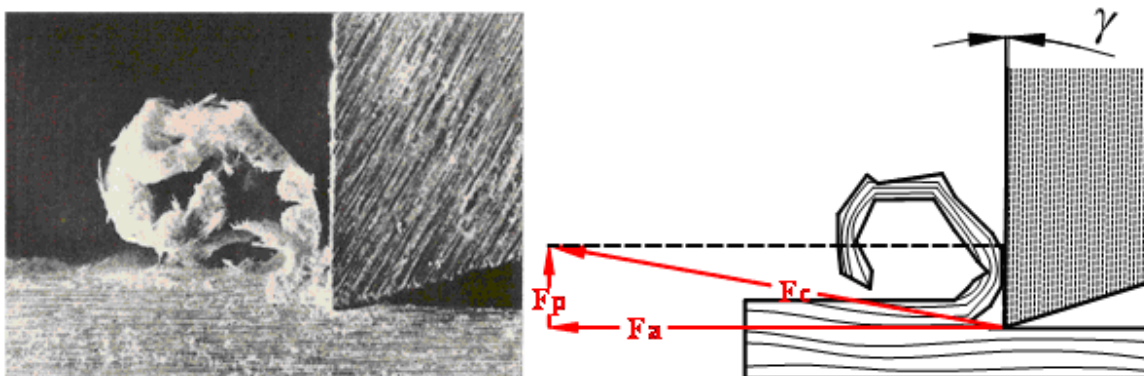


Figure III-34 : Le copeau de type III

III.3.1.4. Le copeau en coupe rotative

La coupe rotative induit une variation continue de l'épaisseur de copeau et de l'orientation de l'effort de coupe total. Or, l'épaisseur du copeau et l'orientation de l'effort de coupe sont très influents sur le travail réalisé. La Figure III-35 ci-dessous détaille la formation de copeau en opposition et en avalant.

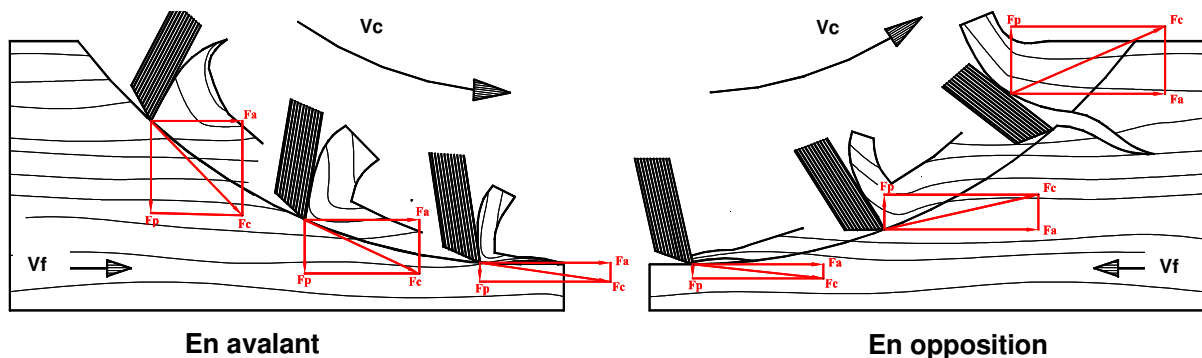


Figure III-35 : Formation du copeau en coupe rotative

Juan [36] rapporte que, pour le travail en opposition, il existe trois phases bien différenciées. En premier lieu, le copeau est très fin et la direction de la coupe est quasi parallèle à l'orientation du fil du bois. Si l'angle de coupe n'est pas trop élevé, la direction de l'effort de coupe total est alors très proche de l'orientation du fil du bois. Le bois peut alors se détacher en flambage comme pour le copeau de type III. Après, l'augmentation de l'épaisseur du copeau donne ensuite lieu à un copeau de type II. En fin de coupe, l'épaisseur du copeau est assez forte et l'orientation du fil du bois par rapport à la dent engendre une composante normale forte. Il y a alors un sérieux risque que le copeau se forme par fendage et soit de type I.

Sur la Figure III-35, on retrouve une schématisation de la formation de copeau en avalant. Dans ce cas, l'orientation du fil du bois empêche la formation de fissures. La formation de copeau est continue. Le copeau formé est donc majoritairement de type II. L'épaisseur de copeau en sortie de pièce est faible et peut donner lieu à un copeau de type III.

La génération de surface bois par coupe rotative donne un résultat qui est fonction de nombreux paramètres. Ces facteurs peuvent se regrouper suivant les trois catégories suivantes :

- Les facteurs liés au procédé, telle que la vitesse d'avance ;
- Les facteurs liés au système d'outillage, comme l'angle de coupe ;
- Les facteurs liés au matériau, comme l'humidité du bois.

III.3.2. Interaction entre paramètres géométriques et angle de coupe

III.3.2.1. L'angle de levage des fibres

Les paramètres de ce chapitre vont permettre de calculer l'angle de levage des fibres Φ qui correspond à la possibilité de générer des éclats, et donc un mauvais état de surface (Figure III-36). Les paramètres à prendre en compte pour le calcul sont l'angle de coupe γ , le type d'usinage, la prise de passe, l'angle de fil i et l'angle d'engagement de la dent θ . La figure ci-après détaille le calcul de cet angle de levage. Plus l'angle de levage est élevé, plus le risque d'apparition d'éclat est important.

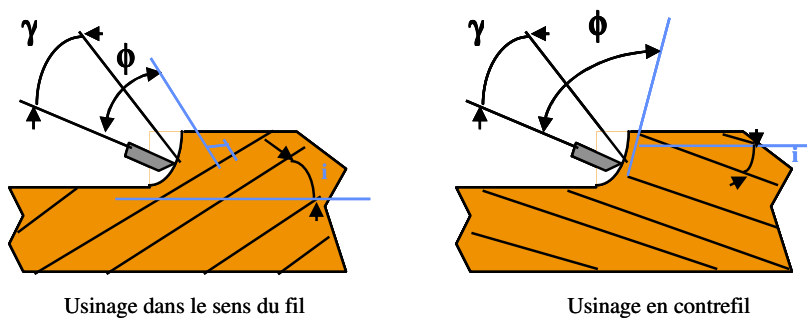


Figure III-36 : L'angle de levage des fibres

Comme on le voit sur la figure précédente, l'usinage dans le sens du fil a tendance à couper les fibres de bois, en les appuyant sur la matière ; alors que l'usinage à contre-fil possède une tendance à les séparer, en les « tirant » hors de la matière. Afin de diminuer les éclats en surface, il est bon de réduire au maximum l'angle de levage en diminuant l'angle de coupe ou en changeant le type d'usinage. La diminution de l'angle de coupe a cependant pour effet d'augmenter les efforts de coupe.

Ces propos sur les types de copeau et les états de surface sont valables lorsque l'arête de coupe réalise les surfaces considérées. Ce n'est pas le cas pour le sciage, où les surfaces générées sont normales à l'arête de coupe de l'outil (Figure III-37) :

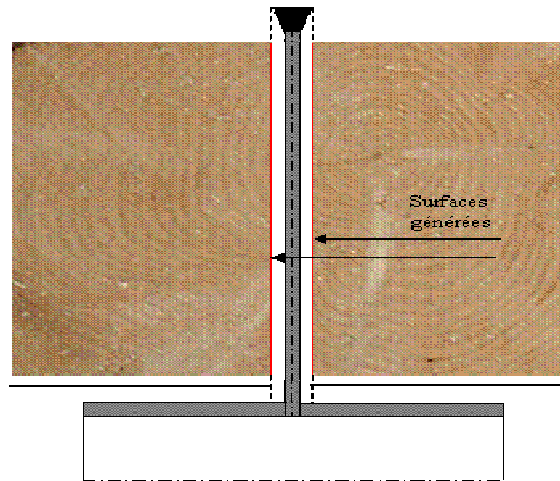


Figure III-37 : Surfaces générées en sciage

Les racleurs ont une influence très faible dans l'opération de coupe. L'aspect rugueux des surfaces est essentiellement dû aux vibrations dont le corps de lame est le siège, ainsi qu'aux dépouilles latérales et radiales α_s et α_f , comme le montre la Figure III-38, réalisée par Orłowski [37] dans une étude sur les scies à ruban, ces dernières comportant les mêmes dépouilles que les scies circulaires.

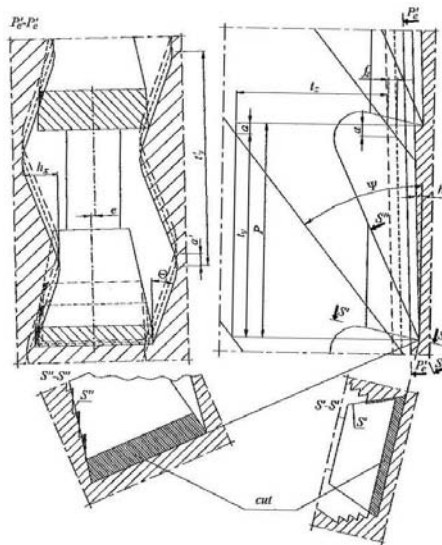


Figure III-38 : Passage des dents dans le bois

Les postulats réalisés sur la coupe rotative ne s'appliquent pas forcément au sciage : par exemple, sur les trois machines de sciage présentes sur la ligne canter de l'entreprise, on remarque en tout temps que la lame du bas qui travaille en opposition produit un bien meilleur état de surface que celle du haut, travaillant en avalant. Ceci est contraire à la bibliographie bien que d'autres raisons que nous verrons par la suite peuvent être invoquées (V.3.3).

Les calculs appliqués aux deux cas de sciage présents dans la scierie sont définis ci-après. Parce que l'angle de fil i change à chaque pièce mais avoisine 0° dans l'opération de

délignage, les formules ne tiennent pas compte de cet angle. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter les deux cas de travail (travail en avalant et en opposition)

III.3.2.2. Usinage en avalant

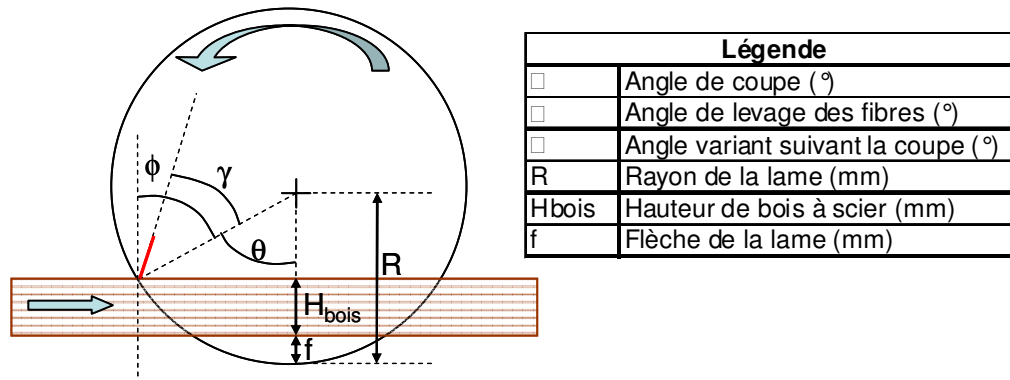


Figure III-39 : Angles pour un usinage en avalant

La dent de scie qui attaque le bois a pour angle avec le fil de bois $\gamma - \theta$, γ étant l'angle de coupe de la lame, et θ se calculant de la façon suivante à l'entrée dans la matière :

$$\theta = \text{ArcCos}\left(\frac{R - (H_{\text{bois}} + f)}{R}\right)$$

Équation III-9 : Angle entre le rayon de lame et le fil de bois, à l'entrée dans la matière et en avalant

Pour les dents suivantes, l'angle θ va varier. De façon générale, on peut l'écrire de la forme :

$$\theta = \text{ArcCos}\left(\frac{R - (H_{\text{bois}} + f)}{R}\right) - \sum_{i=1}^Z i \times \frac{2 \times \pi}{Z}$$

Équation III-10 : Angle entre le rayon de lame et le fil de bois, dans la matière et en avalant

Lorsque la lame quitte le bois, l'angle θ devient :

$$\theta = \text{ArcCos}\left(\frac{R - f}{R}\right)$$

Équation III-11 : Angle entre le rayon de lame et le fil de bois, à la sortie de la matière et en avalant

Dans le cas présenté précédemment, on peut facilement retrouver le cas d'une scie travaillant noyée dans la matière en considérant $f=0$ dans les équations.

Dans le cas de la scierie, afin de donner un exemple concret, les lames de la déligneuse MKV entrent dans la matière avec un angle ϕ variant entre -19.4 et -44.8° , et elles en sortent avec un angle compris entre 6.1 et 8.1° .

III.3.2.3. Usinage en opposition

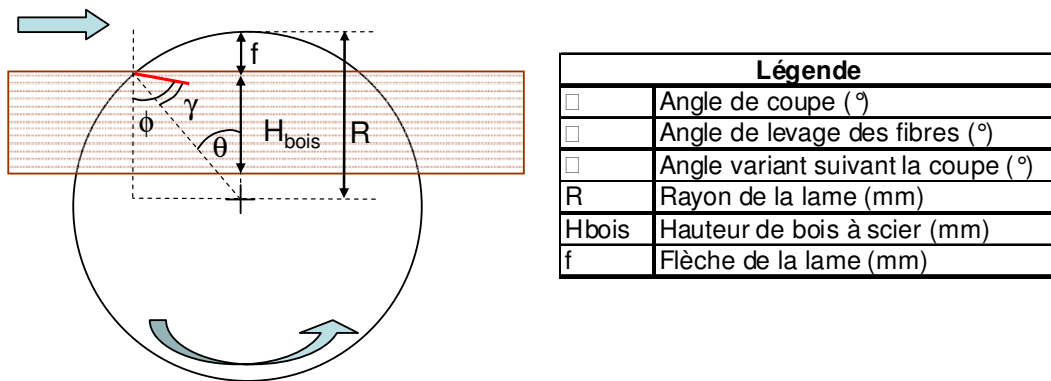


Figure III-40 : Angles pour un usinage en opposition avec flèche

La dent de scie qui attaque le bois a pour angle avec le fil de bois $\gamma - \theta$, γ étant l'angle de coupe de la lame, et θ se calculant de la façon suivante à l'entrée dans la matière :

$$\theta = \text{ArcCos}\left(\frac{R - f}{R}\right)$$

Équation III-12 : Angle entre le rayon de lame et le fil de bois, à l'entrée dans la matière et en opposition

Pour les dents dans la matière, l'angle θ va varier. De façon générale, on peut l'écrire de la forme :

$$\theta = \text{ArcCos}\left(\frac{R - f}{R}\right) + \sum_{i=1}^Z i \times \frac{2 \times \pi}{Z}$$

Équation III-13 : Angle entre le rayon de lame et le fil de bois, dans la matière et en opposition

En sortie, l'angle d'engagement dans la matière ne sera plus nul et se calculera de la façon suivante :

$$\theta = \text{ArcCos}\left(\frac{R - (H_{\text{bois}} + f)}{R}\right)$$

Équation III-14 : Angle entre le rayon de lame et le fil de bois, à l'entrée dans la matière, en opposition

Pour reprendre le cas de la déligneuse MKV, les lames entrent dans la matière avec un angle f variant entre 22° et 24° , et en sortent avec un angle compris entre -16.1° et -32° .

III.3.3. Conclusion sur les angles de coupe et de levage

L'angle de levage des fibres varie tout au long de la coupe rotative. De plus, celui-ci n'est modifiable que par la modification de l'angle de coupe des lames, les autres paramètres étant bien souvent dépendant de la conception de la machine et donc difficilement

modifiables. Cependant, la modification de l'angle de coupe des lames, sujet à d'autres interactions, doit être vérifiée (III.3.5).

En faisant l'hypothèse que l'influence de l'angle de levage des fibres est la même que pour le rabotage, on doit donc rechercher une valeur pour ce dernier de 0° , lorsque les lames sortent de la matière afin d'éviter les éclats. Dans l'exemple de la déligneuse MKV, les angles de coupe devraient donc être réduits de 6 à 8° pour les lames du haut, et ceux du bas entre 16.1 et 32° . Cependant, il n'a pas été remarqué de présence d'éclats sur les sciages, Cette dernière travaille selon les calculs présentés précédemment (III.3.2.2, III.3.2.3), et avec des angles de coupe de lame variant de 22 à 25° . De plus, il ne faut pas oublier qu'une diminution de l'angle de coupe entraîne une augmentation des efforts (Figure III-4).

III.3.4. Interaction entre angle de taillant et matériau de coupe

III.3.4.1. Propriétés des matériaux

Les matériaux de coupe doivent posséder plusieurs caractéristiques minimales afin de répondre aux exigences de l'usinage. Meye [38] a défini les principales comme suit :

- La ténacité : c'est la capacité à résister aux chocs, en absorbant de l'énergie. C'est cette propriété qui empêche l'éclatement de l'outil lorsque celui-ci rencontre un nœud, un corps étranger ou toute autre singularité ;
- La dureté : c'est la résistance à la pénétration, et donc à l'usure. Une matière de coupe doit être la plus dure possible. Cependant, l'augmentation de la dureté va entraîner une modification des autres propriétés du matériau. Par exemple, l'augmentation de la dureté d'un matériau aura tendance à diminuer sa ténacité ;
- L'élasticité : c'est ce qui permet au matériau de retrouver sa forme initiale après qu'un effort l'ait déformé. Un tranchant résiste à un effort important soit par sa dureté, soit par son élasticité ;
- La ductilité : au-delà d'une certaine limite, la déformation d'un matériau cesse d'être élastique pour devenir plastique, c'est-à-dire permanente. La ductilité traduit la facilité de la matière à se déformer de cette façon. Par exemple, le plomb, très ductile, est un très mauvais matériau de coupe. Cependant, un tranchant fin en nécessite un peu.

III.3.4.2. Le choix du matériau

Il devrait être résistant à l'abrasion, indéformable et incassable. Un matériau dur donnera un tranchant résistant à l'usure, mais cassant et facilement ébréchant. À l'inverse, une matière plus tenace donnera un tranchant fin et plus résistant aux chocs, mais moins durable. Le choix du matériau doit donc se faire en établissant un compromis entre dureté et ténacité :

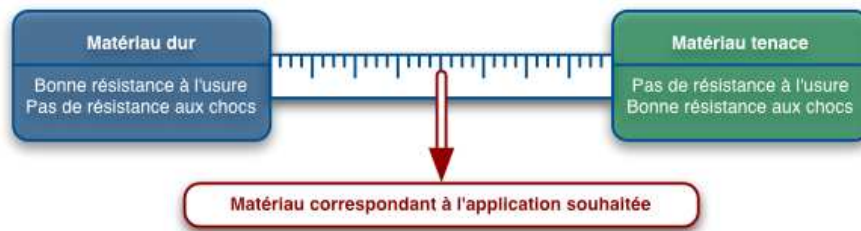


Figure III-41 : Choix du matériau de coupe

La courbe de choix des matériaux est de forme hyperbolique dans un repère ténacité/dureté :

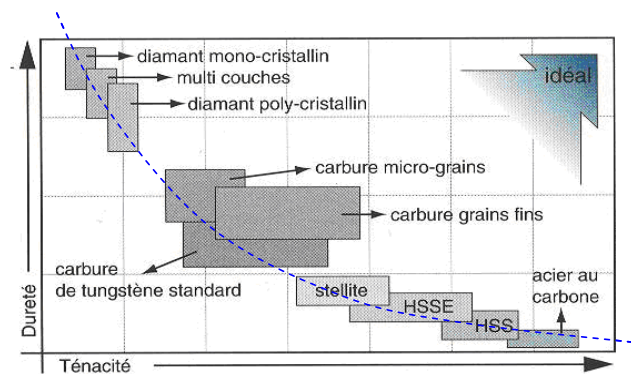


Figure III-42 : Dureté des matériaux d'après leur ténacité, inspiré de [39]

Dans le domaine de la scierie, les fabricants de scie circulaire choisissent comme type de carbure du K10 ou du K20. Ces deux matériaux ont des caractéristiques quasiment identiques :

Nuance	Grain	Code ISO	Code USA	Liant	Densité	Dureté			Résistance à la rupture	
				(%)	(g/cm ³)	HV10	HV30	HRA	MPa	P.S.I
HC10	F	K10	C3	5,6	15	1760	1730	92,7	2300	334
HC20	F	K20	C2	6	14,95	1640	1620	92,1	2300	334

Tableau III-VIII : Caractéristiques des carbures K10 et K20

Dans le tableau précédent, la résistance à la rupture représente les tests que les fabricants de carbure utilisent pour décrire la ténacité d'un matériau. L'outil réalisé avec ce

dernier doit donc avoir un angle de taillant en corrélation avec cette propriété. Dans les achats réalisés au sein de l'entreprise, celui-ci est compris entre 51 et 54°.

III.3.5. Interaction entre angle et efforts de coupe

Kivimaa [17] a aussi étudié l'influence de l'angle de coupe sur les efforts de coupe. Ces tests ont été réalisés sur du hêtre (*Fagus sylvatica*) à 12% d'humidité sur sec, avec un outil usé à 50%, pour les quels les conditions de coupe étaient les mêmes, mis à part l'angle. Ceci a permis d'obtenir le diagramme suivant (Figure III-43):

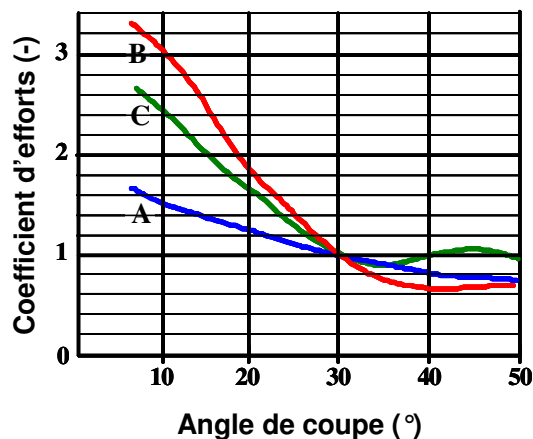


Figure III-43 : Efforts de coupe en fonction de l'angle d'après [17]

Bien que les tests aient été réalisés avec un concept plus proche du rabotage, on remarque pour le délignage (mode de coupe B) que les efforts peuvent varier d'un facteur 4 à conditions de coupe égales, ce qui n'est donc pas sans influence sur le travail de l'outil.

III.4. Vibrations et tensionnage d'une scie

Une lame de scie circulaire n'est pas un simple disque denté découpé dans une feuille d'acier. Si c'était le cas, la lame oscillerait en tout sens dès sa mise en rotation sur la machine et ne pourrait scier droit. On remédie à cela en contrariant, à l'avance, les causes de ces oscillations.

III.4.1. Théorie de la vitesse critique

Schajer [42] a résumé la théorie de la vitesse critique comme suit : les vibrations d'une lame sont la superposition de plusieurs modes simples de résonance. Chaque mode est désigné par deux chiffres, le premier qui correspond aux nombre de cercles nodaux, c'est-à-dire aux nombres de cercles sur la lame où l'amplitude est nulle ; le deuxième au nombre de diamètres nodaux, où l'amplitude des vibrations est également nulle. Quatre exemples de mode de vibrations sont donnés dans les figures ci-dessous (Figure III-44 à Figure III-47) :

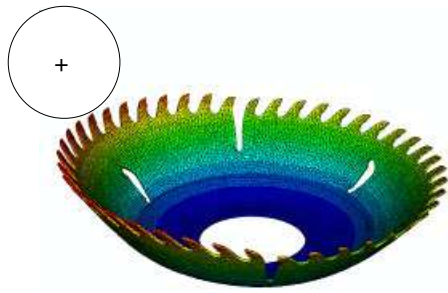


Figure III-44 : déformation en mode (0, 0)

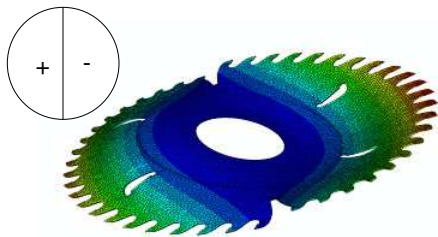


Figure III-45 : déformation en mode (0,1)

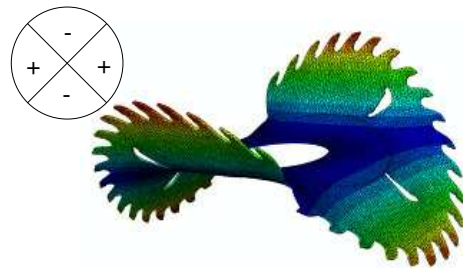


Figure III-46 : déformation en mode (0, 2)

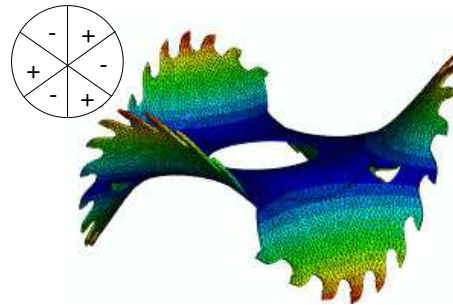


Figure III-47 : déformation en mode (0, 3)

Les fentes qui permettent la dilatation thermique ainsi que la limitation de la propagation des ondes vibratoires sont disposées à la fabrication de la lame, suivant des modèles estimant son comportement vibratoire, et d'après le tensionnage applicable.

D'après Mote [40], pour chaque mode, les vibrations sont la superposition de deux ondes, l'une se déplaçant suivant le sens de rotation, et l'autre dans le sens opposé.

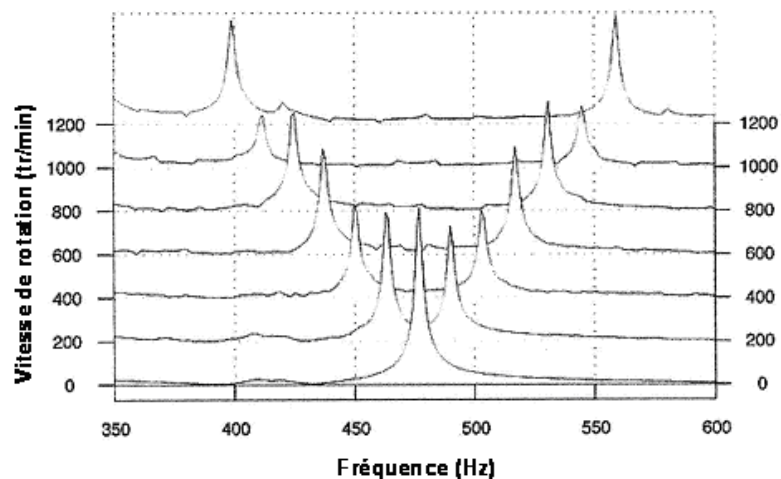


Figure III-48: Aspect des ondes directes et rétrogrades, d'après [41]

La fréquence naturelle f_n , pour un nombre de diamètres nodaux n , est influencée par la vitesse de rotation N de la scie, et peut s'écrire comme la fonction $f_n(N)$. A partir de cette fonction, d'après Fendeleur [41] les fréquences des ondes directes f_{nf} (dans le sens de rotation), et rétrogrades f_{nb} (dans le sens contraire) peuvent s'écrire de la forme :

$$f_{nf}(N) = f_n(N) + \frac{nN}{60}$$

$$f_{nb}(N) = f_n(N) - \frac{nN}{60}$$

Équation III-15 : Equations des fréquences des ondes directes et rétrogrades

n , le nombre de diamètres nodaux ;

N , la vitesse de rotation de la scie ;

$f_n(N)$, la fréquence propre du mode à n diamètres nodaux et à vitesse de rotation N .

Lorsque la vitesse de rotation augmente, la fréquence de rotation de l'onde rétrograde va devenir nulle à une certaine vitesse, aussi appelée vitesse critique de la lame. A cette vitesse, la moindre force latérale engendre une déflexion de la lame très importante.

D'après Schajer [42], il n'y a pas de vitesse critique pour les modes comportant moins de un diamètre nodal, et dans la plupart des cas, cette vitesse est celle du mode (0,2), mais ceci dépend aussi du rapport entre le diamètre des flasques de serrage et celui des lames. Il se peut parfois que la vitesse critique soit celle du mode (0,3), notamment lorsque le rapport diamètre de lame/diamètre de flasque est grand. Les lames comportent des ouvertures dans le but de mieux supporter ces vibrations. Leurs nombres est de 2 ou 3 paires, suivant le nombre de diamètres nodaux estimés par le fabricant.

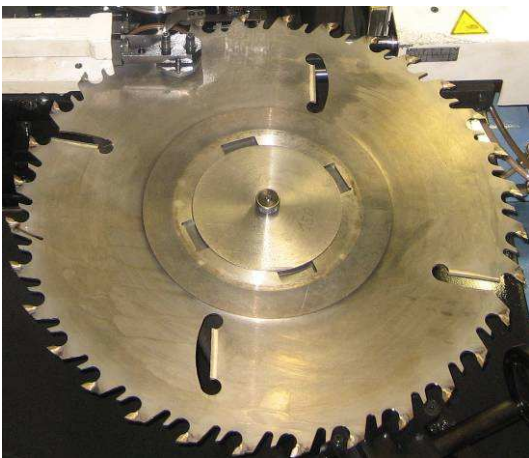


Figure III-49 : Lame à 2 diamètres nodaux



Figure III-50 : Lame à 3 diamètres nodaux

La vitesse de rotation critique n_{cr}^{\min} se calcule de la façon suivante (Équation III-16) :

$$n_{cr}^{\min} = \frac{60 \times f_n(0)}{\sqrt{n^2 - K}}$$

Équation III-16 : Calcul de la vitesse critique [41]

n , le nombre de diamètres nodaux ;

$f_n(0)$, la fréquence propre statique du mode à n diamètres nodaux ;

K , coefficient de force centrifuge (indépendant de la vitesse de rotation).

$f_n(0)$ peut être obtenu par un test vibratoire :

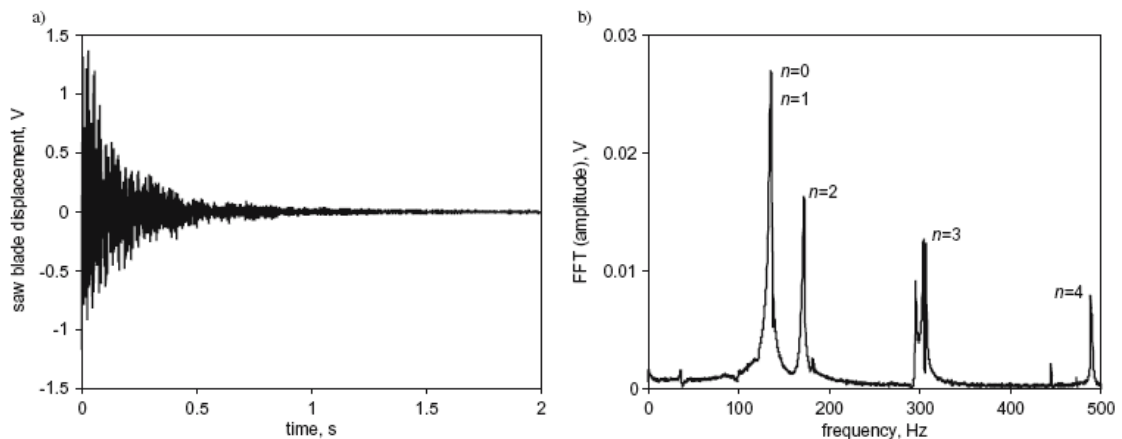


Figure III-51 : Acquisition de l'accéléromètre et FFT des vibrations de la lame

Après excitation de la lame avec un marteau, un accéléromètre enregistre les vibrations de cette dernière et un PC muni d'une carte d'acquisition. Une transformée de Fourier permet de passer d'une représentation à une représentation fréquentielle (Figure III-51), d'où l'on peut obtenir les fréquences des différents modes de vibrations. Des valeurs théoriques et expérimentales de K sont données dans la littérature, principalement dans les travaux de Nishio S [43] et de Schajer [42]. Il manque cependant des informations concernant les scies à géométrie particulière comme celles comportant un grand nombre de fentes de dilatation, ou celles comportant une partie centrale plus épaisse (lame à moyeu).

Pour estimer le coefficient de ces lames, et si le moyeu est suffisamment épais, les fabricants de lames les considèrent comme droites, de l'épaisseur du corps de lame, mais avec un diamètre de flasque égal à celui du moyeu. Dans la pratique, l'épaisseur du moyeu dépend de l'épaisseur de la lame. Dans la scierie SIAT, le moyeu est toujours 1.1mm supérieur au trait de scie, (et donc de 3.3 à 3.5mm supérieur à l'épaisseur du corps de lame) ce qui permet de garder des épaisseurs de cales constantes. Cette épaisseur, corroborée par Cheng [30], est suffisante en termes de gain de stabilité dynamique. Pratiquement, ceci se vérifie puisque les fabricants utilisent des moyeux d'une épaisseur égale à celle du trait de scie lorsque les épaisseurs de cales n'entrent pas en jeu. De plus, on remarque au sein de la scierie lors des contrôles de planage que les moyeux des lames ne sont jamais déformés.

Les valeurs de K données par Stakhiev (ou calculées par le logiciel CSAW, développé par Schajer) sont de 2,05 pour le mode (0,2) et de 2.8 pour le mode (0,3). Cela veut dire que les lames à trois diamètres nodaux ont une vitesse critique supérieure à celles à deux diamètres. Cependant, ces valeurs correspondent à des lames non-évidées.

III.4.2. Rôle et nécessité du tensionnage

D'après Orłowski [44], la précision d'une scie circulaire ainsi que la qualité de l'état de surface et la sécurité des travailleurs dépendent des caractéristiques dynamiques de la lame, de sa préparation au sein de l'atelier d'affûtage et des caractéristiques de la machine. Le procédé utilisé pour réduire les vibrations d'une lame, appelé "tensionnage", consiste à induire des contraintes dans le corps de la lame, en laminant le métal (Figure III-52).

Mécaniquement, l'augmentation de stabilité obtenue par le tensionnage peut être vue de deux points de vue différents:

- La lame doit pouvoir résister aux efforts imposés aux dents pendant le sciage;
- La lame ne doit pas vibrer à cause de sa mise en rotation.

Il ne faut cependant pas perdre de vue que ces deux aspects sont liés. La rotation provoque une augmentation des tensions, ce qui est positif, puisqu'il est démontré mécaniquement qu'une augmentation de tension a toujours pour conséquence une meilleure résistance aux efforts extérieurs [45]. Cependant, pendant la coupe, une partie de la chaleur produite par cette opération à la pointe des dents est transmise par convection en partie au corps de la lame, tandis que l'autre partie est échangée par les faces latérales. La modification du champ de température entraîne celle du champ de contraintes. Les contraintes tangentielles sont diminuées à la périphérie de la lame et peuvent devenir négatives. L'élévation de la température de la lame diminue donc aussi sa stabilité (Figure III-53). Le tensionnage permet en partie de réduire les effets négatifs de l'augmentation de température.

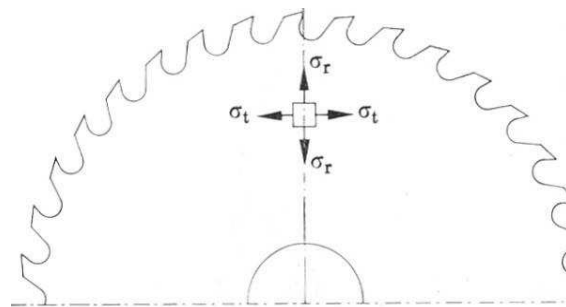


Figure III-52 : Contraintes induites dans une lame

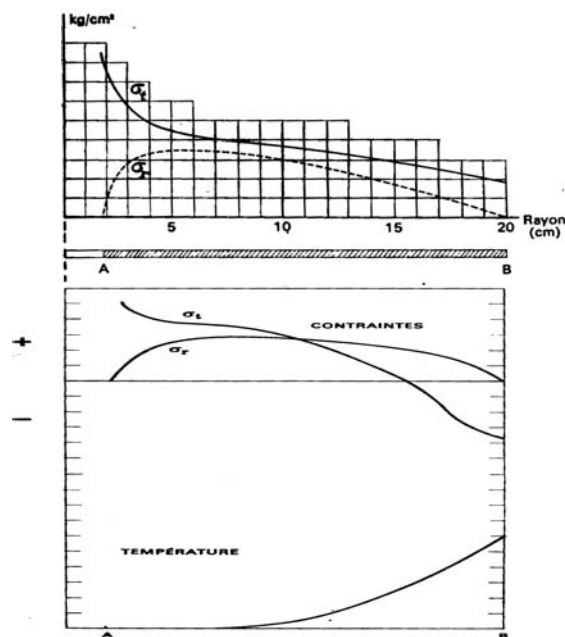


Figure III-53 : Influence de la température

III.4.3. Réalisation du tensionnage

Autrefois le tensionnage était réalisé par martelage de la lame selon des cercles concentriques.

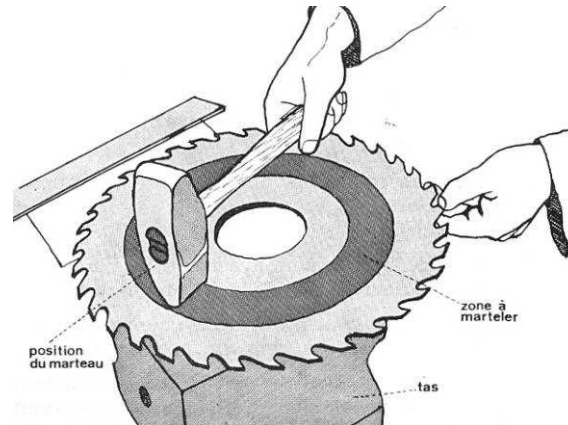


Figure III-54 : Tensionnage d'une lame au marteau d'après [45]

Aujourd'hui, plus industriellement, les lames sont tensionnées par galets : la lame tourne sur un banc de tensionnage, comprimée par deux galets en vis-à-vis (Figure III-55).

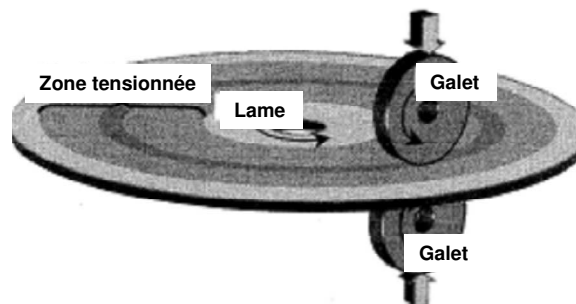


Figure III-55 : tensionnage d'un disque par galets, d'après [46]

Tensionner une lame consiste à induire des contraintes suivant plusieurs diamètres appelés zones de tensionnage. D'après le FCBA [24], ces zones doivent être continues, non interrompues par des fentes de dilatations par exemple (Figure III-56).

Les lames utilisées dans la scierie sont souvent tensionnées sur des cercles où sont présents des lumières et des racleurs (Figure III-57), ce qui va à l'encontre de ce qui est préconisé.

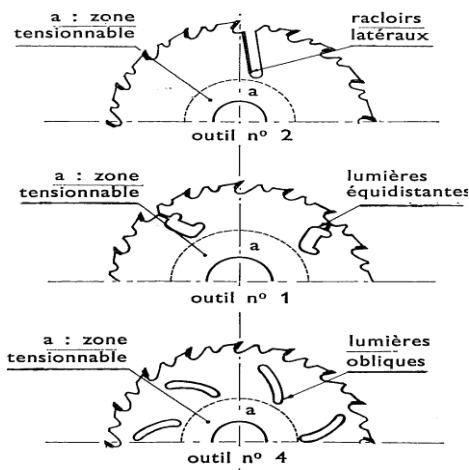


Figure III-56 : Zones tensionnables [24]



Figure III-57 : Tensionnage des lames de la scierie

III.4.4. Vibrations et tensionnage

L'étude des vibrations des lames présente un double intérêt : les lames qui vibrent donneront naturellement un état de surface moins bon que des lames stables, et, comme il le sera expliqué ci-dessous, une lame de scie travaillant en dehors des limites autorisées peut devenir un danger pour les travailleurs et les machines. Il apparaît donc nécessaire d'étudier les vibrations des lames, ainsi que l'influence des opérations de maintenance sur ces dernières.

Les fabricants de scies ont l'obligation de marquer sur chaque lame la vitesse de rotation critique. Pour ce faire, corroborés par Li L. [47], ils se basent sur une vitesse de coupe qui ne doit pas excéder 100 m/s, ceci d'après la norme de sécurité des scies circulaires [48].

En général, cette méthode permet de se rapprocher assez précisément de la vitesse critique de la lame, mais il se peut que la vitesse maximum permise, marquée sur la lame, soit plus grande que la vitesse critique comme l'a démontré Stakhiev [49].

Celui-ci distingue les 6 vitesses limites suivantes (Figure III-58):

- La vitesse critique la plus basse n_{cr}^{\min} ;
- La vitesse de rotation universelle n_u [$0.31 \times n_{cr}^{\min}$; $0.43 \times n_{cr}^{\min}$];
- La vitesse de rotation optimale n_o [$0.59 \times n_{cr}^{\min}$; $0.696 \times n_{cr}^{\min}$];
- La vitesse maximum permise $n_p = 0.85 \times n_{cr}^{\min}$;
- La vitesse d'auto-excitation la plus basse n_{aut}^{\min} [$1.4 \times n_{cr}^{\min}$; $1.6 \times n_{cr}^{\min}$];

- La vitesse de destruction de la lame n_{des}^{min} [$5x n_{cr}^{min}$; $6x n_{cr}^{min}$].

Il est admis qu'une lame ne doit jamais travailler à une vitesse supérieure à 85% de sa vitesse critique la plus basse, équivalente à sa vitesse maximum permise. Il existe cependant des exceptions, notamment les lames de scies guidées utilisées dans les scieries nord-américaines, qui peuvent travailler dans les domaines supercritiques, c'est à dire au delà de n_{cr}^{min} (II.3.4).

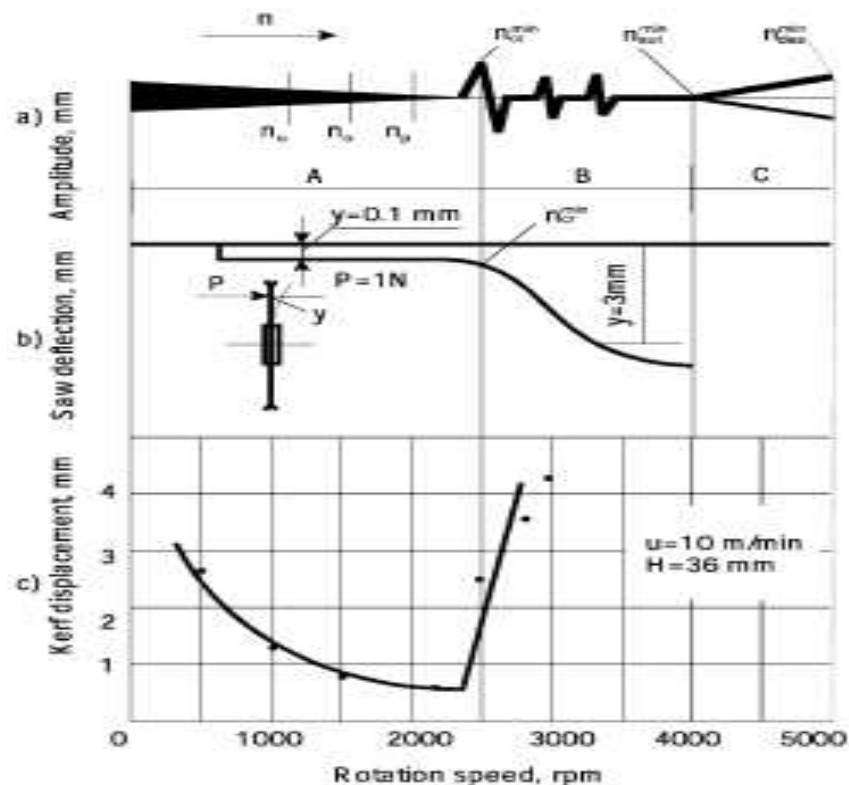


Figure III-58 : Les vitesses de rotation limites d'une lame [49]

L'expérience menée par Orłowski [44], montre que la création de fentes (principalement sur la périphérie de la lame) diminue sa rigidité dynamique, et donc sa vitesse critique. Il faut donc considérer une correction du facteur K lorsque la lame est évidée à certains endroits.

Les fentes périphériques réduisant plus la rigidité dynamique de la lame que les fentes internes, sont en général au nombre de deux (diamétralement opposées). Suivant le nombre de diamètres nodaux estimés, les autres paires de fentes sont réparties afin d'avoir des angles égaux entre chaque, et leurs longueurs permettent d'avoir des racleurs sur toute la hauteur de coupe de la lame (Figure III-49 et Figure III-50).

Bien que l'aspect de la lame renseigne sur le nombre de diamètres nodaux qui doit être pris en compte pour le calcul de la vitesse critique, il convient de le vérifier en faisant les calculs avec 2 et 3 diamètres. La vitesse critique de la lame serait celle du mode de calcul donnant la valeur la plus faible.

Lorsque ces paramètres sont connus, une formule (Équation III-17), élaborée par Tian [50], permet de déterminer les domaines de vitesse de rotation où l'état de surface généré ne sera pas convenable. Dans ces domaines, l'état de surface est appelé « frisure » ou « planche à laver » (traduction de « washboard »), et se traduit par une variation sinusoïdale des surfaces dans la direction de coupe ainsi que dans une direction normale à la coupe :

$$f_t = \left[\frac{1}{k} \times f_n(0), \frac{1}{k-0.5} \times f_n(0) \right] (k = 1, 2, \dots)$$

Équation III-17 : Domaines d'instabilité d'une lame

Nous avons donc décidé d'étudier les vibrations des lames dans leur contexte industriel, ainsi que l'influence des opérations de maintenance. Cette étude est présentée en annexe 3.

Comme on a pu le voir dans ce chapitre, beaucoup de paramètres interagissent dans l'opération de sciage avec une scie circulaire. J'ai donc voulu optimiser certains de ces paramètres en gardant à l'esprit les limites imposées par d'autres. Les modifications doivent aussi prendre en compte la maintenance des outils, puisque cette dernière est garante de leur bon fonctionnement à chaque mise en service. Je vais donc présenter les différentes opérations de maintenance dans le prochain chapitre.

*Amélioration continue
des outils de coupe
et de leur maintenance*

IV. Amélioration continue des outils de coupe et de leur maintenance

Le travail sur la lame de scie circulaire ne s'arrête pas au stade de sa préparation, généralement réalisée par les fabricants d'outils. En effet, l'outil va être confronté à des situations d'usure pour la partie coupante et de déformations sur la partie porte outil. A ce stade, la lame va être prise en compte par un service maintenance de l'entreprise pour une gestion interne de l'outil ou une sous-traitance pour tout ou partie des opérations. En ce qui concerne la scierie, le service maintenance s'approprie totalement les différentes opérations à réaliser sur la lame de scie circulaire. Certaines pratiques, si elles sont connues de tous les techniciens en France, sont cependant appréhendées par chaque entreprise d'une manière différente, en tenant compte de leur savoir faire particulier. Une première précaution est à établir : lorsque l'on parle maintenance d'une lame, il est erroné de penser que seule l'opération d'affûtage est nécessaire. Celle-ci doit être précédée de plusieurs opérations que nous allons énumérer et décrire ci-après (Tableau IV-I) :

Nature des opérations	Chronologie	Fréquence
Nettoyage	1
Planage-Tensionnage	2	.
Detalonnage	3	...
Mise au rond	4	..
Affûtage face	5
Affûtage dépouille	6

..... : à chaque changement d'outil

... à .. : plus ou moins fréquemment

. : seulement si nécessaire

=

Tableau IV-I: Chronologie et fréquence des différentes opérations d'entretien et d'affûtage des lames circulaires à plaquettes carbure d'après [22]

Chaque opération sera décrite avec la présentation des préconisations bibliographiques et la pratique au sein de l'entreprise.

Certains documents ou référence peuvent faire référence au jargon de l'affûteur : Celui-ci désigne la face de coupe de la lame comme « la face », et la face de dépouille de la lame comme « le dos ».

Au sein de l'entreprise, le parcours des lames au sein de l'atelier d'affûtage peut être synthétisé sous la forme d'un organigramme (Figure II-40):

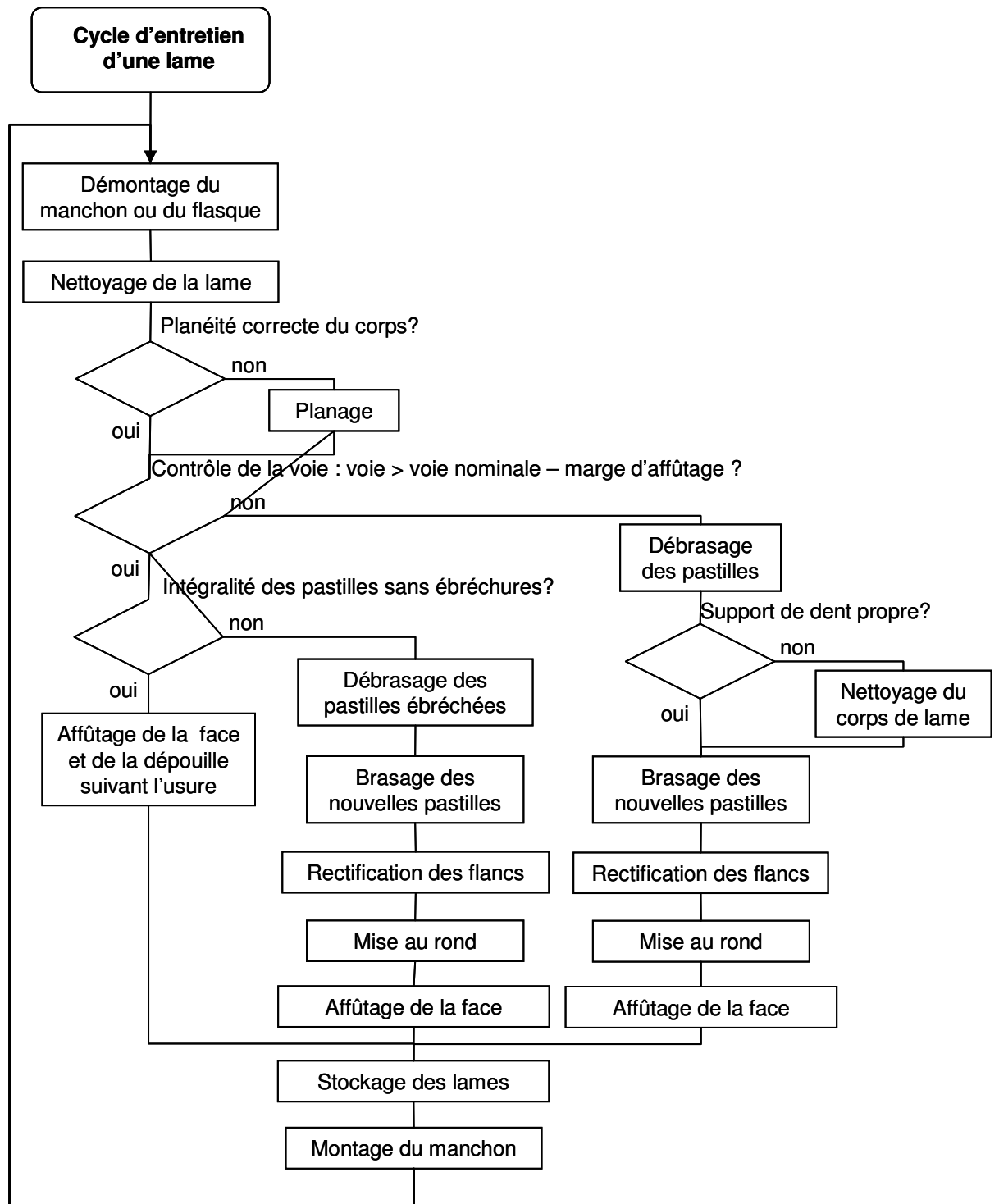


Figure IV-1 : Organigramme du parcours des outils au sein de l'atelier d'affûtage

IV.1. Nettoyage de la lame

A chaque retour de production, la lame doit être nettoyée des dépôts de sciure ou de résine qui se sont collés en fond de dent, sur les faces ou devant les racleurs. Les raisons de ce nettoyage sont triples :

- Il est plus aisé de pratiquer les contrôles énumérés ci-après sur une lame propre ;
- L'acidité du bois attaque le liant des grains de carbure comme l'a démontré Gauvent [51], ce qui nuirait à la tenue de coupe lors des prochaines campagnes de production ;
- La sciure et la résine obstrueraient les interstices entre les grains des meules, ainsi que les filtres des affûteuses.

Dans l'entreprise, les lames sont plongées dans un « désagrégateur de matières cellulosiques ». Cette solution, diluée entre 5 et 20%, contient 15% d'hydroxyde de potassium, substance très corrosive. Le bain est de plus équipé d'ultra-sons qui permettent un meilleur détachement des dépôts (Figure IV-2).



Figure IV-2 : Lames sortant du bain à ultra-sons

Une fois sorties du bain, les lames sont essuyées à l'aide d'un chiffon après une phase d'égouttage d'une minute environ, et les contrôles systématiques sont effectués.

IV.2. Contrôles systématiques

Il est à noter que sur les lames à plaquettes carbure, d'après [22], lorsque le nettoyage et l'affûtage sont effectués très régulièrement et correctement, les travaux de planage et de tensionnage ne sont pratiquement pas nécessaires (sauf incident de sciage), le corps de lame n'entrant pas en contact avec la matière.

IV.2.1. La planéité

Dans la période qui suit la mise en service de la lame, à cause d'incidents de différentes natures, il peut apparaître des défauts de planéité de sa surface (bosses, creux)

d'amplitudes variables, localisée ou généralisée. Le planage est l'opération qui consiste à supprimer ces défauts par martelage pour redonner à la lame une planéité convenable, c'est-à-dire que les deux surfaces du corps de lame doivent être comprises entre deux plans parallèles et distants entre eux de l'épaisseur du corps de lame + 0.3mm, d'après la norme [52].

IV.2.1.1. Bibliographie

Le contrôle de la planéité doit se faire avec un régleur d'affûteur, la lame maintenue à la verticale afin de ne pas induire d'efforts dus à son poids propre. D'après [22], le contrôle doit se faire à l'aide d'un film gras qui permettra de détecter les bosses et creux, et avec un régleur dont la longueur est légèrement inférieure au diamètre de la lame.

Si des défauts sont constatés, ceux-ci doivent être supprimés à l'aide d'un tas à planer et d'un marteau anglais. Le tas à planer est cubique, de dimensions 20x20x20 cm, en acier trempé de grande dureté pour résister au martelage ; ce tas comporte une convexité de 8 mm pour une largeur de 15 cm. Les marteaux anglais possèdent une panne dite « en long » dans le sens du manche et une autre dite « en travers », orientée perpendiculairement au manche (référence figure). Le choix de la panne est fonction de l'orientation et de la forme du défaut à éliminer. La présence de deux pannes à 90° permet donc de ne pas modifier l'orientation du bras pour avoir un rythme correct de martelage.

Le tas à planer doit être disposé directement sur un socle, sans matériau intercalaire (caoutchouc, cuir, etc...) qui donnerait du rebond à chaque coup de marteau. Ce socle doit être fabriqué de préférence en béton, d'une seule masse, et reposer directement sur un sol dur.

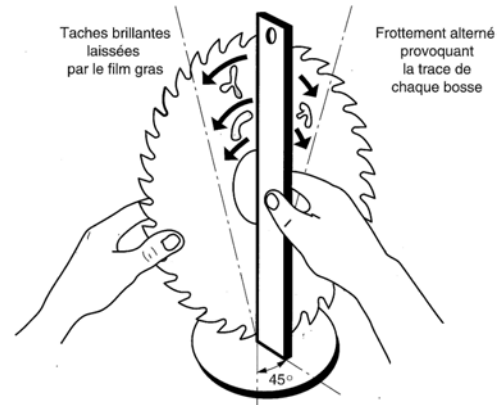


Figure IV-3 : Contrôle du planage d'une lame d'après [22]

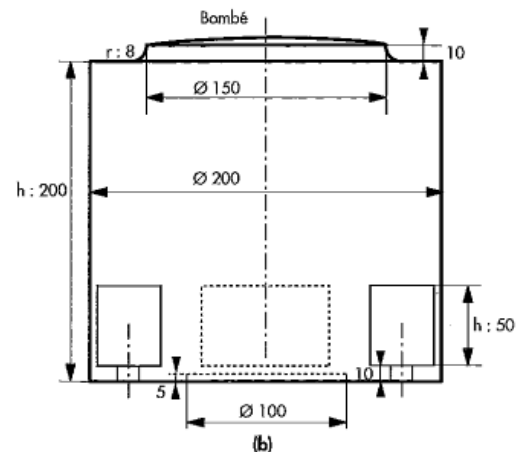


Figure IV-4 : Le tas à planer

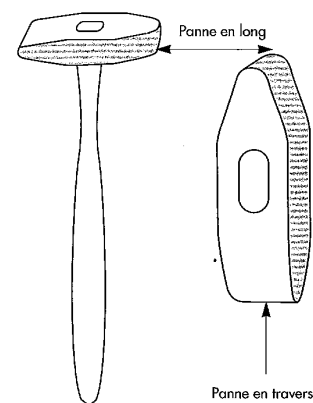


Figure IV-5 : Marteau anglais

IV.2.1.2. Pratique au sein de l'entreprise SIAT-BRAUN

Sur le banc de planage, la lame est donc maintenue en position verticale et un réglelet placé contre une des faces afin de déceler les défauts éventuels. Aucun film gras n'est utilisé. Un réglelet dont la longueur est proche du diamètre de la lame permet de déceler les défauts généraux tels que le voile (Figure IV-6). Les réglelets de taille inférieure sont plus pratiques et utilisés pour déceler les défauts de moindre envergure tels que les bosses (Figure IV-7).



Figure IV-6 : Détection du voile au réglelet



Figure IV-7 : Détection d'une bosse au réglelet

Des marteaux anglais sont utilisés pour la correction de ces défauts, avec des pannes plus ou moins lourdes suivant l'épaisseur de la lame. Le marteau à enclume est aussi utilisé, bien que déconseillé par Auger [23], pour redresser les lames à corps renforcé lorsqu'une bosse se situe au niveau du contour du moyeu, du côté de celui-ci, car il n'est pas possible, dans ce cas, de frapper sur le défaut.

IV.2.2. Contrôle de la voie

IV.2.2.1. Rappel Bibliographique

Comme il l'a été vu au chapitre III.2.2.1, il est nécessaire que les lames aient un minimum de voie pour réaliser l'opération de coupe. La voie dépend du diamètre de la lame, en correspondance avec la hauteur de bois à scier.

IV.2.2.2. Pratique au sein de l'entreprise

Pour toutes les lames présentes sur la ligne de sciage, de la scierie, la marge d'affûtage était de 0.15mm entre la cote initiale et la cote minimum à mon arrivée dans l'entreprise. Lorsque cette cote minimale était atteinte, la lame n'était pas affûtée mais envoyée vers un râtelier en attendant l'opération de repastillage. Des essais ont été menés à ce niveau (V.3.1.4).

IV.2.3. Contrôle de l'usure

Le diagramme cause effet présenté ci-dessous (Figure IV-8) représente les différents facteurs influençant l'usure de l'arête de coupe.

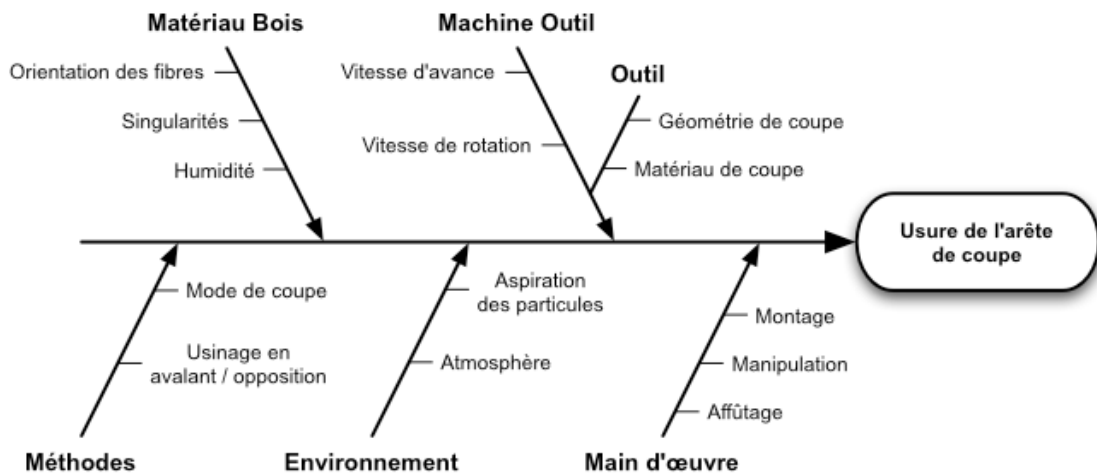


Figure IV-8 : Les causes de l'usure

IV.2.3.1. Cycles de l'usure

D'après les recherches effectuées par Gauvent lors de sa thèse [51], tous les facteurs vont interagir sur trois aspects de l'usure, à savoir l'abrasion, les chocs et la corrosion. De la même façon, ces trois paramètres regroupent les deux cycles principaux de l'usure, comme l'illustre la figure suivante (Figure IV-9).

Le cycle I débute par une attaque corrosive qui va diminuer la résistance en surface du matériau et va faciliter l'attaque abrasive. Lors de l'usinage, de nombreux chocs plus ou moins graves interviennent, c'est le cycle 2. Sur de gros chocs, une partie de l'arête de coupe peut se détacher et ainsi faciliter les autres attaques qui pourront pénétrer plus en profondeur le matériau.

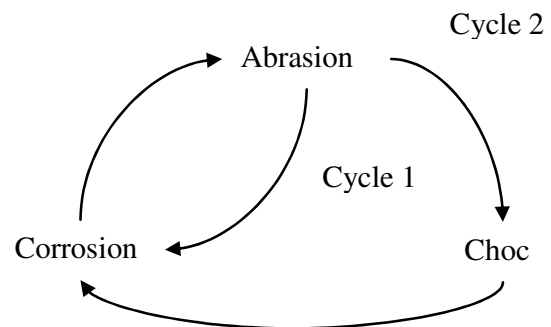


Figure IV-9 : Cycles d'usure de l'outil

Au niveau moléculaire, l'abrasion consiste en de nombreuses microfissures provoquées par l'arrachement de la matière sous l'action d'un frottement. Deux paramètres influent sur la rapidité de l'usure par abrasion :

- L'état de surface (par exemple, du papier avec de gros grains (50) aura une action plus abrasive que du papier avec un grain fin (150)).

- La pression appliquée sur la surface subissant l'abrasion (plus la pression sera forte, plus la surface s'usera vite).

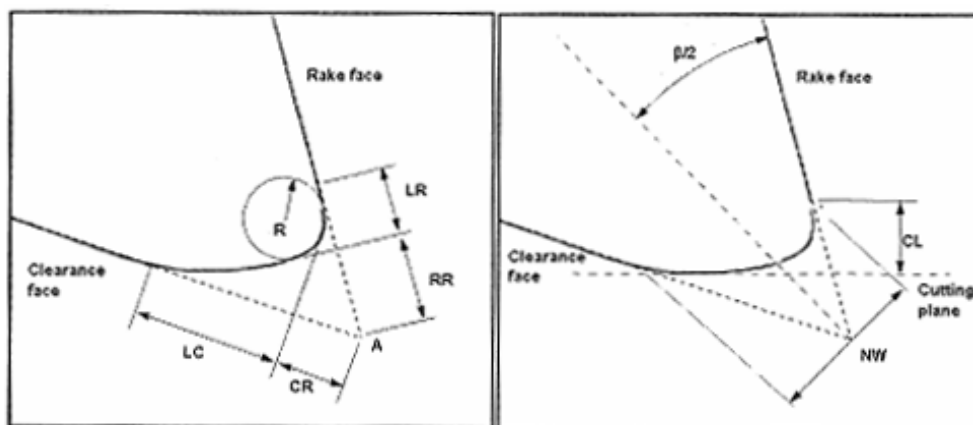
Au niveau de l'abrasion, il en existe quatre types différents pouvant intervenir dans la dégradation des outils de coupe :

- L'oxydation : corrosion à haute température par gaz chaud.
- La corrosion électrochimique : elle a lieu en phase aqueuse à cause de la formation d'une pile entre l'oxydant et le métal constituant l'outil.
- La corrosion biochimique : elle est due à l'activité des bactéries à la surface des métaux.
- La corrosion avec érosion : elle apparaît une fois que la couche protectrice du matériau a disparu.

IV.2.3.2. Mesure de l'usure

L'usure se manifeste par une perte de matière au niveau des dents de scie, et l'opération d'affûtage à proprement parler consiste à enlever de la matière sur les faces de la dent où l'usure se présente. Afin de prolonger la durée de vie de la lame, la prise de passe sur les faces doit être minimale.

Harald Feld [53] a défini l'usure de la façon suivante :



- | | |
|--|---|
| A Position parfaite de l'arête de coupe | R Rayon de bec |
| LR Projection de l'usure perpendiculairement à la face de coupe | NW Largeur de l'usure |
| RR Usure parallèle à la face de coupe | CL Perte en dépouille |
| LC Projection de l'usure perpendiculairement à la face de dépouille | β Angle de taillant |
| CR Usure parallèle à la face de dépouille | |

Figure IV-10 : La mesure de l'usure d'après [53]

Cependant, ce point de vue perpendiculaire aux flancs des dents ne considère l'usure qu'au niveau de l'arête de coupe, c'est-à-dire à l'intersection de la face de coupe et de la dépouille. Mais les flancs des dents sont aussi à prendre en compte, comme par exemple avec la définition de l'usure de Nordström [54], qui a défini 7 zones pour qualifier l'usure d'une dent.

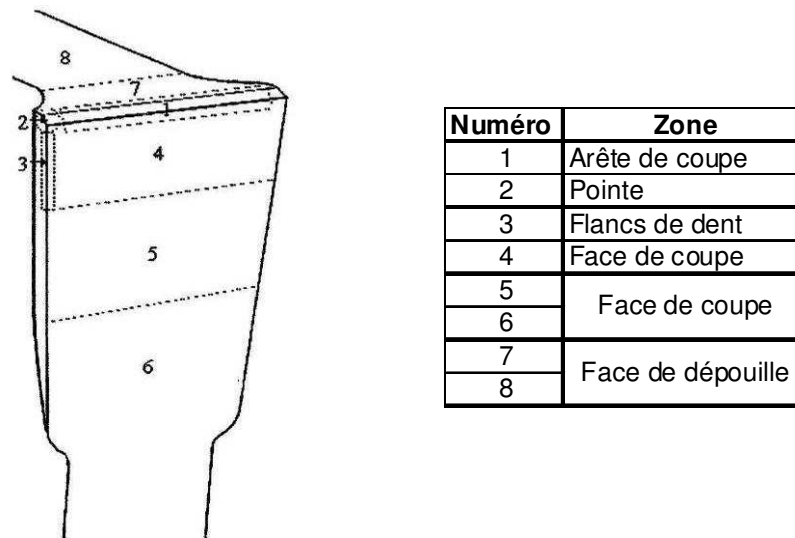


Figure IV-11 : Les zones d'usure d'après Nordström [54]

Sur la figure précédente, les zones 3 et 4 sont différenciées des autres parce qu'elles sont comprises dans les valeurs d'avance par dent, c'est-à-dire qu'elles participent directement à l'opération de coupe.

Anquetil [22], indique que la face de dépouille doit être affûtée plus souvent que la face de coupe. J'ai réalisé un graphe (Figure IV-12) expliquant ce phénomène, qui est du à la différence entre les angles α_f et α_s . Le rapport entre ces deux angles est le même que celui des pertes de voie.

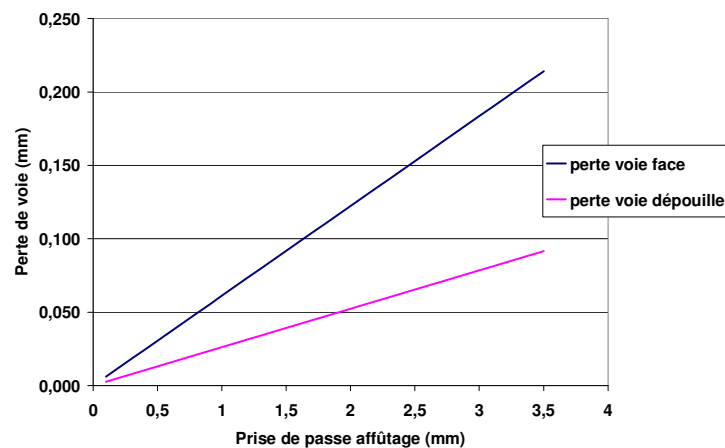


Figure IV-12 : Perte de voie suivant la face

Au sein de l'entreprise, les lames sont contrôlées par l'affûteur à l'œil nu, et l'expérience de ce dernier indique sur quelle face doit être affûtée une lame. En règle générale, seule la face est affûtée. Si cela induit une perte de voie plus importante, cette méthode a le mérite d'enlever l'usure sur la zone 3 de la Figure IV-11.

IV.2.3.3. Les chocs

Contrairement à d'autres matériaux usinables, le bois est très hétérogène. Des différences de densité très importantes peuvent donc être rencontrées dans un même morceau de bois. Ces différences de densité sont accentuées dans les bois tendres avec présences de nœuds car la densité du nœud peut atteindre deux à trois fois la densité du bois. De plus, les lames subissent au cours du sciage des chocs avec des particules de corps étrangers (métal, cailloux) très durs qui détériorent les plaquettes en les sectionnant généralement à mi-hauteur. Les dents sectionnées ou manquantes sont un facteur de balourd en cours de rotation. De plus, le bris de deux ou trois plaquettes consécutives est plus préjudiciable pour l'équilibre dynamique que le bris de deux fois deux plaquettes diamétralement opposées... Le pas, intervalle entre deux dents, se trouve doublé voir triplé à cause des dents cassées, si bien que la dent placée après la zone détériorée prélève une épaisseur de copeau deux ou trois fois plus importante que la normale, provoquant des rayures sur la surface sciée. Cette épaisseur de copeau plus importante peut aussi entraîner la détérioration de la dite dent, provoquant un effet « en chaîne » de bris de dents.

IV.2.3.4. Pratique au sein de l'entreprise

Parfois, les dents ne sont pas débrassées entièrement ou coupées à mi-hauteur, mais seulement les pointes sont ébréchées (Figure IV-13). En règle générale, une pastille qui s'ébrèche entraîne avec elle les suivantes présentes dans la matière, voir les débrase.

Si les pointes ne sont pas trop ébréchées, les défauts peuvent être rattrapés avec la seule opération d'affûtage. Par contre, des pastilles trop endommagées doivent être remplacées (voir III.2.6).



Figure IV-13 : Aspect de pointes ébréchées

IV.3. Affûtage

L'affûtage consiste en un enlèvement de matière sur les faces des outils. Les meules sont donc des outils d'usinage au même titre que les outils coupants à dents. Chaque grain constitue en quelque sorte un outil élémentaire.

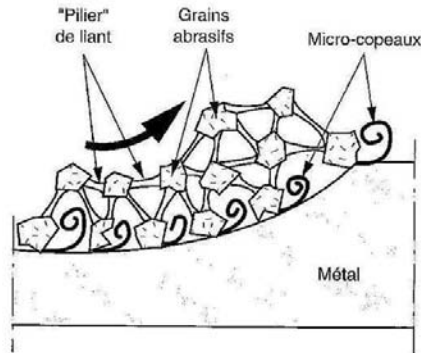


Figure IV-14 : Action de meulage par abrasion [22]

IV.3.1. Pratique au sein de l'entreprise

L'entreprise SIAT-BRAUN possède deux affûteuses pour les lames circulaires carbure. L'une est un modèle Finimat de marque VOLLMER, qui permet d'affûter soit la face (Figure IV-15) ou le dos des lames, mais un changement de meule est nécessaire pour cette opération.

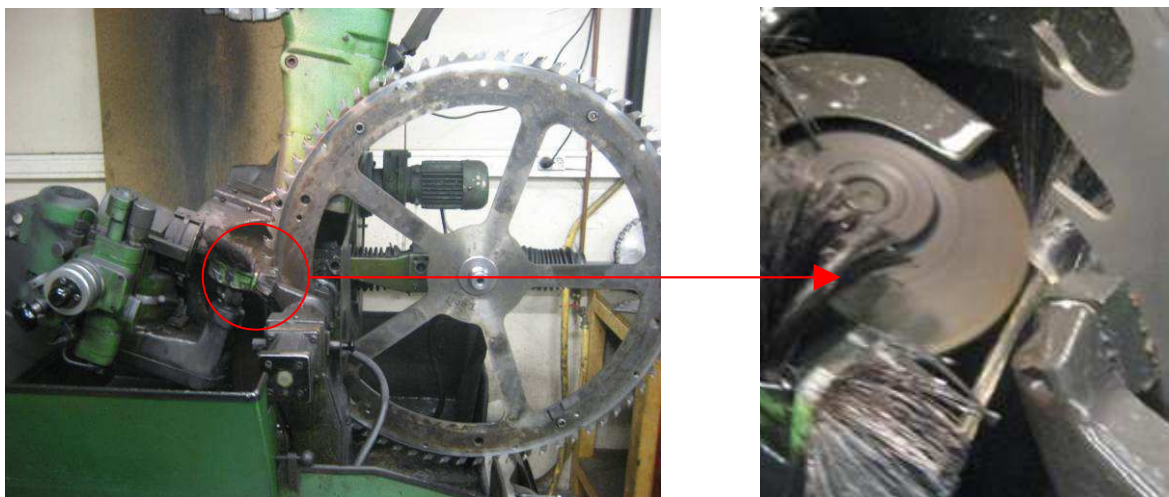


Figure IV-15 : Affûtage de la face sur Finimat

Sur cette machine (vieille de 20 ans), tous les réglages tels que la prise et la profondeur de passe, le pas, sont mécaniques. Seul le nombre de dents est pris en compte automatiquement via un compteur électronique.

L'autre machine qui équipe l'atelier est un robot d'affûtage de marque Walter (Figure IV-16). Cette machine plus récente est équipée d'un robot qui permet le chargement et le

déchargement automatique des lames, ces dernières étant préparées par séries et montées sur des manchons. La programmation se fait via un PC de contrôle pour chaque lame (ou chaque série), et la machine possède deux meules afin que tout puisse être fait automatiquement.



Figure IV-16 : Robot de chargement et tête d'affûtage Walter

Si le gain est loin d'être négligeable lorsque l'on affûte deux faces au lieu d'une, le temps passé à l'affûtage se trouve lui aussi doublé : sur le robot d'affûtage, la meule permettant de surfer la face de coupe n'est pas la même que celle qui surface la face de dépouille, et deux tours de lame sont donc nécessaires pour réaliser les opérations. Cette contrainte n'est pas compatible avec le nombre de lames à entretenir chaque jour.

Les lames de MKV sont donc en général affûtées uniquement sur la face, et celle de CSMK sont affûtées sur la face et le dos. Ceci n'est pas dû à une optimisation de l'usure, mais parce que ces dernières présentent souvent de grosses brèches sur leur face de dépouille (Figure IV-13).

IV.3.1.1. Détalonnage et affûtage sur la face de dépouille

L'atelier d'affûtage n'est pas équipé de machine pouvant effectuer l'opération de détailage. Les affûteurs ne tenaient pas compte de cet aspect et usinaient parfois l'acier du corps de lame sur une longueur pouvant atteindre 40mm.

Une méthode de travail différente a été mise en place afin d'éviter ce phénomène (IV.4.3.3).



Figure IV-17 : Support de dent non détailé

IV.3.1.2. Calcul de la perte de voie

Dans cette partie on considéra, pour simplifier les calculs, que l'usure comme définie par Feld [53] se présente comme un arc de cercle tangent aux faces de coupe et de dépouille, et dont le centre est positionnée sur la bissectrice de l'angle de taillant.

Si l'on enlève que l'usure sur une seule des faces (Figure IV-18), la prise de passe (ou enlèvement) qui devra être programmée sur l'affûteuse sera :

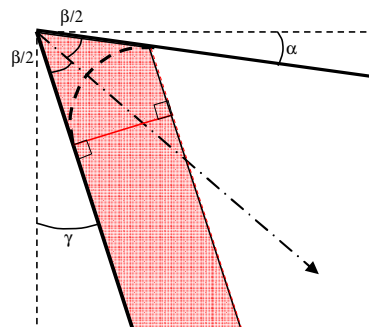


Figure IV-18IV-16 : Affûtage d'une seule face de la dent

Équation IV-1 : Valeur de l'enlèvement pour un affûtage simple

$$\text{Enlèvement} = r \times (1 + \cos \beta)$$

Enlèvement= prise de passe [mm] ;
 r = Rayon de bec (usure) [mm] ;
 β = Angle de taillant [°].

Si on contraire, on exécute l'affûtage sur les deux faces (Figure IV-19), la valeur de l'enlèvement devient, pour chacune des faces :

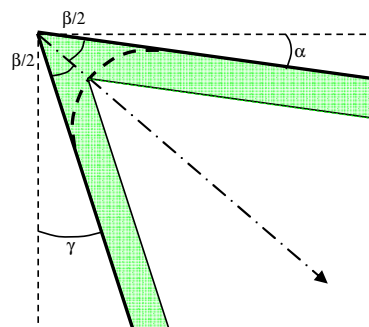


Figure IV-19 : Affûtage des deux faces de la dent

$$\text{Enlèvement} = r \times \left(1 - \cos \left(\frac{\pi - \beta}{2} \right) \right) = r \times \left(1 - \sin \left(\frac{\beta}{2} \right) \right)$$

Équation IV-2 : Valeur de l'enlèvement pour un double affûtage

En fixant un rayon de bec, et en choisissant un angle de taillant de l'ordre de ceux utilisés au sein de la scierie (54°), on peut dresser une comparaison des deux méthodes :

total sur une face (mm)	réparti entre deux faces (mm)
0,04	0,01
0,07	0,02
0,10	0,03
0,13	0,04
0,15	0,05
0,18	0,06
0,20	0,07

Tableau IV-IIIIV-II : Comparaison des prises de passe équivalentes entre une et deux faces

Sur le tableau précédent, on peut établir plusieurs remarques :

- Il convient tout d'abord de toujours avoir une prise de passe au moins égale à 0.05mm sur la face, afin d'enlever l'usure sur les flancs (Figure IV-11) ;
- La mise à rond des lames, les jeux fonctionnels des machines engendre une moindre précision de l'opération d'affûtage sur la face de dépouille. Cette différence peut parfois atteindre 0.2mm, et il est donc difficile de garantir l'enlèvement de l'usure avec des prises de passe inférieures à cette valeur. Le tableau indique les résultats par calcul, difficilement transposables dans la réalité.

IV.4. Optimisation de l'atelier d'affûtage

Durant les trois années passées au sein de l'atelier, certaines modifications des méthodes de travail m'ont été demandées par la direction, et d'autres me sont parues nécessaires afin d'améliorer les conditions de travail des opérateurs ainsi que la qualité de leur travail.

IV.4.1. Choix des pastilles carbure

Lors du remplacement de pastilles cassées, ou lors du repastillage complet d'une lame, il est nécessaire d'affûter les faces de dépouilles des pastilles carbure afin d'obtenir la mise à rond de la lame. A mon arrivée dans l'entreprise, les pastilles avaient un angle α de 28° (Figure IV-20).

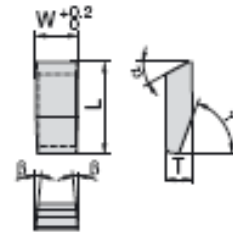


Figure IV-20 : Cotes d'une pastille carbure

Une fois la pastille brasée sur le corps de lame, cet angle α_p (notation que nous utiliserons afin de ne pas le confondre avec l'angle de dépouille de la lame) doit correspondre à la somme de l'angle de coupe γ et de l'angle de dépouille α de l'outil. Les lames de délignage ayant en général un angle de coupe de 24° et un angle de dépouille de 12° (au sein de la scierie), l'équivalence au niveau de la pastille carbure est un angle de 36° , soit 8° de plus que celui de la pastille brute. Le profil de matière à enlever par l'affûteuse était donc le suivant (Figure IV-21), puisque la face de coupe de la pastille doit correspondre à celle de la lame pour la tenue de la brasure:

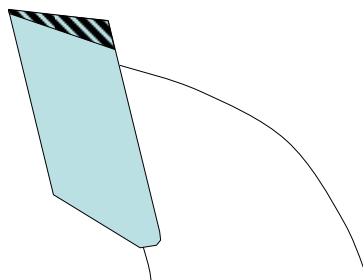


Figure IV-21 : Aspect de la perte matière initiale

En utilisant la prise de passe la plus petite sur le robot d'affûtage : 0.01mm (il est impossible de déclarer des prises de passe négatives dans la programmation du robot), cela correspondait à la face arrière de la pastille à une prise de passe de 0.64mm pour les pastilles les plus épaisses (4mm). Cette valeur était beaucoup trop élevée pour une meule diamant et

les vitesses d'avance devaient être fortement diminuées pour éviter un blocage ou un bris des meules, d'où une perte de productivité de l'atelier.

J'ai donc décidé de changer de type de pastilles afin de d'obtenir un angle α_p de pastille brute supérieur ou égal à celui requis sur la lame. Celui-ci a été choisi à une valeur de 39° (angle proposé par le fabricant de carbure), valeur proposée la plus proche de l'optimum pour notre application. Ceci a permis de faire la mise à rond des lames en une passe de 0.24mm, voir de la faire progressivement en plusieurs passes, l'important étant de placer toutes les arêtes de coupe sur un même diamètre.

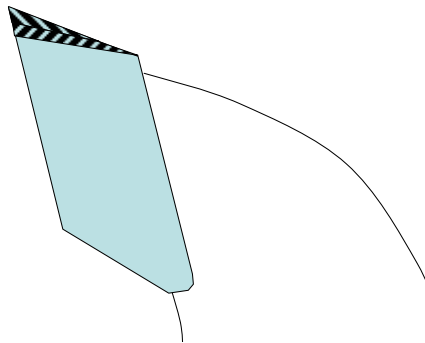


Figure IV-22 : Nouvelle perte matière

Ce nouveau choix de pastille a donc permis :

- De gagner en productivité en évitant le ralentissement des vitesses d'avance des meules ;
- De pouvoir affûter la face dépouille en plusieurs fois, et donc de gagner en marge d'affûtage sur cette face ;
- D'éviter une usure excessive des meules.

IV.4.2. Achat d'une machine à braser

De nombreuses lames revenaient de production avec des supports de pastilles brisés. Contrairement à une pastille brisée ou débrasée, il n'était pas possible de réparer la lame qui devait être écartée du circuit de production. Cela avait un coût très important pour l'entreprise, en plus de celui provoqué par les arrêts de la ligne.

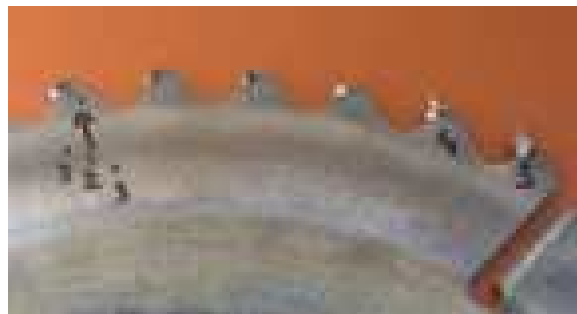


Figure IV-23 : Aspect des supports de dent brisés

J'ai donc demandé une étude au CM2T de Nancy (54) qui a confirmé que, conformément à la bibliographie (III.2.6.5), une chauffe trop importante était la cause de l'augmentation de la résilience du métal. En effet, le brasage à l'aide d'une flamme demande beaucoup de dextérité et de savoir faire puisque la température de celle-ci est de 3100° alors que l'austénisation du métal commence à 900°. Le temps de chauffe doit être ajusté au plus juste afin de ne pas dépasser cette température d'austénisation, ayant un effet négatif pour la lame. Ce temps varie entre 1 et 2 secondes suivant l'épaisseur de la lame.

Pour cette raison, la scierie a décidé d'investir dans une machine à braser. Ces machines, où un chauffage par induction haute fréquence est couplée à un pyromètre, permettent d'obtenir une chauffe très précise (+/- 5°) de la brasure, et de réaliser un recuit du support de dent après le brasage.

Une machine manuelle aurait permis de réaliser le travail récurrent réalisé par l'atelier d'affûtage, mais une étude économique a permis de dévoiler qu'une machine complètement automatisée pourrait permettre à l'entreprise de diminuer la durée d'amortissement, bien qu'en réalisant un investissement initial supérieur. En effet, une machine automatique plus chère à l'achat permet aux affûteurs de s'afférer à des tâches qui ne peuvent être faites que par l'homme, alors que l'on constate l'inverse pour une machine manuelle. De même, on peut intégrer à la machine le système de dépose de la brasure, ou le donner à un sous-traitant qui appliquera cette dernière sur les pastilles avant de les livrer à la scierie.

On brasait manuellement avant l'achat de la machine environ 500 dents par jour. A cela s'ajoutait un potentiel de lames non repastillées par manque de capacité défini comme suit :

Nombre	type lame	Z
100	Costa-SRM-Weinig	24
3	Trimmer	60
3	Ebouteuses	96
2	Söderhamn	40
4	Linck	55

Tableau IV-III : Potentiel de lames non repastillées

Le tableau précédent représente les lames qui étaient affûtées chaque jour mais que l'on ne repastillait pas (en fin de vie) par manque de temps. Avec une moyenne de 12 affûtages par lame, de l'état neuf à la fin de vie (pastille usée) cela représentait un travail supplémentaire de 264 dents/ jour.

Le surcoût de la machine manuelle pour la dépose de la brasure était de l'ordre de 30 000€ alors qu'il n'était que de 20 000€ pour une machine automatique. La différence de prix entre une pastille nue et pré brasée est de 0.07€. Le prix du feuillard d'Ag est de 200€/kilo. L'épaisseur est de 0.2mm et la largeur moyenne de 4 mm. Un kilo représente donc une longueur de 125 m. Toutes les pastilles ont une longueur de 10.5 mm, exceptées celles de lames CSMK qui ont une longueur de 13 mm. La longueur moyenne de brasure est de 9 mm, soit 13 800 brasures par kilo d'argent (0.015€/pastille).

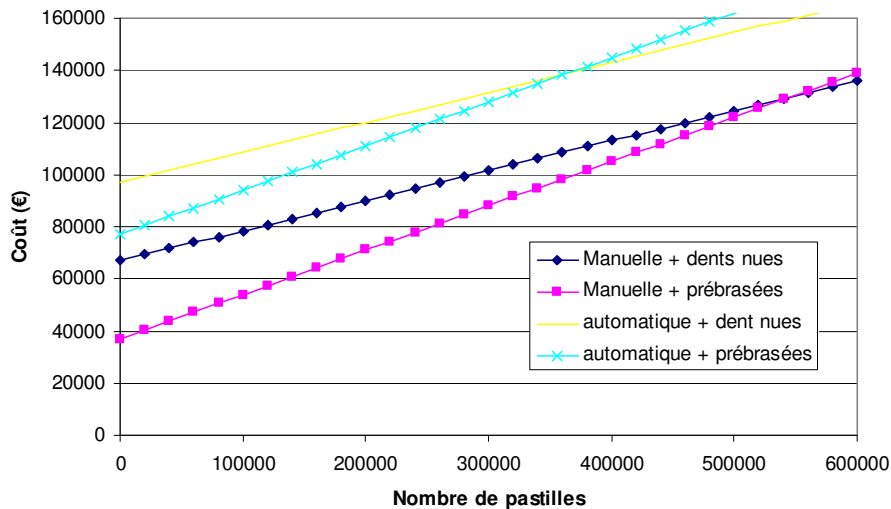


Figure IV-24 : Rentabilité des différentes machines à braser

Pour toutes les raisons énoncées, la scierie a décidé de faire l'acquisition d'une machine automatique avec dépôt de la brasure. Un cahier des charges rédigé par mes soins a été envoyé aux deux fournisseurs potentiels, avec les caractéristiques suivantes :

- Le diamètre des lames est compris entre 220 et 860 mm ;
- Utilisation plaquettes nues et pré-brasées ;
- Machine ne nécessitant pas d'opérateur après réglage ;
- Longueur de plaquette : de 8.5 à 13mm ;
- Largeur de plaquettes : de 3 à 8mm ;
- Epaisseur de plaquettes : 2.5 à 4mm.
- Permettre le débrasage de plaquette (réparation).

Après avoir mis les deux fabricants en concurrence et testé leur machine sur des lames mises en production au sein de la scierie, le choix s'est porté sur une machine LK400e de la société Kirschner GMBH.

Marque		Kirschner						Gerling
Type	LK 800M	LK 1500 S	LK 1500 M	LKX	LK 400 E	LK 600	GLE	
	Manuelle	Semi-automatique	Manuelle	Automatique pour pré-brasé	Automatique avec brasure	Automatique, temps de réglage réduit		
Encombrement	Longueur	1300	1750	1600	1300	1300	1800	1600
	Largeur	730	1300	1000	1300	730	1550	1000
	Hauteur	1400	1800	1360	1800	1400	2000	1500
Electrique	Puissance	2,8 -->3,5;5,6	3,5 -->5,6	3,5 -->5,6	3,5 -->5,6	3,5 -->5,6	5,6	5,2
	Tension							400
Pneumatique	Pression							5 bar
	débit							25 l/min
Scie	D mini	100	250	300	75 (300)	75 (300)	100 (100)	100
	D max	810	1500	1500	500 (800)	500 (800)	620 (1000)	800
Plaquette	Longueur min	4,5	4,5	4,5	3,5	3,5	3,5	5
	Longueur maxi	13	15	15	13	13	14	27
	largeur mini	2	2	2	1,5	1,5	1,5	1,5
	largeur max	8	10	10	9	8,5	9	10
Angles	Attaque mini	-15	-10	-15	-10	-10	-10	-10
	Attaque maxi	25	30	25	30	30	30	30

Tableau IV-IV : Caractéristiques des différentes machines à braser

IV.4.3. Implantation et nouvelle méthode de travail

IV.4.3.1. Implantation

L'ajout d'une nouvelle machine dans un atelier pose toujours des problèmes au niveau de la surface utile, des transferts de matière, des apports d'énergie, etc. Très succinctement, je vais présenter les nouvelles dispositions des matériels. Nous avons donc dessiné à l'échelle le plan de l'atelier afin de déterminer l'emplacement le plus adapté à l'implantation de la braseuse.

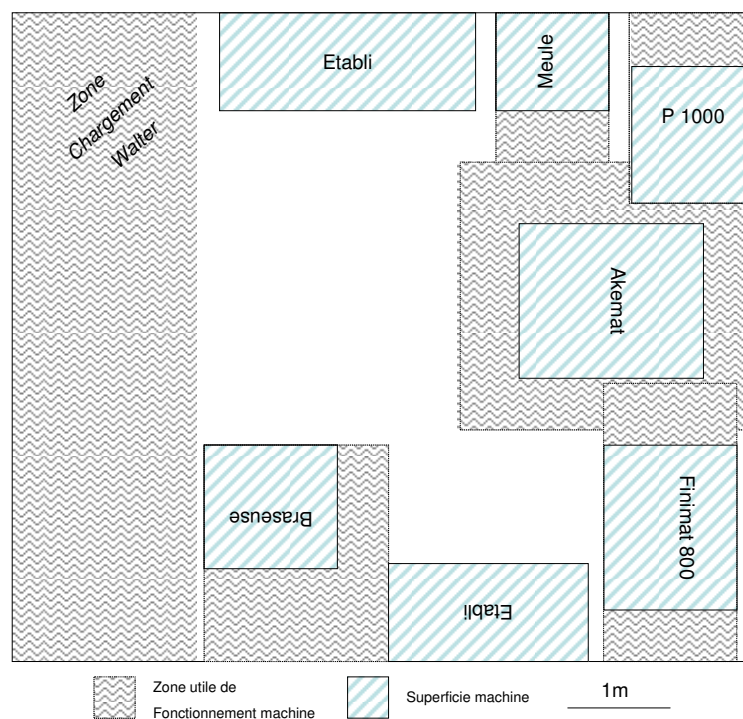


Figure IV-25 : Nouveau plan de l'atelier

Le fonctionnement de cette machine étant assez complexe et les réglages minutieux, une formation importante a du être transmise aux opérateurs après la mise en route afin d'obtenir une qualité de travail en corrélation avec les exigences de l'entreprise. La notice d'utilisation, support de formation pour les affûteurs, est disponible en annexe 4.

IV.4.3.2. Problématique des lames en réparation

Lorsque les affûteurs travaillaient au chalumeau, les lames à réparer de la veille étaient traitées au début de la journée, et on procédait ensuite au repastillage complet de lames. Cette méthode avait été adoptée pour faire face aux contraintes des autres machines, le temps de réglage du gabarit étant quasi nul.

On pouvait en effet considérer une minute de réglage du gabarit et une cadence de production de 2 dents par minute. La machine, quant à elle, a un temps de réglage par type de lames de vingt minutes environ, et une cadence de six dents par minute.

Il n'était donc pas possible de conserver la même méthode de travail que précédemment, puisque 4 à 5 types de lames sont à réparer chaque jour, d'où une perte de 2 à 3 heures pour la machine et un opérateur en temps de réglage. J'ai donc décidé de faire marquer les dents à réparer sur une lame, et d'attendre que le stock en réparation de ce type de lames soit au minimum de 5 (d'après les emplacements de stockage disponibles) pour justifier le temps de réglage. Les lames en réparation sont donc traitées avec le stock de lames en fin de vie à repastiller entièrement. Un emplacement de stockage a donc été mis en place pour les lames en attente de réparation.

IV.4.3.3. Détalonnage et affûtage sur la face de dépouille

Auparavant, l'atelier travaillait uniquement avec la voie de la lame, pour décider ou non du repastillage (IV.2.2.2). Pour bon nombre de lames, surtout celle de CSMK, à cause de l'usure, le corps de la lame est affûté en même temps que la pastille. Cela avait plusieurs inconvénients :

- Le temps d'affûtage est augmenté, à cause de la longueur qui l'est aussi ;
- L'acier du corps encrasse la meule diamant ;
- Le diamètre de la lame diminue (réglages machines...) ;
- La surface de brasure diminue ainsi que le volume du creux de dent. On obtient donc une brasure plus faible, ainsi qu'un possible "bourrage" de sciure dans le creux de dent

Les investissements réalisés par l'entreprise doivent avoir un juste retour : la rentabilité de l'atelier. Il a donc été décidé de ne plus travailler uniquement avec la voie, mais aussi avec la marge d'affûtage du dos des lames, afin de ne plus les diminuer à l'excès, et améliorer la capacité d'affûtage de l'atelier. A titre d'exemple, une lame de MKV coûte environ 170€ et le total des pastilles brasées 8€.

En ayant un stock suffisant pour chaque type de lame, il est possible d'appliquer la méthode suivante : les lames ne doivent plus être affûtées lorsque :

- La voie est trop faible ;
- La marge d'affûtage sur le dos est trop faible (même si la voie l'est), et qu'un affûtage sur cette partie doit être opéré.

Cette nouvelle méthode présente les avantages suivants :

- Le temps d'affûtage est réduit puisque la longueur à affûter se limite à la pastille carbure (sur la face de dépouille) ;
- Les corps de lame ne sont plus diminués en diamètre et peuvent être utilisés plus longtemps ;
- La surface de brasage n'est pas diminuée, et on évite l'opération de recreusage du support de plaquette ;
- Les réglages machines seront plus aisés par la constance des diamètres de lame.

Une méthode manuscrite a été élaborée afin d'harmoniser le travail de tous les affûteurs. Cette dernière est disponible en annexe 6.

IV.4.4. Outils de gestion de l'atelier

Afin de mieux définir les causes de bris d'outils sur la ligne de sciage, des feuilles de suivi ont été mise en place afin de connaître les facteurs déterminants ainsi que les fréquences de répétition des phénomènes. Les contremaîtres de la ligne devaient renseigner cette feuille par écrit. Cette dernière était ensuite saisie sur tableur afin de pouvoir traiter plus facilement les données :

Aléas lames										
Semaine	Jour	Heure	Schéma	Type lame	Temps de sciage	Temps d'arrêt	Observations	Raison	Bris	
30	---	14:30	25x200 8x + 50x200 2x	AKE 3,8	0:20	0:03	---	---	---	---
31	lundi	15:00	25x200 9x	Leuco 3,8	0:30	0:04	Pastilles ébréchées	Décalage	1	U
32	mardi	15:30	25x200 9x + 50x200 2x	AKE 4	0:40	0:05	Voie trop faible	Bois cassé	2	PBL
33	mercredi	16:00	25x200 9x + V50x200 2x avec 25	Leuco 4	0:50	0:06	Brasure	Etat de surface	3	U
34	jeudi	16:30	25x225 7x	ONCI 4,2	1:00	0:07	dent cassée	Bois arrêté	4	SKE
35	vendredi	17:00	25x225 8x	Leuco 4,7	1:10	0:08	RAS	---	5	---
36	samedi	17:30	25x225 9x	AKE 4,4 51	1:20	0:09	Lame chauffée	---	6	---
37	---	18:00	25x250 7x	Felde 4,6 51	1:30	0:10	Usure excessive	---	7	---

Semaine	Jour	Heure	Schéma	Type lame	Temps de sciage	Temps d'arrêt	Observations	Raison	Bris	Provenance	
17	35	lundi	9:30	25x200 9x	AKE 4	1:00	0:10	RAS	Bois cassé	---	U
18	35	lundi	12:00	75x225 3x	AKE 4	3:00	0:08	Usure excessive	Décalage	---	PBL
19	35	lundi	15:00	75x225 5x	AKE 5,5 S2	0:10	0:10	Lame chauffée	Lame neuve	---	U
20	35	mardi	5:30	63x175 2x + 32	AKE 3,8	0:20	0:08	Pastilles ébréchées	---	3	SKE
21	35	mercredi	8:30	63x175 3x	AKE 3,8	1:30	0:10	Lame chauffée	Bois cassé	2	SKE

Figure IV-26 : Feuille de suivi des aléas lames

Cette feuille a eu deux principales utilités. Premièrement, elle a pu mettre en évidence quels éléments pouvaient être responsables des bris de lames, après analyse. Le facteur « provenance = SKE » (c'est-à-dire le nom du parc à grumes producteur du billon) est apparu trop souvent et on s'est rendu compte que la manutention des billons par les camions les acheminant à la scierie était la cause des bris de lames. Ces derniers tapaient les bois au sol pour alignés les billons sur les camions et des cailloux s'incrustaient au bout. Le facteur « Observation = dents cassées » est apparu aussi sans raisons assez régulièrement et on s'est aperçu que la le brasage au chalumeau était la cause des bris (voir IV.4.2). Durant toute la période de ces analyses, le tableur permettait de générer automatiquement des rapports que je commentais à mon encadrement.

Deuxièmement ; la connaissance des lames cassées ou rebutées a permis de mettre en place un outil de gestion du stock de lames qui a été généralisé à tous les outils de coupe. Une partie de ces outils est dans la scierie, en quantité variée suivant la production réalisée, une autre est soit stockée, soit en cours de traitement au sein de l'atelier d'affûtage, une dernière dans le stock en dessous de l'atelier. L'outil de gestion a permis de surveiller le niveau de stock de chaque type d'outil, mais aussi de générer automatiquement des bons livraisons afin de simplifier le travail administratif de mon contremaître, et aussi de vérifier les prix pratiqués par les fournisseurs d'outils.

Après avoir vu tous les paramètres géométriques et matériels des outils de coupe, nous avons vu dans ce chapitre quelles étaient les restrictions dues à la maintenance des coupes, et les modifications qui ont été apportées pour optimiser ces opérations. Le chapitre suivant traitera donc des modifications qui ont été apportées sur les outils de coupe, en corrélation avec leur environnement.

*Analyse et modifications
des outils*

V. Analyse et modifications des outils

Cette partie constitue l'acte essentiel de mon travail sur les outils de coupe de la scierie. Mais, elle n'aurait pu être réalisée si je n'avais étudié les différents outils et leurs caractéristiques, ainsi que la maintenance associée. D'un point de vue temporel, il est difficile de donner des valeurs exactes sur chaque partie travaillée, mais il n'est pas illusoire de dire que le travail d'un affûteur ne s'acquiert qu'après plusieurs mois. Ma première étude, me permettant de me familiariser avec l'outil de production a été ciblée sur l'analyse des outils de broyage, suite à une analyse de dysfonctionnement quant à la qualité des plaquettes produites. J'ai pu ensuite étudier les lames de scie circulaires, dans l'objectif de diminuer la voie. Ce travail a dû prendre en compte les différentes contraintes de l'outil, du matériau, des conditions de coupe, mais également celles de l'entreprise, des fournisseurs, et de façon plus délicate, les différents aléas non comptabilisés initialement.

V.1. Les outils de broyage

Ces outils ont deux fonctions sur la ligne de sciage : ils doivent tout d'abord créer des surfaces de références qui seront aussi des surfaces de pièces de sciage. De ce fait, la qualité de surface ne doit pas être négligée. De plus, la granulométrie des copeaux réalisés doit correspondre aux critères des utilisateurs de cette matière. L'optimisation d'un de ces deux aspects pouvant se faire au détriment de l'autre, j'ai mené une étude sur chaque type de machine afin de m'assurer que ces dernières étaient réglées au mieux pour notre application.

Les canterers (ZD1 et ZD2) sont présentés au chapitre II.4.5.1

V.1.1. Le travail des outils de canter

La vitesse d'avance de la ligne étant variable suivant les schémas de sciage, la vitesse de rotation des têtes doit s'adapter en conséquence afin de garder une longueur de plaquettes (égale à l'avance par dent) constante. La longueur de plaquette préconisée par le constructeur est de 27mm (valeur cible). Une étude comparative de Felber [55] corrobore cette longueur, qui permet d'avoir une qualité optimale de granulométrie des plaquettes pour l'industrie papetière.

Une autre étude de Felber [56] indique que pour le bois gelé, la longueur des plaquettes doit être augmentée à 32 mm afin de ne pas trop produire de fines et donc de réduire la qualité totale. Dans cette étude, il indique aussi que les canterers possédant une couronne à plaquettes carbure produisent plus de fines que les autres, mais également un meilleur état de surface, pour lequel on ne note pas de nœuds ou de contre-fil arraché.

Durant l'hiver 2008-2009, la longueur des plaquettes a donc été modifiée afin d'améliorer la granulométrie. Les courbes suivantes (Figure V-1) ont été obtenues à partir des résultats de granulométrie d'un client de plaquettes :

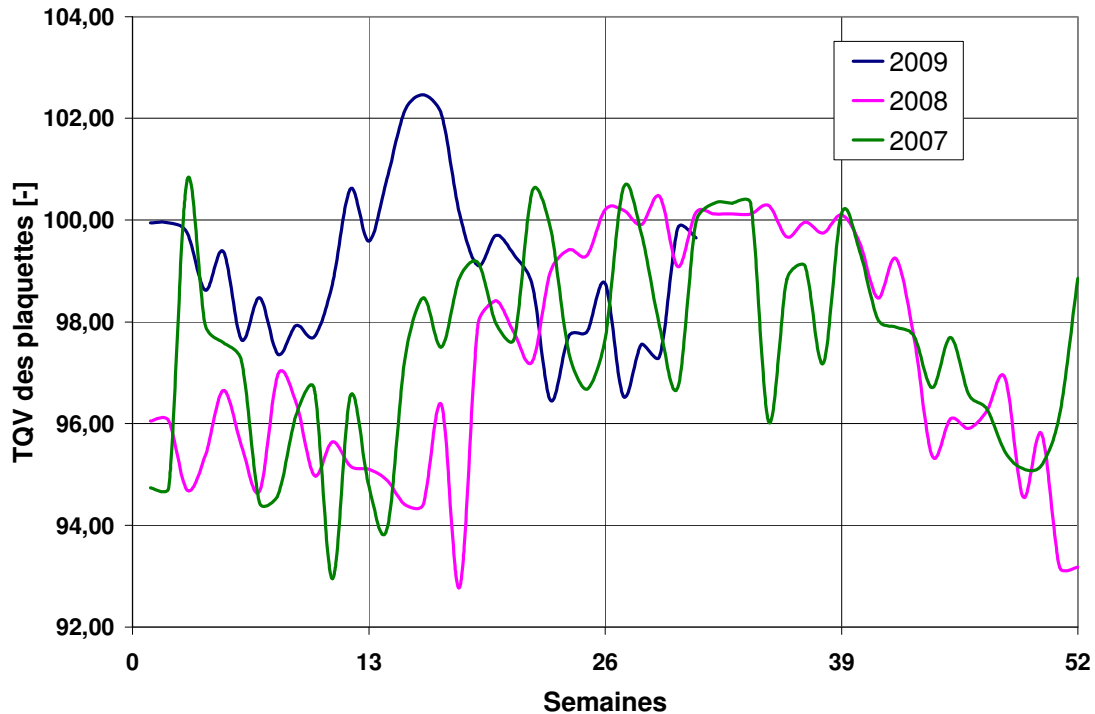


Figure V-1V-1 : Evolution de TQV suivant la saison

L'axe des abscisses représente les semaines de chaque année, et le quadrillage les saisons. On remarque donc que la granulométrie a en effet été beaucoup améliorée durant l'hiver et une partie du printemps 2009, mais aussi que la « TQV » (voir II.1.4.2) est une variable très aléatoire d'une semaine à l'autre.

V.2. Travail des unités de profilage

Si les canters ne posent pas de problèmes au niveau des états de surface, ce n'est pas le cas des unités de profilage, F1 et F2, pour lesquelles une étude sur le travail des couteaux a du être réalisée.

La présentation de ces machines ainsi que de leurs outils a été fait au chapitre II.4.5.3.

V.2.1. Problématique

Une fois l'opération de fraisage réalisée, la délignieuse multi-lames (MKV) détache les « sous-produits de fraisage » des produits dits « principaux » (Figure V-2) :

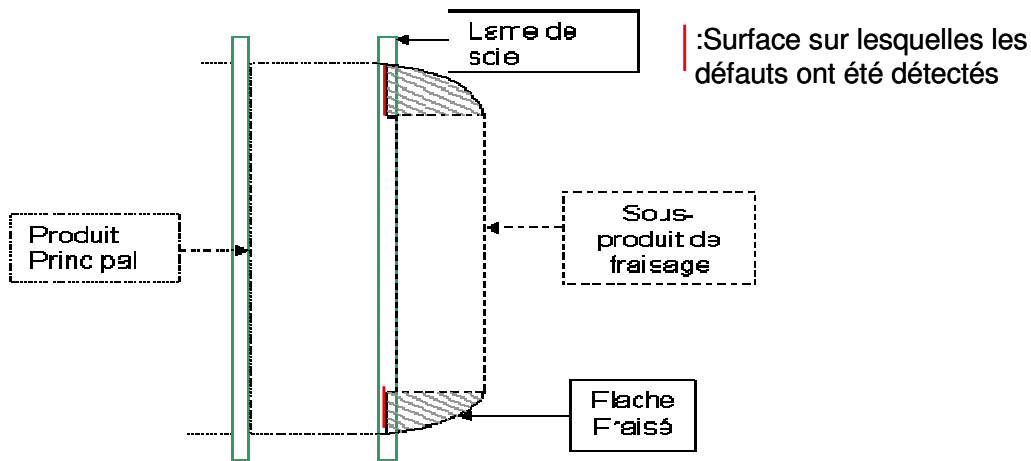


Figure V-2V-2 : Emplacement des défauts d'usinage

Les canters ne réalisent qu'une face sur le bois, qui est donc réalisée uniquement par la couronne de scie circulaire. Les unités de profilage réalisent elles deux surfaces. La surface verticale est créée par les segments de scie circulaire tandis que la partie horizontale l'est par les couteaux (appelés communément fraises, pour les distinguer des couteaux de canters).

Le problème des fraises est l'arrachement du contre-fil après les nœuds, suivant la direction de coupe (Figure V-3) : Si les fibres sont couchées avant le nœud, ce qui donne un bon état de surface, elles sont relevées après, avec arrachements de paquets de fibres qui peuvent conduire à des remarques de la part des clients. Ce phénomène est d'autant plus important si le nœud se trouve sur l'arête du produit final

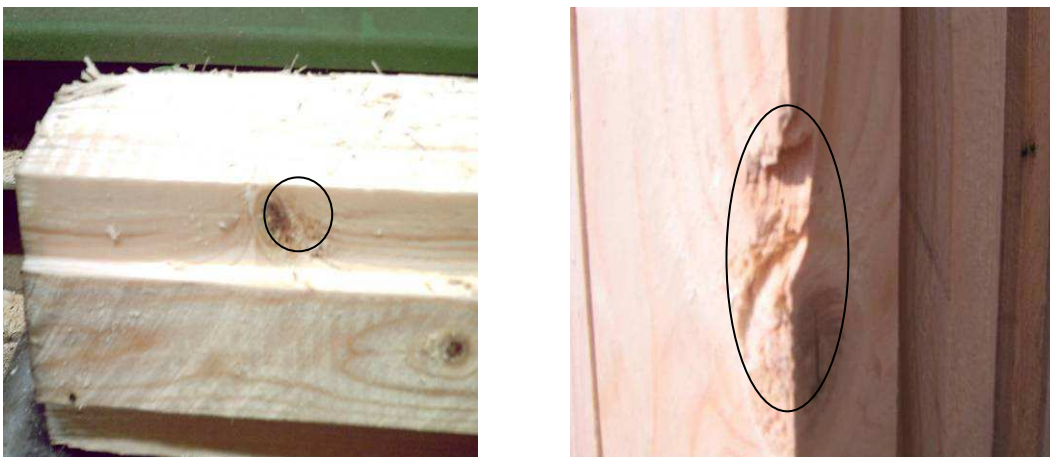


Figure V-3V-3 : Aspect d'arrachement de contre-fil

De plus, les plaquettes réalisées lors du fraisage doivent aussi répondre à des contraintes de granulométrie, pour une utilisation en papeterie.

Un diagramme cause-effet a été réalisé afin de déterminer les causes du mauvais état de surface obtenu (Figure V-4). Les points qui ont été jugés les plus pertinents, et sur lesquels une action était possible ont été soulignés.

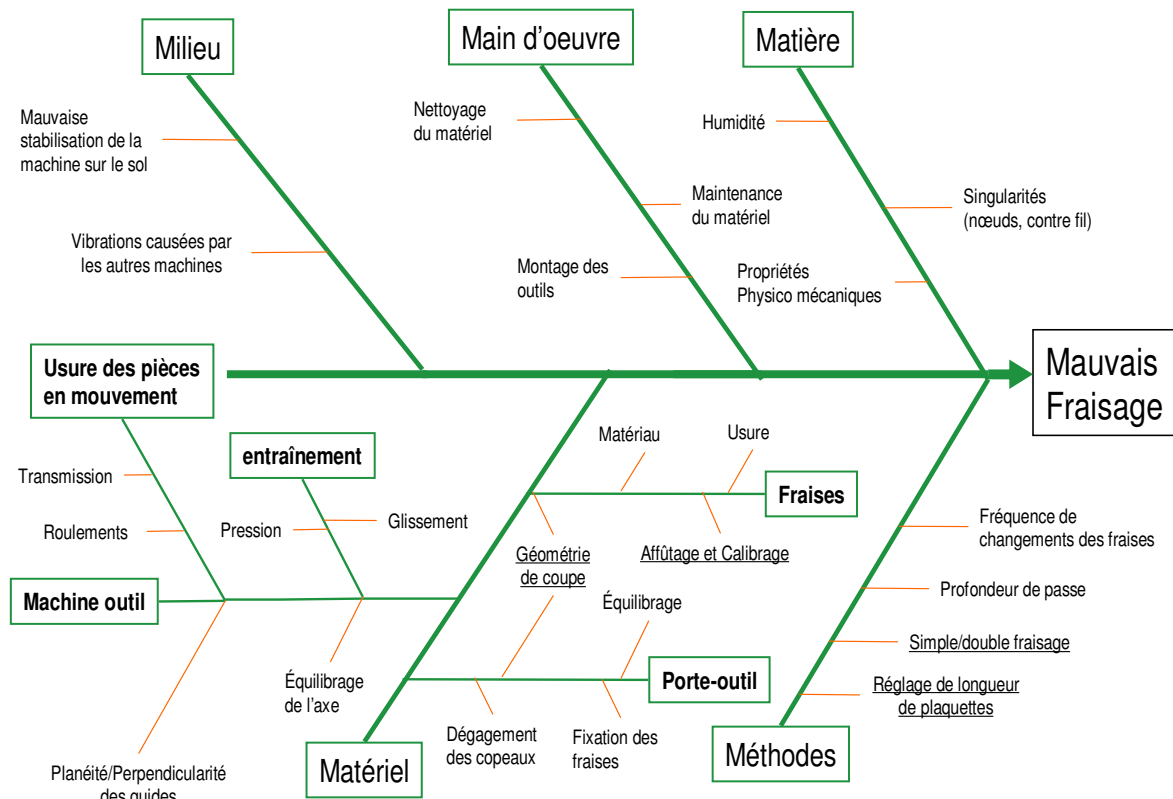


Figure V-4 : Diagramme cause-effet du mauvais fraisage

V.2.2. Analyse des différentes solutions

Plusieurs paramètres se sont révélés significatifs sur le travail des fraises ; chaque action a donc été testée séparément des autres afin de juger de son efficacité.

V.2.2.1. Simple/double fraisage

Nous avons tout d'abord essayé d'utiliser le double fraisage : lorsque seul F1 doit normalement être utilisé, ce qui est le cas pour environ 80% du temps de production, on répartit la section de bois à enlever entre F1 et F2 (Figure V-5). On fait donc travailler deux machines au lieu d'une.

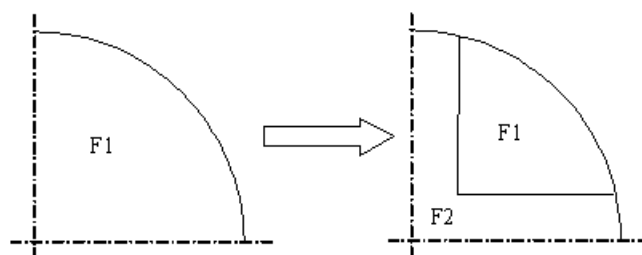


Figure V-5 : Répartition de l'usinage par double fraisage

Cette technique, qui doit normalement offrir des résultats en termes de qualité d'état de surface d'après le manuel d'instruction de la ligne de sciage, ne semble pas remplir cette fonction première. Ce procédé est cependant utilisé lorsque les sous-produits de fraisage ont une épaisseur de 36mm (ou plus), ce qui permet de répartir les puissances consommées par machine et d'éviter les temps morts lorsque l'avance est arrêtée pour cause de surcharge électrique.

V.2.2.2. Vitesse de rotation du porte-outil

L'ordinateur de pilotage de la ligne permet de régler la longueur des plaquettes produites par les unités de profilage, en adaptant la vitesse de rotation à l'avance. A la suite de discussions avec les clients de plaquettes, il s'est avéré que la longueur des plaquettes avait été augmentée par rapport aux valeurs de base de la ligne, et ceci dans le but d'améliorer la granulométrie des plaquettes produites. Cette longueur représente en fait l'avance par dent des fraises, qui permet de régler la vitesse de rotation du porte-outil en fonction de l'avance.

La plage de vitesse de rotation du porte-outil est cependant moins grande que la plage de vitesses d'avance, à longueur de plaquettes égale. Cette longueur est donc corrigée aux extremums. Le réglage initial des unités de profilage correspond à la Figure V-6. J'ai remarqué qu'il y avait beaucoup moins d'arrachements lorsque la vitesse d'avance de la ligne était faible, et que cela correspondait à des valeurs de longueur de plaquettes elles aussi faibles. L'aspect des sciages étant plus importante que la granulométrie des plaquettes, j'ai décidé de diminuer la longueur pour toutes les plages de vitesse d'avance, mais en restant au dessus de 13 mm, valeur de la classe de plaquettes la mieux valorisée (Figure V-7).

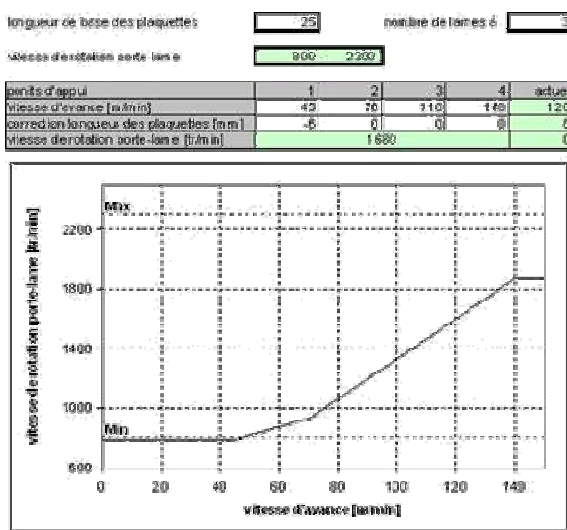


Figure V-6 : Réglage initial des unités de profilage

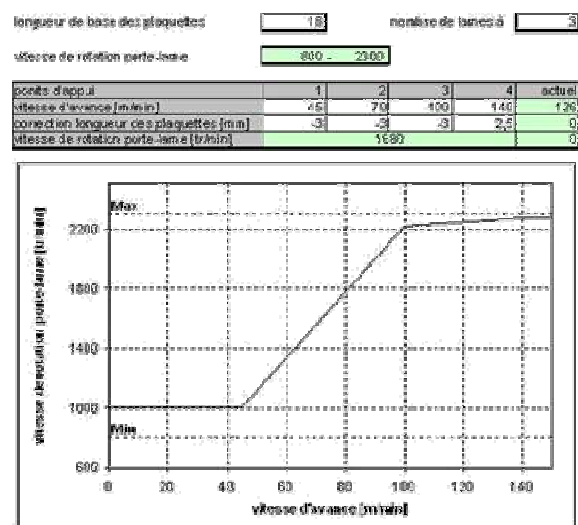


Figure V-7 : Réglage final des unités de profilage

V.2.2.3. Géométrie de coupe

Les fraises sont fixées sur le porte-outil de la machine (Figure V-8) qui va déterminer de cette façon l'angle de coupe. L'affûtage des fraises conditionne l'angle de taillant, et l'angle de dépouille est fonction des deux précédents.

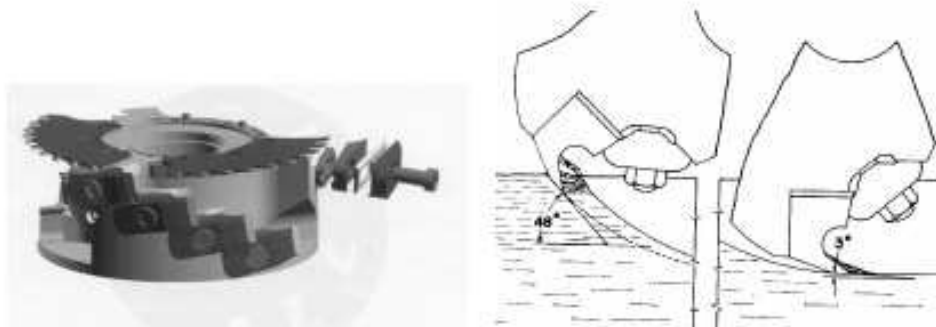


Figure V-8 : Montage des fraises sur le porte-outil [55]

L'angle de coupe est très élevé, et induit un angle de levage de fibres qui va varier de 30,5 à 55°. Cette valeur importante, associée à des valeurs d'avance par dent également importantes, permet d'obtenir une pénétration de l'outil dans la matière correspondant au copeau de type I, avec un fractionnement du bois au devant de l'arête, et la fabrication de plaquettes. Mais comme la propagation des fissures suit le fil du bois, il arrive que le bois en contrefil, au niveau des nœuds, soit arraché :



Figure V-9 : Plaquettes avec arrachement de contre-fil

Pour améliorer l'état de surface, j'ai cherché à rapprocher les copeaux vers un type II, en diminuant l'angle de coupe (ainsi que l'avance par dent, V.2.2.2). Cet angle ne pouvant normalement être réalisé que par modification du porte outil, un « contre-angle » a été réalisé sur les couteaux :

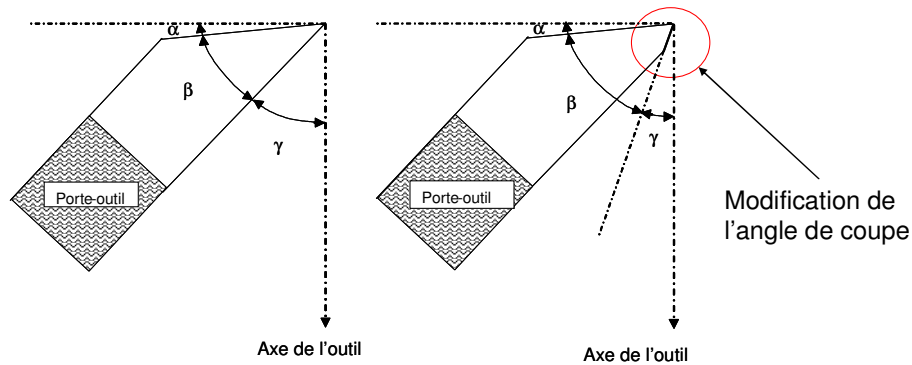


Figure V-10 : Modification de l'angle de coupe des fraises

L'inconvénient de la diminution de l'angle de coupe est l'augmentation des efforts, et donc de la puissance électrique appelée. Si cette puissance dépasse celle installée sur la machine, l'avance de la ligne s'arrête afin de que les moteurs retrouvent leur vitesse de rotation nominale, d'où une perte de productivité. Le compromis trouvé par différents tests (en s'assurant qu'aucun arrêt de la ligne n'était constaté) a été un contre-angle de 15° .

V.2.2.4. Affûtage

Il est à noter que le porte-outil donne en plus un angle de biseau de 10° aux fraises. D'après Boucher [57], cet angle permet d'avoir un appel de puissance plus constant, mais n'influence pas l'état de surface généré. Afin de renforcer les pointes des fraises, et d'assurer le recouvrement entre les fraises les plus proches des segments de scie et ces derniers (Figure V-11), des dépouilles latérales (Figure V-12) étaient affûtés à l'aide d'un gabarit :



Figure V-11 : Recouvrement des fraises et des segments de scie

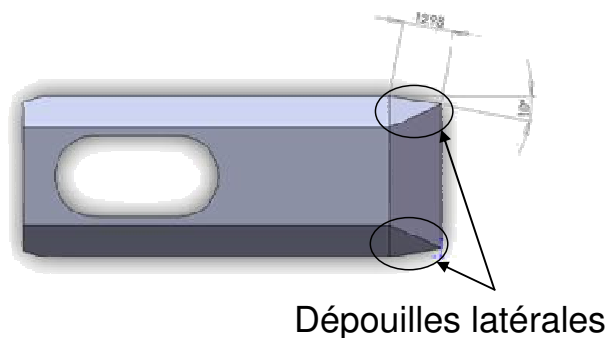


Figure V-12 : Dépouille latérale des anciennes versions de fraises

Pour réaliser ces dépouilles, les fraises étaient placées par 6 sur la rectifieuse à couteaux à l'aide d'un gabarit. Cette opération était très longue et fastidieuse (pour information, on peut mettre jusqu'à 25 fraises sur la table en affûtage normal de la face de dépouille). La création du contre-angle, avec une longueur précise, a permis de reproduire naturellement ces dépouilles latérales :

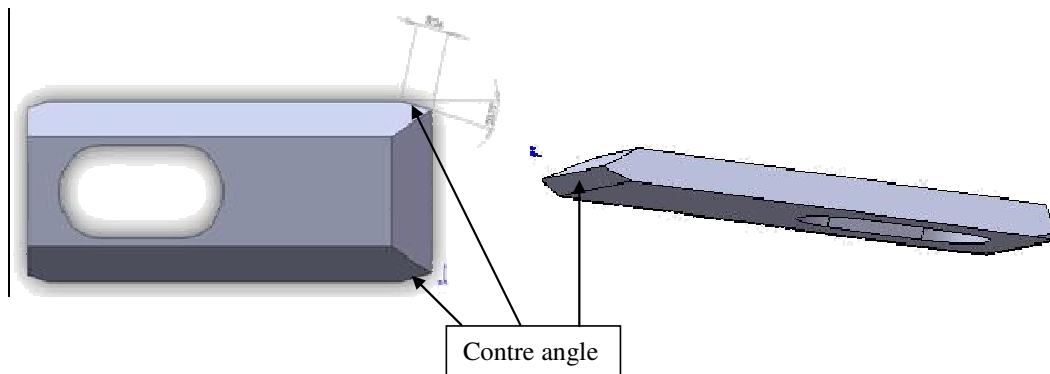


Figure V-13 : Contre-angle et dépouilles latérales

Le contre-angle se faisant par série de 40, un temps machine+opérateur d'environ une heure a été gagné par jour.

Au niveau de l'usure des outils, il était nécessaire d'enlever environ 2mm d'usure avec l'ancienne version des fraises, alors qu'il n'en est plus enlevé environ que 0.8mm maintenant. La marge d'affûtage de ces outils est de 17 mm, et l'on en change une moyenne de 18 fraises par jour. Le prix d'une fraise est de 20€.

$$\text{L'économie réalisée est donc de } \frac{2-0.8}{17} \times 18 \times 218 \times 20 = 5540\text{€ / an.}$$

La mise en position des fraises sur le porte-outil nécessite que celles-ci soient toutes sur le même cercle de coupe. Après affûtage, la longueur des fraises est réglée à l'aide d'une vis et d'un gabarit. Le maintien en position se fait avec une plaque de serrage qui fixe la fraise sur le porte-outil grâce à une vis qui traverse le trou oblongue des fraises (Figure V-8). La création du contre angle modifie le cercle de coupe des fraises, la valeur a été corrigée (de 105mm à 100.5mm).

Pour finir, au niveau des états de surface, le gain était avant tout une meilleure satisfaction des clients et la baisse des remarques à ce sujet. Ce gain est donc difficile à estimer financièrement.

V.3. Analyse et modifications des lames de scies circulaires ou comment diminuer le trait de coupe

Comme on l'a vu au chapitre II.3.4, le rendement matière est un paramètre important pour le résultat financier d'une scierie. La recherche de l'augmentation de cette valeur est constante et dépend du matériau usiné ainsi que du processus de fabrication. Des campagnes de sciages permettent de répondre aux diversités de la géométrie des grumes et l'entreprise travaille avec le sciage courbe. La diminution du trait de coupe est un complément nécessaire avec des scies les plus fines possibles, mais aussi suffisamment résistantes pour supporter les cadences de sciage imposées.

V.3.1. Analyse des lames existantes

V.3.1.1. Machine MKV

Cette déligneuse à double arbres permet de scier les noyaux suivant la hauteur. Elle sépare les différents produits principaux entre eux ainsi que les sous-produits de fraisage.

Dans cette machine, les lames sont montées sur des manchons qui sont eux-mêmes montés sur les arbres de la machine. Les lames sont flasquées par des cales d'épaisseur variable qui conditionnent l'épaisseur des produits souhaités (Figure II-30).

V.3.1.2. Présentation des lames

Au démarrage de la ligne Canter, 5 plages de hauteur de sciage sur la machine avaient été définies avec les fournisseurs de lames. Ceux-ci avaient associé des largeurs de trait de scie d'après leurs calculs et les consignes du fabricant de la machine (Tableau V-I):

Hauteur de sciage (mm)	Diamètre lame (mm)	épaisseur lame (mm)
< 122	520	3,4
< 152	520	3,6
< 175	520	3,8
< 225	520	4
< 305	570	4,7

Tableau V-I : Cahier des charges des lames MKV

Les deux principaux fournisseurs, bien qu'ayant les mêmes traits de scie, avaient des conceptions de lame différentes (Tableau V-II et Tableau V-III):

Hauteur de sciage (mm)	Diamètre lame (mm)	épaisseur dent (mm)	épaisseur corps (mm)	Diamètre épaulement (mm)	Epaisseur épaulement (mm)	Nombre de dents (-)	Nombre de racleurs (-)	Avance minimum (m/min)	Avance maximum (m/min)
< 122	520	3,4	2,2	350	4,5	46	2+2	110	150
< 152	520	3,6	2,4	320	4,7	42	2+2	62	150
< 175	520	3,8	2,6	290	4,9	36	2+2	47	150
< 225	520	4	2,8	250	5,1	32	2+2	32	108
< 305	570	4,7	3,4	230	5,8	24	2+2+2	32	60

Tableau V-II : Proposition du 1^{er} fournisseur de lame

Hauteur de sciage (mm)	Diamètre lame (mm)	épaisseur dent (mm)	épaisseur corps (mm)	Diamètre épaulement (mm)	Epaisseur épaulement (mm)	Nombre de dents (-)	Nombre de racleurs (-)	Avance minimum (m/min)	Avance maximum (m/min)
< 122	520	3,4	2,1	350	4,5	42	2+2+2	111	150
< 152	520	3,6	2,2	315	4,7	44	2+2+2	108	150
< 175	520	3,8	2,4	290	4,9	40	2+2+2	100	150
< 225	520	4	2,6	245	5,1	30	2+2+2	64	108

Tableau V-III : Proposition du 2^{ème} fournisseur de lame

Les lames du deuxième fournisseur fonctionnaient beaucoup mieux que celles du premier, qui chauffaient et se brisaient trop souvent. D'après l'avis des affûteurs, cela pouvait être dû soit à une voie plus importante et à une meilleure stabilité du corps de lame (tensionnage pour trois diamètres nodaux contre deux).

V.3.1.3. Travail et état de surface

Comme toutes les machines équipées de scies circulaires présentes dans l'entreprise, la MKV a l'arbre du dessus qui travaille en opposition (contre l'avance), et celle du dessous qui travaille en avalant (avec l'avance). Cela permet, d'après le constructeur de la machine, de répartir « les forces de sciage ». L'explication de cette théorie se trouve au paragraphe V.3.3.

Au niveau des états de surface, et quelque soit le type de lame utilisé, il a toujours été remarqué que les lames du bas produisaient un bien meilleur état de surface que celles du haut. Cette constatation est cependant le fruit de tests visio-tactiles, dont il est donc impossible de donner des valeurs chiffrées, mais qui fait l'unanimité au niveau du personnel.

V.3.1.4. Diminution de la voie

Comme on l'a vu au chapitre III.2.2.1, la voie des lames de scie circulaire dépend de leur diamètre ainsi que de la hauteur de bois à usiner. Or, toutes les lames dans la scierie avaient la même voie à mon arrivée dans l'entreprise, à savoir 0.7mm pour la MKV par exemple. La voie minimum avait été trouvée de manière empirique pour toutes ces lames, sans distinction de la hauteur à scier qui varie de 97 à 320mm.

J'ai donc essayé de diminuer la voie des lames qui avait la plus petite hauteur de bois à scier (122mm) en diminuant la valeur initiale lors de l'opération de rectification, et en

observant le sciage ainsi que l'état général de trois lames de chaque type lors de leur passage à l'atelier.

La marge d'affûtage qui était initialement de 0.15mm a pu être poussée à 0.25mm pour deux lames (pour la hauteur de sciage 122mm), mais la troisième a subi une détérioration qui n'a pas permis d'analyser si cela était due à la diminution de la voie. Pour les autres types de lames, il n'a pas été possible de diminuer davantage la voie, le sciage devenant sinueux lorsque la voie atteignait sa valeur minimum.

Cette différence par rapport à la bibliographie peut être expliquée par le sciage courbe, qui engendre de plus fortes contraintes latérales sur les lames que le sciage droit.

V.3.1.5. Machine CSMK

Sur la ligne canter présente dans l'entreprise, on compte deux machines CSMK. Ces dernières permettent de découper les produits latéraux (qui vont être expédiés vers les déligneuses). Elles travaillent aussi en double arbre, c'est-à-dire deux lames pour un trait de scie (Figure II-26). La distance entre les arbres est fixe, mais la machine entière peut se déplacer verticalement afin que le recouvrement entre les deux scies soit toujours au milieu de la pièce à scier. De fait, toutes les lames ont le même diamètre nominal, mais il est possible d'adapter les diamètres de moyeu afin de réduire les traits de scie.

A mon arrivée dans l'entreprise, deux types de lames étaient utilisés sur cette machine, le choix entre les deux modèles se faisait suivant la hauteur de coupe :

H <= 240 mm

Fabricant	AKE
Diamètre (mm)	648
Largeur dent (mm)	4.4
Épaisseur corps (mm)	2.8
Épaisseur moyeu (mm)	6.8
Diamètre moyeu (mm)	280
Z (nombre de dents)	52
Z' (Nombre de racleurs)	6
γ – Angle de coupe (°)	24
β – Angle de taillant (°)	54
α – Angle de dépouille (°)	12
Matériau dent	Carbure HC10
Vitesse de rotation (tr/min)	2500

Tableau V-IV : Caractéristiques lame CSMK 4.4

240 <= H <= 375 mm

Fabricant	AKE
Diamètre (mm)	648
Largeur dent (mm)	5.5
Épaisseur corps (mm)	3.6
Épaisseur moyeu (mm)	6.8
Diamètre moyeu (mm)	220
Z (nombre de dents)	24
Z' (Nombre de racleurs)	6
γ – Angle de coupe (°)	24
β – Angle de taillant (°)	54
α – Angle de dépouille (°)	12
Matériau dent	Carbure HC10
Vitesse de rotation (tr/min)	2500

Tableau V-V : Caractéristiques lame CSMK 5.5

Les changements de lames sur les machines CSMK sont plus fastidieux et plus long que sur la machine MKV, environ 12 minutes contre 4. Il n'est pas non plus nécessaire d'avoir impérativement la bonne lame puisque celles-ci n'interviennent pas dans la découpe des produits principaux. Le choix du type se fait donc en fonction des séries à venir en production, avec un changement décidé lorsqu'un défaut est constaté au niveau de la qualité du sciage, ou lorsque le temps de fonctionnement atteint 8 heures.

Au niveau des états de surface, les mêmes remarques pour ces machines que pour la déligneuse MKV peuvent être formulées au niveau des sens de rotations, ainsi que pour les états de surface.

V.3.2. Modification de l'existant

Les modifications présentées ci-après ont eu pour but d'améliorer les paramètres de rentabilité de la scierie, à savoir le rendement matière, la productivité et les états de surface. Concrètement, on améliore le rendement en utilisant des scies plus fines, la productivité en diminuant les aléas causés par ces outils et la qualité des surfaces réalisées en optimisant les conditions de coupe.

V.3.2.1. Mise ne place d'un troisième type de lame CSMK

Il est apparu nécessaire d'introduire dans la production une nouvelle lame, intermédiaire des autres au niveau de la hauteur de coupe. En effet, le diamètre moyen de billon utilisé par la scierie engendre une hauteur de coupe moyenne légèrement supérieure à celle de la lame la plus fine. La problématique fût de trouver le seuil au niveau de cette hauteur, qui permettrait d'obtenir le gain maximum.

Epaisseur trait de scie (mm)	Hauteur de bois (mm)
4.4	<240
x	240 < Hx
5.5	> Hx

Tableau V-VI : Problématique du choix d'une troisième hauteur de coupe

Les lames de CSMK ne sont pas changées à chaque série. La raison principale est que les changements prennent environ douze minutes chacun, ce qui diminue fortement la productivité de l'entreprise. On prévoit donc la lame en fonction du programme de sciage : cette dernière doit pouvoir scier dans toutes les hauteurs à venir.

En rapprochant le seuil de la nouvelle lame de 240mm, on aurait eu un gain en rendement matière important (épaisseur proche de 4.4mm), mais la lame n'aurait pas correspondu à beaucoup de séries, et aurait été utilisée relativement peu souvent.

Dans le cas contraire, en rapprochant le seuil de la nouvelle lame au maximum, c'est à dire 375mm, l'épaisseur du trait de scie se rapprocherait de 5.5mm, mais la lame serait utilisée fréquemment. La problématique fut donc de trouver le meilleur compromis entre rendement matière et productivité.

Tous les billons passant dans la ligne de sciage sont enregistrés par le PC de commande, et un outil de requête de statistiques permet de connaître toutes les caractéristiques des campagnes de production qui ont été réalisées pendant une certaine période, avec le cubage des billons, le nombre de mètres linéaires, de pièces, le rendement matière (Figure V-14).

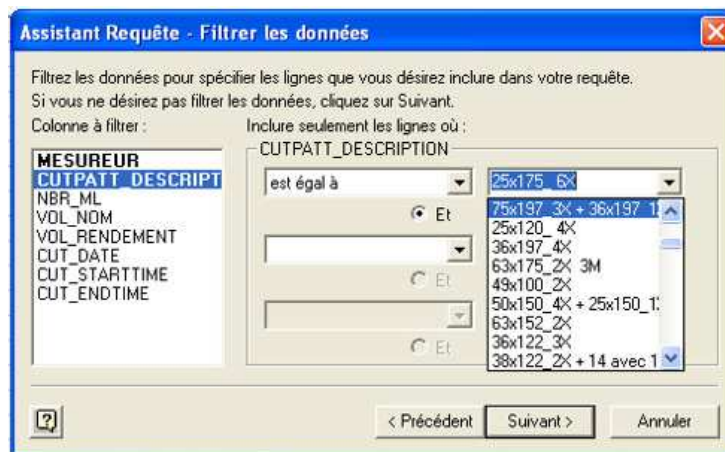


Figure V-14 : Aspect d'une requête de statistiques

Toutes ces données ont été regroupées par hauteur de sciage, par palier de 10mm. Ceci a permis de déterminer le taux de fréquence de chaque hauteur de sciage.

Hauteur de coupe (mm)	Fréquence d'utilisation	Fréquence cumulée	Hauteur de coupe (mm)	Fréquence d'utilisation	Fréquence cumulée
120-150	0,1%	0,1%	251-260	0,8%	64,1%
150-160	3,3%	3,4%	261-270	1,2%	65,3%
161-170	1,0%	4,4%	271-280	4,5%	69,8%
171-180	12,0%	16,4%	281-290	9,0%	78,8%
181-190	7,8%	24,3%	291-300	0,9%	79,7%
191-200	5,3%	29,6%	301-310	4,0%	83,7%
201-210	0,1%	29,6%	311-320	5,7%	89,5%
211-220	7,8%	37,5%	321-330	6,4%	95,9%
221-230	10,8%	48,2%	331-340	0,9%	96,8%
231-240	7,3%	55,5%	341-350	0,8%	97,5%
241-250	7,7%	63,3%	351-375	2,5%	100,0%

Tableau V-VII : Fréquences des hauteurs de sciage sur CSMK

En fixant plusieurs valeurs pour Hx, la proportion de bois scié avec les nouvelles lames va donc évoluer.

Afin de chiffrer le gain réalisé, j'ai travaillé de la façon suivante :

- La masse volumique apparente d'un mètre cube de plaquettes humides est de 300 kg/m^3 , celle d'un mètre cube de sciure est d'environ deux à trois fois cette valeur (qui dépend aussi de l'humidité). Nous avons pris comme facteur deux (minorant).
- Avec une lame de scie plus fine, une partie du volume de sciure passera en plaquettes. C'est uniquement sur ce phénomène que le gain financier engendré par la réduction de trait de scie a été estimé. Dans la pratique, des planches plus larges pourront être obtenues à la déligneuse, mais ceci est relativement difficile à estimer.
- Un MAP (Mètre Cube Apparent) de plaquettes se vend actuellement 20€ tandis qu'un MAP de sciure se vend 13€, et pour un volume de billons donné, il serait produit deux fois plus de plaquettes que de sciure sur l'optimisation.
- Le gain pour un mètre cube de matière optimisé, c'est-à-dire sur la réduction de trait de scie, sera donc de : $2 * 20 - 13 = 27\text{€}$.

Les possibilités peuvent se résumer par le graphique suivant (Figure V-15):

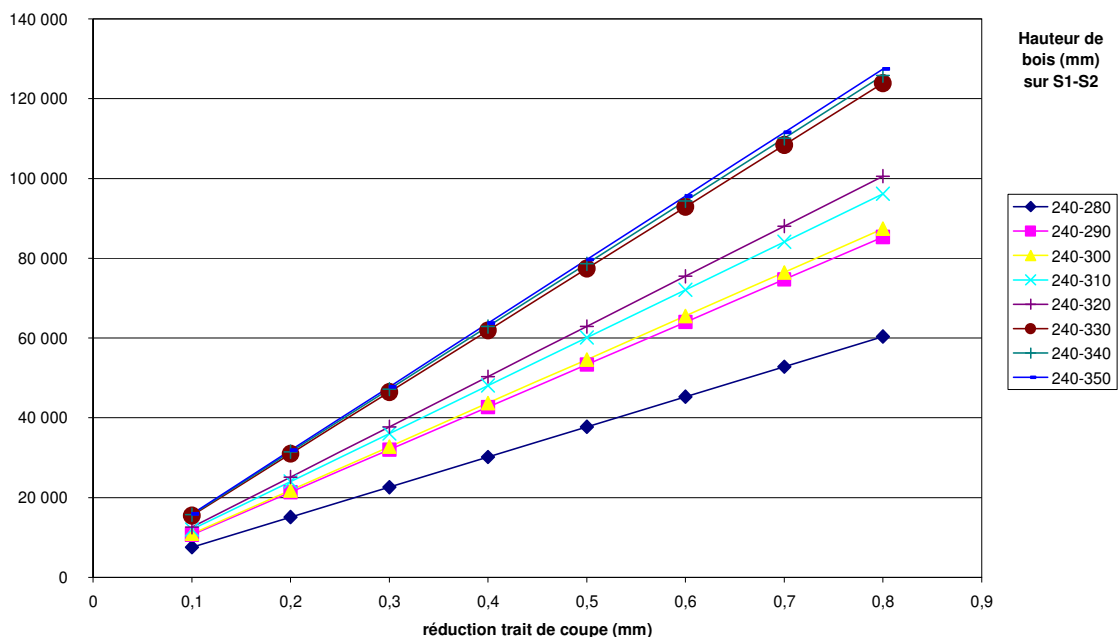


Figure V-15 : Gains estimés en fonction de la nouvelle lame

On remarque que les gains sont normalement proportionnels à la réduction du trait, mais qu'il existe « trois plages de valeurs » :

- Inférieur à 280 mm ;
- De 280 à 320 mm ;
- De 330 mm à supérieur.

C'est-à-dire que le gain est relativement faible entre une scie pouvant scier 290 mm et une autre 320 mm, les courbes étant rapprochées.

Après l'analyse des propositions de nos différents fournisseurs de lames, il s'est avéré que le gain le plus significatif en terme de trait de scie serait celui d'une lame acceptant des hauteurs de sciage jusqu'à 330mm, pour une largeur de coupe de 4.8mm. D'après le Figure V-15, cette lame serait utilisée pour la majorité des campagnes de sciage. Les caractéristiques de cette lame sont présentées dans le tableau suivant (Tableau V-VIII):

Fabricant	Felde
Diamètre (mm)	648
Largeur dent (mm)	4.8
Epaisseur corps (mm)	3
Epaisseur moyeu (mm)	6.8
Diamètre moyeu (mm)	265
Z (nombre de dents)	42
Z' (Nombre de racleurs)	6
γ – Angle de coupe (°)	25
β – Angle de taillant (°)	53
α – Angle de dépouille (°)	12
Matériau dent	Carbure HC10
Vitesse de rotation (tr/min)	2500

Tableau V-VIII : Caractéristiques du troisième type de lames

Ces lames devraient scier, en théorie, 45% du volume de bois passant dans la ligne Canter. Elles ont donc été testées dans deux schémas de sciage différents, sur la machine S2:

- **75x225 3x**, à une vitesse de 110 m/min, et une hauteur de sciage théorique de 327 mm, soit la plus grande hauteur de sciage possible.

Il a été scié 830m³ de billons, soit un linéaire de 8804 mètres. Une lame a été changée au cours de cette production, avec trois pastilles cassées. Les autres l'ont été à la fin de cette série, à cause d'une trop grande usure de l'arête de coupe. L'état de surface était bon.

- **75x200 3x**, à une vitesse de 130 m/min pour une hauteur de sciage de 306 mm, ce qui représente le plus grand produit (hauteur*vitesse), soit les conditions de coupe les plus difficiles.

Il a été scié 778 m³ de billons, soit un linéaire de 9193 mètres. Aucune lame n'a été changée, mais la qualité de sciage était moindre lors de la coupe des derniers billons. La encore, l'usure de l'arête de coupe était excessive. Avant cela, l'état de surface était aussi bon.

Comparé aux anciennes lames qui sciaient ces plans de débit, il n'a pas été remarqué de gain au niveau des états de surface ni à la tenue à l'usure des lames. Le seul gain obtenu est donc celui du rendement matière.

V.3.2.2. Méthode de réglage MKV

A mon arrivée dans l'entreprise, la méthode de réglage de la déligneuse MKV était la suivante (Figure V-16):

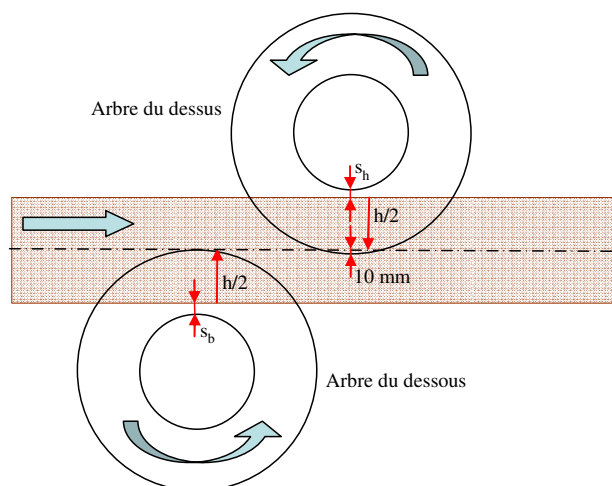


Figure V-16 : Méthode initiale de réglage de la MKV

La lame du bas est positionnée à la moitié de la hauteur de sciage, et celle du dessus est positionnée afin d'avoir un recouvrement (flèche permettant l'intégrité du sciage) d'environ 10mm. D'après ce principe, une marge de sécurité a été prévue par les fabricants de lames, afin que le moyeu n'entre pas en contact avec les lames (Tableau V-IX) :

Hauteur de sciage (mm)	Epaisseur trait de scie (mm)	Diamètre lame (mm)	Diamètre épaulement (mm)	sb (mm)	sh (mm)
< 122	3,4	520	350	24	14
< 152	3,6	520	315	26,5	16,5
< 175	3,8	520	290	27,5	17,5
< 225	4	520	250	22,5	12,5
< 305	4,7	570	230	17,5	7,5

Tableau V-IX : Marges de sécurité initiales des lames

Du fait du recouvrement assuré par la lame du haut, la marge de sécurité de cette dernière était bien inférieure à celle du bas. De plus, l'état de surface des lames du bas était très nettement supérieur à celui des lames du haut, quelque soit le type de lame ou la nature du bois.

Il a été décidé de modifier cette méthode de réglage, en imposant une sur-hauteur à la lame du bas. L'hypothèse était d'améliorer les états de surface des scies du haut en diminuant leur hauteur de coupe à scier, ceci se faisant au détriment des lames du bas. Pour connaître la valeur de la sur-hauteur à donner, nous avons cherché à équilibrer les efforts entre les lames du haut et du bas.

Pour calculer théoriquement cette sur-hauteur (celle-ci se nomme x dans l'Équation V-1 suivante), nous avons considéré que la surface du copeau était le produit de l'épaisseur moyenne (III.1.6) par celle de la longueur (III.1.8) :

$$f_{z_b} \sqrt{\frac{h+x}{D}} \times \text{ArcCos} \frac{R-(H+x)}{R} = \frac{f_{z_h}}{2} \times \left(\sqrt{\frac{2f}{R}} + \sqrt{\frac{2(f+h-x)}{R}} \right) \times \left(\text{ArcCos} \frac{R-(H-x+f)}{R} - \text{ArcCos} \frac{R-f}{R} \right)$$

Équation V-1 : Calcul de la sur-hauteur x

Nous n'avons pas considéré la même avance par dent de chaque côté de l'équation. En effet, l'arbre du haut tourne à 3100 tr/min alors que celui du bas tourne uniquement à 3050 tr/min d'après les données du constructeur. La sur-hauteur à donner n'est cependant pas influencée par cette différence, puisque cette dernière est fixe. Les seuls paramètres intervenant sont le diamètre de lame, la hauteur de sciage ainsi que la flèche, dont la valeur a été fixée à 10mm. Il semble possible de travailler avec une flèche inférieure, mais il en résulte de plus longs copeaux appelés communément « fils » qui posent problèmes quant à leur évacuation, car ils s'enchevêtrent et ne se fragmentent pas dans le creux de dent. En reprenant les valeurs du cahier des charges initial (Tableau V-I), on obtient :

Hauteur de sciage (mm)	Diamètre lame (mm)	épaisseur lame (mm)	Sur hauteur x (mm)
< 122	520	3,4	1,5
< 152	520	3,6	2
< 175	520	3,8	2,25
< 225	520	4	3
< 305	570	4,7	4

Tableau V-X : Sur hauteur x en fonction des plages de valeurs

La méthode de réglage manuelle de la machine réduit la précision de réglage au millimètre et les états de surface en haut étaient très mauvais dans les petits bois, la sur-hauteur ne semblant pas suffire pour équilibrer le travail des deux lames. Suite à divers tests

dans toutes les hauteurs de sciage, il a été décidé de fixer la valeur de x à 5 mm, comme indiqué sur la Figure V-17 :

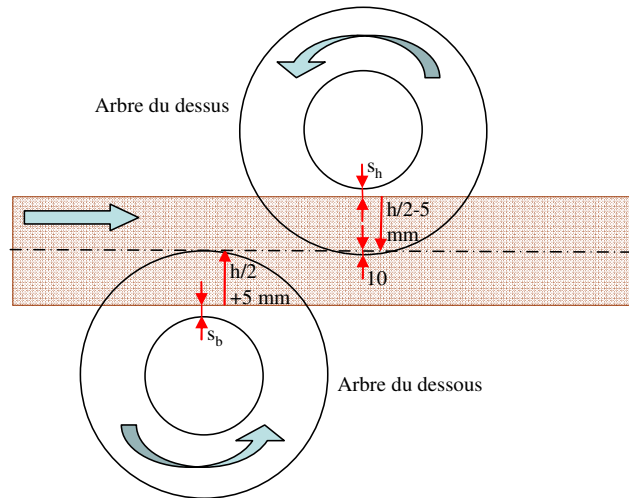


Figure V-17 : Méthode modifiée de réglage de la MKV

Cette méthode de réglage permet d'augmenter la marge sur la lame supérieure, au détriment de la lame inférieure, et d'harmoniser les valeurs (Tableau V-XI):

Hauteur de sciage (mm)	Diamètre lame (mm)	Diamètre épaulement (mm)	sb (mm)	sh (mm)
< 122	520	350	19	19
< 152	520	315	21,5	21,5
< 175	520	290	22,5	22,5
< 225	520	250	17,5	17,5
< 305	570	230	12,5	12,5

Tableau V-XI : Marge de sécurité avec la nouvelle méthode de réglage

Après cette harmonisation, il a été possible de modifier les hauteurs de sciage admissibles par chaque type de lame, ce qui induit, dans les plages de valeurs, une réduction du trait de scie (Tableau V-XII):

Epaisseur trait de scie (mm)	Hauteur de sciage initiale (mm)	Nouvelle hauteur de sciage (mm)	Diamètre lame (mm)	Diamètre épaulement (mm)	sb (mm)	sh (mm)
3,4	< 122	< 152	520	350	4	4
3,6	< 152	< 175	520	315	5	5
3,8	< 175	< 210	520	290	5	5
4	< 225	< 250	520	250	5	5
4,7	< 305	< 320	570	230	5	5

Tableau V-XII : Nouvelle attribution des lames

Les marges étant beaucoup plus faibles, une attention particulière des assistants de ligne montant les manchons de lame dans les machines doit être apportée. Cependant, une

économie de 0.2 à 0.7mm par trait de scie peut être effectuée. En se basant sur les statistiques de l'année 2007, cela représente un gain de 1300 m³ de billon. Ce calcul représente le linéaire effectué par chaque type de lame sur cette année, multiplié par la diminution de trait de scie.

V.3.2.3. Nouvelle lame MKV

Lors de la recherche de l'optimisation des hauteurs de sciage sur MKV, j'ai cherché à comprendre quels paramètres régissaient le diamètre des lames : ce dernier dépendait du fait que le réglage initial demandait à ce que les lames du bas et celles du haut aient la même prise de passe, tout en prenant en compte les possibilités de déplacement des deux manchons. Le fabricant de la machine donnait le tableau suivant pour les diamètres de lame en fonction de la hauteur de bois à scier :

Hauteur de coupe (mm)	Diamètre de scie (mm)
255	490
285	520
305	540
335	570

Tableau V-XIII : Diamètre de lame requis / hauteur de coupe

Une épure des déplacements des axes machine fournie par le fabricant a permis de définir le diamètre requis pour chaque hauteur de sciage de façon continue :

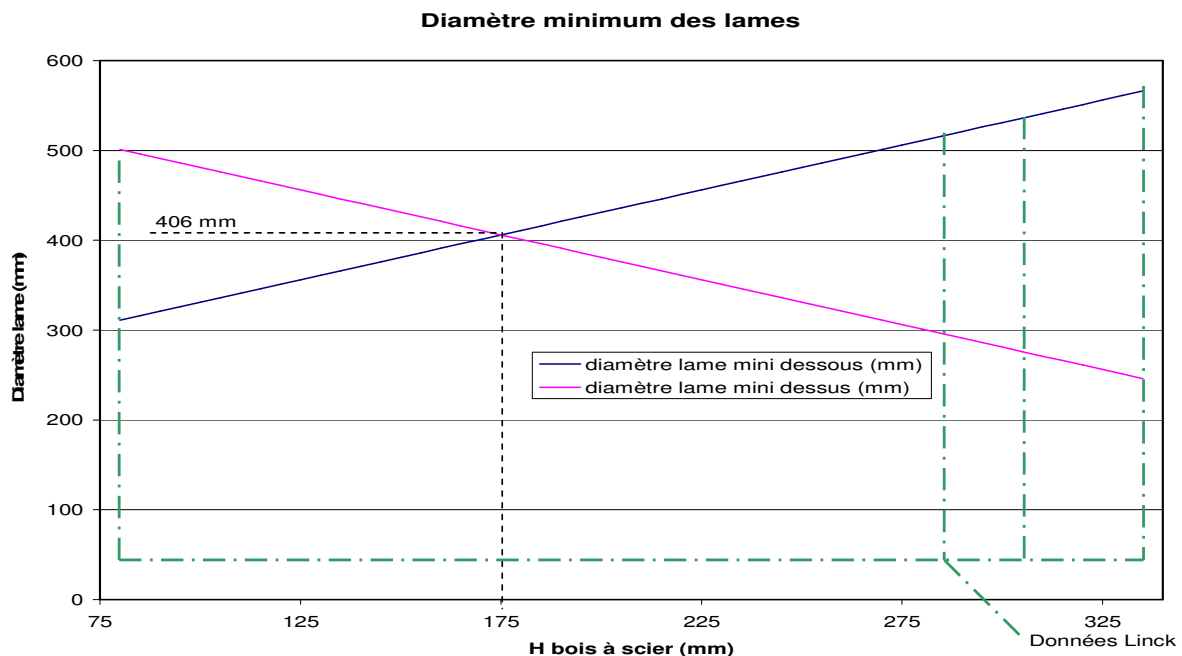


Figure V-18 : Graph des diamètres de lame requis

On retrouve sur le graphique précédent les données du Tableau V-XIII. On remarque que le manchon du haut est le point limitant pour le sciage de petits bois (h=255mm), et que

le manchon du bas l'est pour tous les autres ($h=285, 305$ et 335mm). On remarque aussi que les deux droites se croisent pour un diamètre de lame de 406mm à une hauteur de coupe de 175mm . C'est-à-dire qu'avec des lames de ce diamètre, on peut s'affranchir de l'opération de réglage des axes : il suffit de mettre le manchon du bas à son point le plus haut, et le manchon du haut à son point le plus bas afin de garantir le sciage. Ceci a été vérifié par le traçage des lames en situation dans la machine, dans la situation actuelle (Figure V-19) et avec les nouvelles lames (Figure V-20) :

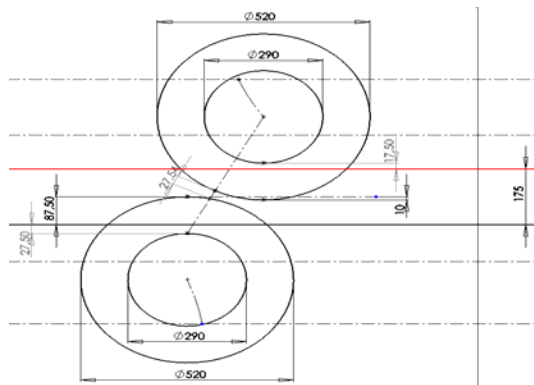


Figure V-19 : Sciage $h=175\text{mm}$, $d=520\text{mm}$

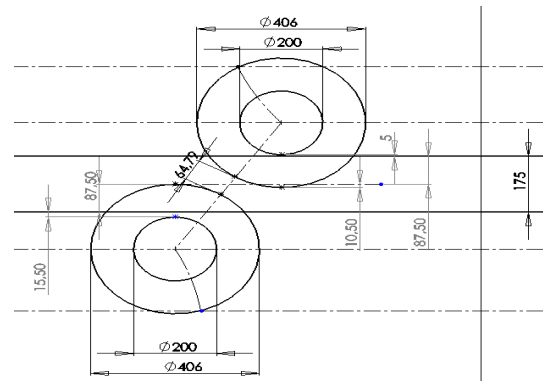


Figure V-20 : Sciage $h=175\text{mm}$, $d=406\text{mm}$

Des lames ont donc été réalisées en partenariat avec la société Wijag. Cette dernière proposait un tait de scie de 3.4mm . D'après le Tableau V-III, le gain serait de 0.4mm par lame pour des hauteurs de coupe allant de 152 à 175mm , et de 0.2mm pour des lames allant de 122 à 152mm .

Tous les autres paramètres influencés par le diamètre de lame ont été vérifiés : la vitesse de coupe demeurerait suffisante, mais la nécessité de garder un nombre de dents important (en correspondance avec les vitesses d'avance de la scierie), et un profil de denture correct (voir III.2.5) permettant de loger tout le copeau a imposé un compromis : ces lames ne peuvent scier à une vitesse d'avance supérieure à 110 m/min . D'après les statistiques de l'année 2007, cela représente une économie de matière de 230 m^3 de billons, mais le gain le plus important se situe au niveau de gain de productivité puisque l'économie du temps de réglage (environ une minute par changements de lames) permettrait de gagner plus de 4 heures de sciage par année.

V.3.3. Inversion des sens de rotation

Etant donné que les lames travaillant en opposition produisaient toujours un état de surface meilleur que celles travaillant en avalant dans la pratique (bien que cela soit contraire à la théorie (III.3.1.4)), nous nous sommes interrogés sur la possibilité de modifier les sens de rotation au sein de la scierie.

L'explication au niveau des états de surface est qu'un désaxage latéral est souvent observé entre le trait de scie du bas et celui du haut : si les lames du haut travaillaient en opposition, elles seraient en quelque sorte guidées par la rainure réalisée par les lames du bas. Alors que dans le cas présent, la scie du haut attaque le bois dans la position donnée par l'ensemble axe+flasques, mais tend à sortir dans la rainure de la scie du bas. Les deux positions ne pouvant être parfaitement alignées, des contraintes sont induites dans la lame, ce qui peut expliquer le mauvais état de surface.

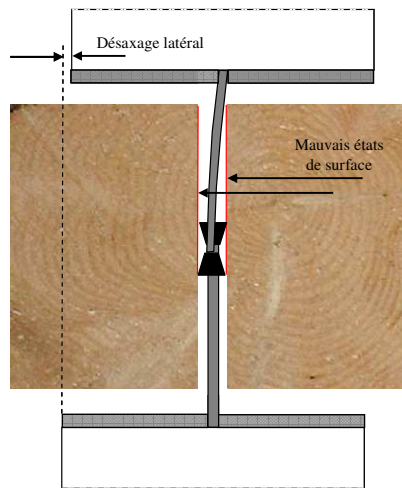


Figure V-21 : Effets du désaxage latéral sur les lames

Il semble donc que le mode de travail en opposition soit celui qu'il faille retenir, puisqu'il donne un bon état de surface pour les scies du bas, et parce qu'il pourrait permettre un guidage pour les scies du haut qui améliorerait leur travail. Cependant, la principale vérification devant être faite pour ce changement de rotation est l'orientation des efforts de coupe (Figure V-22).

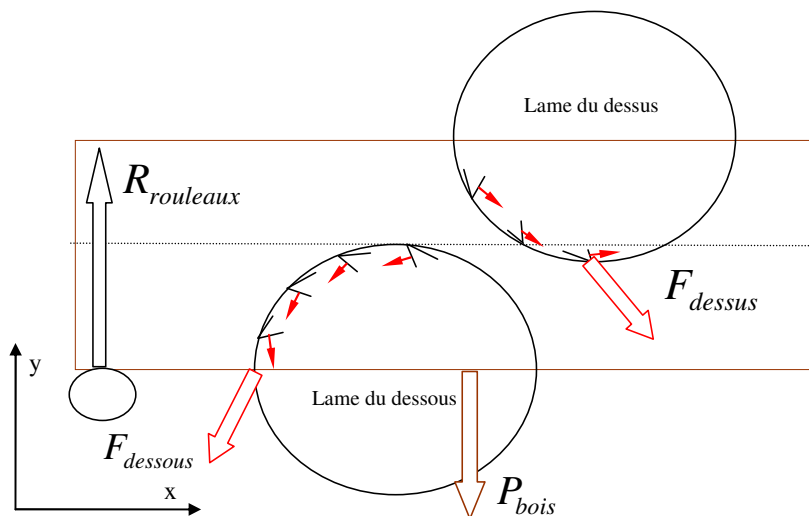


Figure V-22VI-4 : Forces appliquées lors du sciage

Ces efforts ont été étudiés d'un point de vue statique. Dans le référentiel qui a été mis en place, l'analyse de l'orientation des efforts (si on les considère perpendiculaires à la face de coupe) revient à calculer l'angle de levage de fibre par rapport à chaque dent, en utilisant les formules du chapitre III.3.2. La valeur de l'effort a été estimée en utilisant les formules récapitulées dans la thèse de Eyma [58]. Dans chaque cas de figure, nous avons toujours considéré le cas extrême pour les efforts, c'est-à-dire le moment où il y avait un nombre le plus important de dents en prise dans la matière. Ceci a permis de caractériser les forces globales d'action des lames sur le bois F_{dessus} et F_{dessous} . Le poids du bois, P_{bois} , a été intégré aux calculs ainsi que la réaction des rouleaux, R_{rouleaux} (Équation V-2):

$$F_{\text{avance}} + F_{\text{dessous}} + F_{\text{dessus}} + P_{\text{bois}} + R_{\text{rouleaux}} = 0$$

Équation V-2 : Forces de l'opération de sciage

Cette équation peut se décomposer suivant les deux axes, à savoir :

$$F_{\text{avance}} + Fx_{\text{dessous}} + Fx_{\text{dessus}} = 0$$

Équation V-3: Projection suivant x des forces de sciage

$$Fy_{\text{dessous}} + Fy_{\text{dessus}} + P_{\text{bois}} + R_{\text{rouleaux}} = 0$$

Équation V-4 : Projection suivant y des forces de sciage

Dans cette dernière équation, le sens de la réaction des rouleaux permet de prédire si le bois va être plaqué sur les rouleaux d'aménagement, ou si celui-ci va être « soulevé » par les outils.

Le tableau suivant (Tableau V-XIV) représente de façon schématique quels peuvent être les problèmes suivant les quatre cas possibles de rotation.

	Lames haut	Lames bas	plaquage du bois	Résistance à l'avance
1	Avalant	Opposition	+	0
2	Avalant	Avalant	0	-
3	Opposition	Opposition	0	+
4	Opposition	Avalant	-	0

0 = effet nul
 - = effet négatif
 + = effet positif

Tableau V-XIV : Effet des inversions de sens de rotation

En rappelant que l'on cherchait à faire travailler la lame du haut en opposition, on pouvait se retrouver dans le cas où l'on augmentait la résistance à l'avance du bois dans le cas n°3, ou alors risquer de soulever le bois dans le cas n°4.

V.3.3.1. Scies CSMK

Pour ces deux machines, l'inversion des efforts ne pose pas de problèmes quant au plaquage du bois : la largeur de la section à débiter est importante (et donc le poids important)

par rapport aux efforts engendrés par deux traits de scie. La résistance à l'avance est par contre augmentée en ayant deux scies en opposition. Sur la machine S1, où l'on ne dispose que de deux surfaces usinées, et donc de peu de surfaces d'appui, les bois bloquent dans la machine, ce qui perturbe la productivité puisqu'il faut les dégager.

Sur S2, les billons sont déjà équarris, et il y a plus de surfaces d'appui, qui permettent donc un meilleur entrainement des noyaux. Le sens de rotation des scies a donc pu être inversé avec succès, et l'état de surface des produits obtenus a été fortement amélioré.

V.3.3.2. Scies MKV

Dans cette machine, le calcul des efforts globaux de coupe est difficilement prévisible. Suivant les schémas de sciage, la réaction des rouleaux horizontaux d'entrainement n'est pas du tout la même : cela va dépendre du nombre de scies par rapport au poids du bois, c'est à dire que cela va dépendre de l'épaisseur des produits. Aussi, plus la hauteur de sciage est importante, et plus la largeur des scies (proportionnelle aux efforts) l'est aussi.

Un autre problème est que les lames sont montées sur manchon, et que le calage (notamment au niveau de la cale de centrage, Figure V-23) est influencé par l'épaisseur des moyeux des lames. Il a donc été décidé pour les essais d'inverser les deux sens de rotation (en haut et en bas). De ce fait, les deux cales de centrage ont été modifiées de la même façon (Figure V-23).

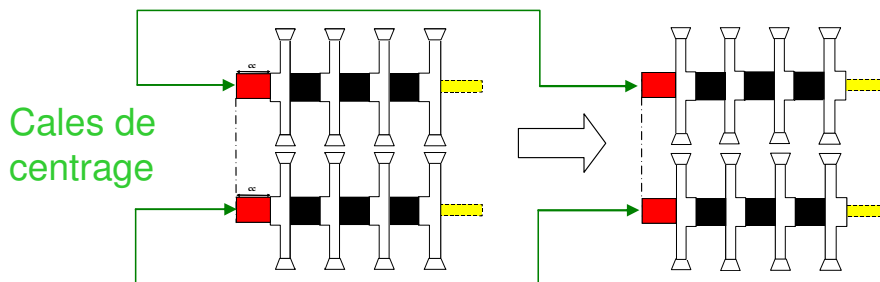


Figure V-23 : Inversion des sens de rotation sur MKV

L'état de surface s'est beaucoup amélioré sur les scies du haut, et a été légèrement dégradé sur les scies du bas. On peut en conclure que le guidage des scies, tout comme le sens de rotation (en opposition) sont des éléments significatifs de la qualité du travail des scies circulaires.

Une feuille de calcul réalisée sous Excel[®] a été réalisée pour prédire, d'après les schémas, si le bois allait encore être plaqué sur les rouleaux ou soulevé par les scies. J'ai considéré dans ces calculs que la force appliquée par chaque dent sur le bois était perpendiculaire à la face de coupe. Dans le cas où le bois est soulevé par les lames, on peut

constater un bris du matériau, ou alors un frottement contre les moyeux des scies du haut qui engendre à terme une rupture de ces dernières. Deux schémas de sciage sont présentés dans le tableau ci-après. Une force positive indique que le bois est bien tenu par la machine, une force négative le fait que le bois sera soulevé lors du sciage.

Schéma	Force initiale (N)	Force après Modification (N)
18x100 5x	922	-851
100x300 3x	3869	2658

Tableau V-XV : Exemple d'estimations de forces vis à vis du sens de rotation

Par exemple, un petit bois dans lequel on fait beaucoup de traits de scie aura tendance à se soulever, alors qu'un bois de dimensions plus imposantes ne le sera pas.

V.3.3.3. Propositions de travail

La solution d'inversion des sens de rotation est une solution pour améliorer les états de surface, mais cela pose problème quant à la préparation des machines et des manchons de lames. Tout d'abord, il aurait fallu inverser uniquement le sens de rotation de l'arbre du dessus, et placer des cales qui auraient compensé les épaisseurs des moyeux au niveau des cales de centrage.

Une autre solution aurait été de placer des contacteurs électriques qui permettraient d'inverser facilement les sens de rotation des deux arbres. En effet, l'inversion demande une intervention de dix minutes environ pour inverser les bornes des moteurs électriques. Sans cette opération, tous les schémas de sciage pourraient être revus suivant les sens de rotation les plus favorables. Cela demanderait par contre plus de rigueur au niveau:

- De la préparation des manchons (mise en place des lames, calcul des cales de centrage);
- Du choix des sens de rotation.

Toute erreur de ces deux paramètres entraînerait un bris d'outil, et donc une perte de productivité lourde.

V.3.4. Nouvelles lames

V.3.4.1. Cahier des charges fonctionnel

Plusieurs nouveaux types de lames ont été mis en place durant les trois années. Un cahier des charges techniques a été mis en place afin de donner tous les renseignements du

premier coup aux différents fabricants. Ce cahier peut se résumer par les deux tableaux suivants (Tableau V-XVI et Tableau V-XVII):

Caractéristique	Valeur
Diamètre initial lame (mm)	
Diamètre flasque (mm)	
Diamètre de l'axe (mm)	
Distance axe de scie/table du bois (mm)	
Vitesse de rotation (tr/min)	
Humidité du bois (% sur sec)	

Tableau V-XVI : Cahier des charges machines

		Vitesse d'avance (m/min)		
		Mini	Moyen	Maxi
Hauteur de bois à scier (mm)	Mini			
	Moyen			
	Maxi			

Tableau V-XVII : Cahier des charges matière

A ce tableau, les fournisseurs répondaient de différentes manières (plan, texte), mais toutes les offres pouvaient être résumées dans le tableau suivant (Tableau V-XVIII):

Caractéristique	Valeur
Diamètre (mm)	
Largeur dent (mm)	
Epaisseur corps (mm)	
Epaisseur moyeu (mm)	
Diamètre moyeu (mm)	
Z (nombre de dents)	
Nombre de racleurs	
Angle de coupe (°)	
Angle de taillant (°)	
Angle de dépouille (°)	
Matériau dent	

Tableau V-XVIII : Résumé d'une offre de prix

V.3.4.2. Exemple de modification

Des lames présentes sur une machine ont été modifiées au pré-débit de la raboterie, c'est-à-dire l'atelier qui déligne des plots de bois sec, avant le passage de ces bois dans les moulurières.

Outre le trait de scie, élément important dans le rendement matière, il était important que les prédébites aient un état de surface le plus correct possible, afin d'avoir de bonnes références dans les moulurières, et donc enlever moins de matière pour les opérations de calibrage.

Le cahier des charges a été envoyé aux différents fabricants. Les tableaux suivants présentent les caractéristiques des anciennes lames ainsi que de celles retenues, avec les caractéristiques géométriques imposées aux fabricants :

Caractéristique	Valeur
Diamètre (mm)	450
Largeur dent (mm)	4
Épaisseur corps (mm)	2,8
Épaisseur moyeu (mm)	-
Diamètre moyeu (mm)	-
Z (nombre de dents)	28
Nombre de racleurs	6
Angle de coupe (°)	24
Angle de taillant (°)	54
Angle de dépouille (°)	12
Matériau dent	HC10

Tableau V-XIX : Caractéristiques des anciennes lames

Caractéristique	Valeur
Diamètre (mm)	430
Largeur dent (mm)	3,2
Épaisseur corps (mm)	2,2
Épaisseur moyeu (mm)	3,2
Diamètre moyeu (mm)	250
Z (nombre de dents)	32
Nombre de racleurs	6
Angle de coupe (°)	20
Angle de taillant (°)	58
Angle de dépouille (°)	12
Matériau dent	HC20

Tableau V-XX : Caractéristiques des nouvelles lames

Ces modifications ont entraîné celles des conditions de coupe :

Vitesse rotation	3000 tr/min
Vitesse avance	36 m/min
Hauteur sciée	42 mm
Flèche	20 mm
Avance par dent	0,43 mm
Z dans la matière	1,5 [-]

Vitesse rotation	3000 tr/min
Vitesse avance	36 m/min
Hauteur sciée	42 mm
Flèche	10 mm
Avance par dent	0,38 mm
Z dans la matière	2,1 [-]

Tableau V-XXIV-VI-XVII : Modifications des conditions de coupe des lames de pré-débit

La hauteur des lames étant fixe par rapport à la table d'aménagement du bois, la diminution de 20mm du diamètre a entraîné une diminution de 10 mm de la flèche ;

Pour une hauteur de sciage majoritaire de 42mm, le nombre de dents dans la matière est passé de 1.5 à 2.1.

L'avance par dent a sensiblement diminué, passant de 0.43 à 0.38mm.

Pour juger de l'amélioration de l'état de surface, le test couramment utilisé en industrie est le test visio-tactile, c'est-à-dire en regardant et touchant les pièces de bois. Ce test, bien que pouvant être jugé de subjectif, permet de constater uniquement des améliorations significatives. Pour l'exemple présenté ici, des photos ont été prises afin de montrer le gain apporté (Figure V-24 et Figure V-25):



Figure V-24VI-24 : Etat de surface des pré-débites avec l'ancienne lame



Figure V-25VI-25 : Etat de surface des pré-débites avec la nouvelle lame

L'état de surface très moyen obtenu avec les premières lames était probablement dû à des vibrations que l'on pouvait ressentir à côté de la machine, c'est pourquoi la flèche a été diminuée et le nombre de dents augmenté afin d'obtenir un nombre de dents en prise dans la matière supérieur à 2.

L'utilisation faite par l'entreprise de la machine étant en deçà de sa capacité au niveau de la hauteur de sciage, il a été possible de mettre un moyeu sur les lames afin de diminuer le trait de scie (de 0,8mm).

Des modifications similaires ont été réalisées sur les deux machines de refente de l'entreprise, avec un gain de 0.2mm de trait de scie, et un état de surface amélioré.

V.3.5. Conclusions

Beaucoup de tests de lames ont été réalisés pendant ma période passée au sein de l'atelier. Les buts recherchés par ces essais pouvaient être différents :

- Diminution du trait de scie, et amélioration de la fiabilité pour les lames de la ligne canter ;
- Optimisation de la qualité de l'état de surface pour les lames de déligneuse et les lames de tronçonnage des parcs à grumes ;
- Diminution du bruit pour les lames de trimmer...

J'ai constaté qu'il n'était pas possible de bien définir une lame sans donner un cahier des charges très précis aux fabricants de lames. Leurs réponses devaient ensuite être analysées afin de vérifier qu'elles seraient en adéquation avec les contraintes de l'entreprise (montage sur machine, entretien au sein de l'atelier). Si des résultats probants ont été obtenus, d'autres modifications souhaitées se sont avérées très difficiles à réaliser, même après plusieurs essais. La recherche de l'outil optimal doit donc être un travail quotidien, et passe par une communication entre les scieurs, utilisateurs des outils qui maîtrisent l'environnement dans lequel ces derniers évoluent, et les affûteurs qui constatent les éventuelles dégradations et peuvent apporter les modifications nécessaires sur les lames existantes.

V.4. Les modifications angulaires : Interaction matériau de coupe - angle de coupe

Dans cette partie, nous avons voulu étudier la possibilité de diminuer les efforts appliqués aux lames de scie, en modifiant les caractéristiques angulaires des dents. La problématique de cette modification était de trouver un matériau l'acceptant.

V.4.1. Les différentes phases de la vie d'un outil

La vie d'un outil se caractérise par trois grandes phases (Figure V-26) :

- Le rodage (1) : cette phase est encore méconnue et pratiquement non prise en compte par les industriels. D'après une les thèses de Aguilera [59] et de Eyma [58], il faut entre 500 et 800 mètres d'usinage pour un bon rodage de l'outil dans du bois. À travers nos essais, nous essayerons de visualiser cet effet car cette phase demande plus de puissance que la phase 2.
- L'usure linéaire (2) : durant cette phase, l'arête de coupe s'use de manière linéaire. Le couple augmente faiblement et linéairement.
- Dégradation de l'arête de coupe (3) : Lors de cette phase, la dégradation rapide de l'arête de coupe engendre une brusque montée du couple.

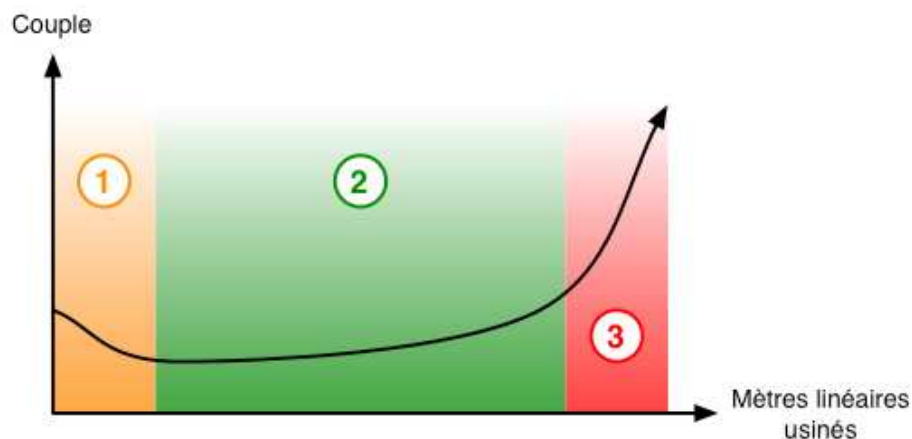


Figure V-26 : Les différentes phases de la vie d'un outil

Dans la première et la dernière phase, il y a une mauvaise qualité de l'usinage, c'est pour cela que, dans l'idéal, les outils devraient être rodés aussi bien pour un problème de puissance que pour un problème de qualité d'usinage. Cette opération n'est pas réalisée au sein de l'entreprise. Par contre, il est rare que les outils atteignent la zone 3, du fait des changements fréquents d'outils.

V.4.2. Problématique de l'étude

D'après la recherche bibliographique et les pratiques de l'entreprise, plusieurs remarques peuvent être énumérées :

- L'angle de coupe donné aux scies circulaires n'est pas celui préconisé par la bibliographie (III.2.1.3) ;
- Vu l'état de certaines pastilles, il semble que le carbure utilisé ne soit pas assez tenace, ce qui explique les dents ébréchées ;
- Les outils n'atteignent que très rarement une usure nécessitant un changement d'outil.

A partir de ces remarques, nous avons formulé plusieurs hypothèses :

- L'emploi d'un matériau de coupe plus tenace permettrait d'augmenter l'angle de coupe des lames de scie, vers des valeurs plus proches de la bibliographie ;
- Cette augmentation permettrait de diminuer les efforts sur les dents (III.3.5) ;
- Cette diminution des efforts engendrerait une diminution de l'usure par abrasion sur chaque dent, ainsi qu'un sciage plus droit par la diminution des efforts globaux sur le corps de lame.

Afin de contrôler ces hypothèses, nous avons mené une étude sur l'usure de différents carbures, en fonction de paramètres de coupe, avec une mesure des efforts. Dans le cadre d'un projet de 3^{ème} année ENSTIB, avec la collaboration de N. Eminent et G. Cozian, nous avons mené cette étude afin de mieux comprendre ces interactions.

V.4.3. Présentation de l'étude et des paramètres

Pour mener à bien cette étude, nous avons décidé de prendre en compte trois paramètres importants influant sur l'usure des lames de scies circulaires : le matériau de coupe, l'angle de coupe et l'avance par dent, le but étant de faire ressortir une tendance associant ces trois paramètres. Nous nous sommes placés dans une perspective industrielle, c'est-à-dire en testant des matériaux économiquement viables, c'est-à-dire existant déjà sur le marché, afin que l'industriel puisse s'approvisionner facilement à un coût raisonnable.

Afin de mener à bien nos essais, nous avons eu recours à la machine de test TEEMO (Test d'Etude et d'Endommagement des Matériaux d'Outils) développée par GAUVENT au cours de sa thèse [51] et à des lames de scies fabriquées par la société RBD ONCI JAGUAR

avec des carbures du fabricant CERATIZIT. Enfin, le bois provenait de paquets standards de la scierie SIAT-BRAUN.

Pour étudier l'usure des lames, nous avons passé plusieurs kilomètres de bois sur chacune d'entre elles à l'aide de la machine de test TEEMO.

V.4.4. Le plan d'expérience

Pour tester nos lames, nous avons décidé d'utiliser une table TAGUCHI pour réduire au maximum le nombre de nos essais car, comme nous le verrons par la suite, un temps très important est nécessaire à la réalisation de chaque test. Nous avons développé notre plan d'expérience et les mesures que nous souhaitions effectuer afin de bien poser les bases des essais.

L'objectif à atteindre était de faire ressortir une tendance parmi les différents paramètres testés afin de répondre à la problématique de l'entreprise SIAT-BRAUN. Le but était d'augmenter le temps d'usinage entre deux affûtages consécutifs, tout en augmentant l'angle de coupe des lames.

Nous avons simplifié le diagramme cause-effet de l'usure (Figure IV-8) pour en faire ressortir les éléments qui influencent le plus l'usure de l'arête de coupe afin de visualiser les paramètres que nous pouvions faire varier. Ce ne sont pas les seuls éléments, mais nous avons effectué un premier tri afin de ne garder que les plus significatifs. Il existe beaucoup d'autres paramètres, mais qui sont beaucoup plus difficiles à considérer et à quantifier. Ceci a donné le diagramme suivant :

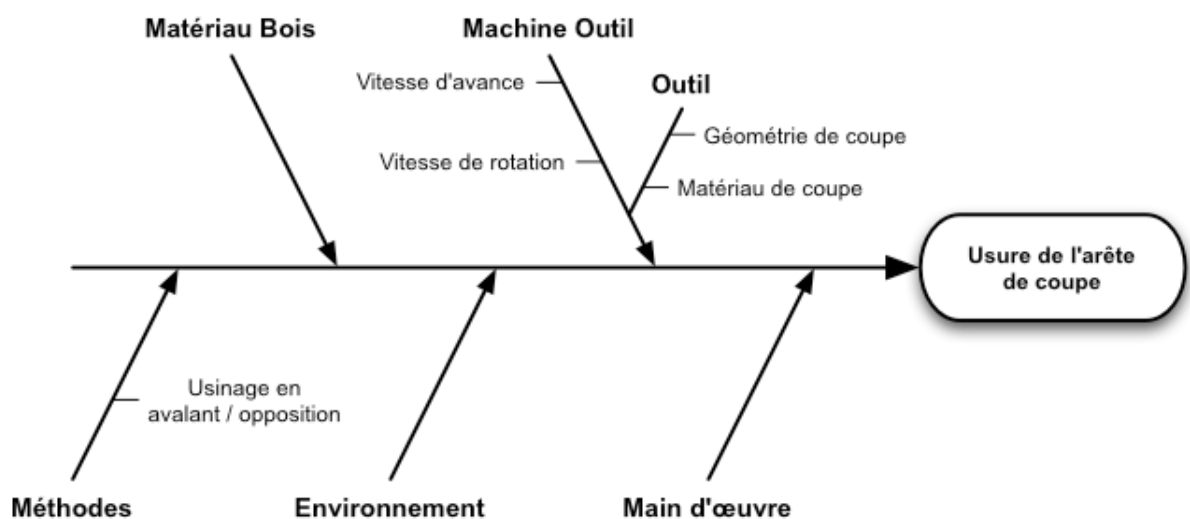


Figure V-27 : Diagramme Cause/Effet simplifié

Dans ce nouveau diagramme Causes/Effet simplifié (Figure V-27), nous n'avons gardé que les variables sur lesquelles nous avons de l'influence, c'est-à-dire celles que l'on peut faire varier et surtout quantifier de manière simple.

- Matériau de coupe : La composition chimique et les caractéristiques physiques du matériau de coupe influencent la rapidité de l'usure de coupe [16];
- Géométrie de coupe : La géométrie de coupe va de pair avec le matériau de coupe, les angles optimum ne seront pas les mêmes suivant celui-ci (III.2.1.1);
- La vitesse d'avance et de rotation : Ces deux vitesses agissent sur l'épaisseur moyenne du copeau, la formation du copeau ... Elles ont donc une grande influence sur l'usure du matériau (III.1.4).

V.4.4.1. Choix des matériaux

Parmi toutes les grandes familles de matériaux, nous nous sommes vite orientés, grâce à la bibliographie de Gauvent [51], vers deux de celles-ci : les carbures de tungstène et les aciers rapides.

Les aciers rapides sont très difficiles à trouver sous forme de plaquettes pour les lames de scies circulaires. Nous avons donc décidé de nous concentrer uniquement sur trois nuances de carbures de tungstène différentes.

Pour les choisir, nous nous sommes penchés sur le catalogue de notre partenaire CERATIZIT afin de voir ce qu'il préconisait pour notre application. Nous avons alors décidé de prendre les deux nuances de carbure préconisées dans leur catalogue, le GC32 et le MG18, ainsi qu'une troisième nuance, le HC10, qui n'est autre que celle utilisée actuellement dans la scierie SIAT-BRAUN. Il était intéressant de mener cette étude comparativement au carbure actuel, afin de posséder une référence déjà éprouvée.

Le classement des carbures est principalement basé sur le retour d'expérience des différentes utilisations en scierie, mais sans réelle quantification des performances. C'est pour cela que nous avons choisi les carbures précédemment cités afin d'essayer de quantifier de façon plus formelle les choses.

Le tableau ci-dessous (Tableau V-XXI-VI-XII) récapitule brièvement les caractéristiques des carbures de tungstène retenus.

Nuance	Grain	Code ISO	Code USA	Liant	Densité	Dureté			Résistance à la rupture	
				(%)	(g/cm ³)	HV10	HV30	HRA	MPA	P.S.I
HC10	F	K10	C3	5,6	15	1680	1660	92,3	3700	537
MG18	S	K20	C2	10	14,45	1760	1730	92,7	2300	334
GC32	C	>K40	-	10	14,55	1170	1160	88	3000	435

Tableau V-XXIIVI-XIII : Caractéristiques des trois carbures sélectionnés

Le grain est une caractéristique importante pour le choix d'un carbure, et fait varier son aspect microscopique comme le montre la Figure V-28, où l'on peut voir en gris les grains de carbure, et en blanc le métal liant.

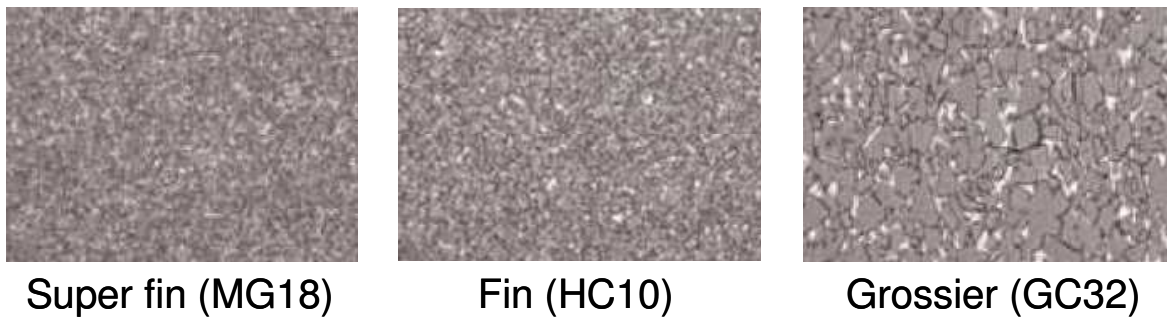


Figure V-28VI-7 : Vues microscopiques des carbures

Le HC10 est un carbure avec un grain fin, ce qui permet lorsque qu'un grain se détache de l'arête de coupe, de ne pas générer de grosse brèche sur cette arête. Cependant, il possède très peu de liant, ce qui peut poser problème lorsque celui-ci commencera à être attaqué. Enfin, il est relativement dur, il donnera donc un état de surface plutôt bon, mais sera sensible aux chocs.

Le MG18 a des grains de très faible taille (en dessous du micron) et contient environ deux fois plus de liant que le HC10. Il sera théoriquement plus tenace et devrait résister donc mieux aux chocs.

Le GC32 à de gros grains, ce qui peut poser des problèmes car quand un grain se déchausse, il se forme tout de suite un défaut de surface sur le carbure. Il est cependant recommandé pour une application en scierie.

Les comparaisons des différentes caractéristiques physiques sont présentées dans la Figure V-29, dans la laquelle la dureté correspond à la résistance à l'abrasion, et la limite de rupture transversale et la ténacité à la rupture, la ténacité.

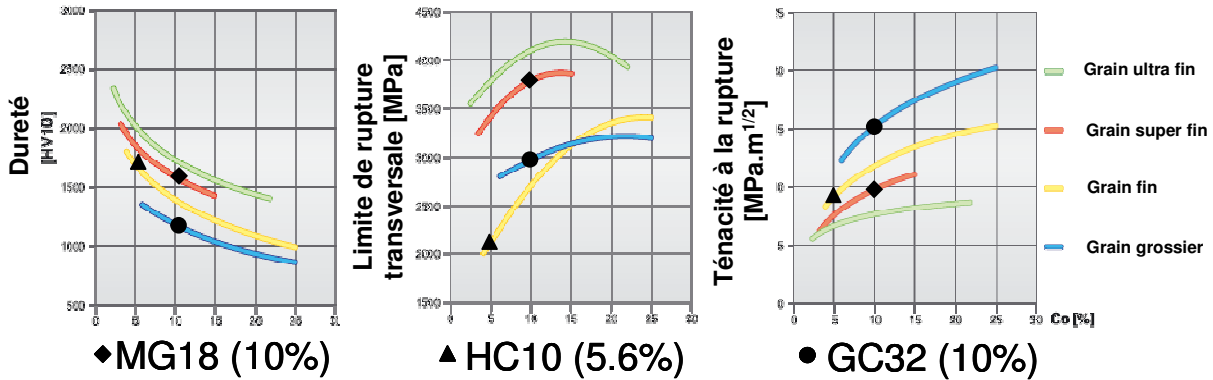


Figure V-29 : Caractéristiques des différents carbures

Le MG18 et le HC10 ont une dureté et une ténacité à la rupture équivalentes mais diffèrent grandement au niveau de la limite de rupture transversale. Pour cette caractéristique, le GC32 se trouve être la moyenne des autres carbures, et se trouve en deçà de leur valeur pour la dureté et au dessus pour la ténacité.

V.4.4.2. Les variables et leurs modalités

Afin d'éviter de réaliser tous les tests, nous nous sommes appuyés sur une table TAGUCHI, et nous avons désigné les trois variables qui nous semblaient les plus appropriées : l'avance par dent, le matériau et l'angle de coupe ainsi que trois modalités pour chacun de ces paramètres. Les modalités pour le carbure étant déjà présentées, voici celles des deux autres paramètres :

- Trois angles de coupe : 20, 25 et 30° ;
- Trois avances par dents : 0,5, 1 et 1,5 mm/dent

Les angles de coupe ont été choisis afin de correspondre à la situation actuelle et celle souhaitée, tout en ayant des différences significatives. Il en est de même pour les avances par dent, qui englobent les valeurs prescrites par la bibliographie.

Au niveau du sens de travail, il a été décidé d'utiliser le travail en opposition, puisque c'est celui qui fournit le meilleur état de surface, ce qui est la cible pour tous les outils pouvant travailler dans ce mode.

Puisque nous avons choisis d'étudier trois paramètres avec trois valeurs, il nous a été nécessaire d'utiliser une table TAGUCHI L9(3³), présentée ci (Tableau V-XXIII):

Lame n°	Matériau	Angle de coupe (°)	Avance par dent (mm)	Interaction
1	HC10	25	1	1
2	HC10	30	1,5	2
3	HC10	20	0,5	3
4	MG18	25	1,5	3
5	MG18	30	0,5	1
6	MG18	20	1	2
7	GC32	25	0,5	2
8	GC32	30	1	3
9	GC32	20	1,5	1

Tableau V-XXIII-VI-XIV : Table TAGUCHI utilisée

De plus, dans ces essais, nous avons monté toutes les lames possédant le même nombre de dents sur la machine en même temps. Ceci a permis de réduire le nombre d'essais de 9 à 3.

V.4.5. Mise en place des expériences

V.4.5.1. Obtention des différents matériels pour les essais

CERATIZIT a fourni les différentes nuances de carbures pour les lames de scies circulaires. RBD ONCI JAGUAR a fabriqué les lames spécifiques (géométrie un peu atypiques : 4, 6 et 12 dents, diamètre extérieur de 150 mm et alésage intérieur de 60 mm), après réception du carbure.

Le bois utilisé, que nous avons usiné durant nos tests venait de la scierie SIAT-BRAUN. Les paquets fournis étaient malheureusement ressuyés. Voulant nous rapprocher au maximum des conditions de la scierie, nous avons essayé de faire reprendre de l'humidité au bois. Pour cela, nous avons constitué des paquets de dix planches que nous avons arrosées abondamment au cours de leur empilement. Nous les avons ensuite filmés à l'aide d'un plastique et laissés à l'extérieur en période pré-hivernale (Figure V-30). Nous disposions d'une enceinte climatique, malheureusement les conditions pour que le bois reprenne de l'humidité ne pouvaient être atteintes et celui-ci n'aurait fait que sécher. Nous nous sommes donc servis de l'enceinte uniquement pour dégeler le bois et le faire passer en douceur de l'extérieur, où les températures avoisinaient le zéro, à l'intérieur de la halle, où les conditions ambiantes amènent rapidement le bois à une humidité d'équilibre de 8%.

Nous coupons au fur et à mesure les planches de 2,50 m en morceaux de 0,49 m que nous plongeons dans un tonneau (Figure V-31) d'eau afin qu'ils ne s'assèchent pas et soient usinés le plus humide possible. Grâce à notre méthode, nous arrivions à usiner des morceaux

de bois d'une humidité d'environ 25 à 30%, ce qui correspondait à un facteur Kh proche de celui du bois vert (Figure II-39).



Figure V-30VI-9 : Paquets filmés.



Figure V-31VI-10 : Tonneau permettant le maintien en humidité des bois.

V.4.5.2. Présentation de la machine de test TEEMO

L'ENSTIB a mis à notre disposition tout son matériel de mesure et la machine de test TEEMO (voir présentation ci-dessous).

La machine de test TEEMO (Test d'Etude et d'Endommagement des Matériaux d'Outils) est une machine qui a été développée au sein de CM2T (Critt Metall 2T) et mise à disposition au sein de l'ENSTIB pour les travaux de thèse de M. GAUVENT [51]. Cette machine expérimentale est reliée à un ordinateur permettant l'acquisition de différents paramètres. Elle est composée de deux axes tournants montés l'un à la suite de l'autre (Figure V-32). On peut la comparer à deux toupies montées en série.



Figure V-32VI-11 : Présentation de la TEEMO.

Nos lames étaient montées sur l'axe du moteur « brushless » car il était possible de récupérer plusieurs informations grâce à ce moteur, ainsi que régler sa vitesse de rotation. Nous avons notamment accès au couple moteur en continu, qui donne un aperçu des efforts

de coupe. Ceci dans le but de comparer les différentes phases de la vie d'un outil (Figure V-26).

La deuxième broche était dotée d'un outil de rafraîchissement, ce dernier réglait la passe prise par les lames. Nous avons décidé de faire travailler les scies dans des rainures de trois millimètres de profondeur afin d'essayer de se placer dans des conditions les plus proches de chez SIAT-BRAUN. Nous en restions cependant éloignés. Cela était dû aux limites de la machine qui fut ici exploitée au maximum de ses possibilités. Les outils prenaient des passes de deux millimètres au fond de ces rainures (Figure V-33).

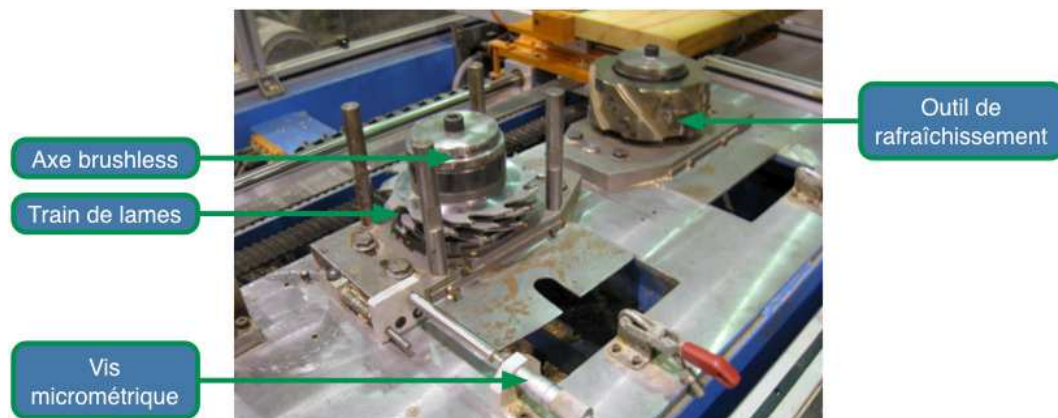


Figure V-33 : Positionnement de l'axe brushless

Sur l'axe accueillant les outils, nous avons utilisé un manchon hydraulique afin de récupérer tous les jeux fonctionnels. La figure ci-après (Figure V-34) schématise le déplacement de la planche lors d'un cycle (Figure V-34).

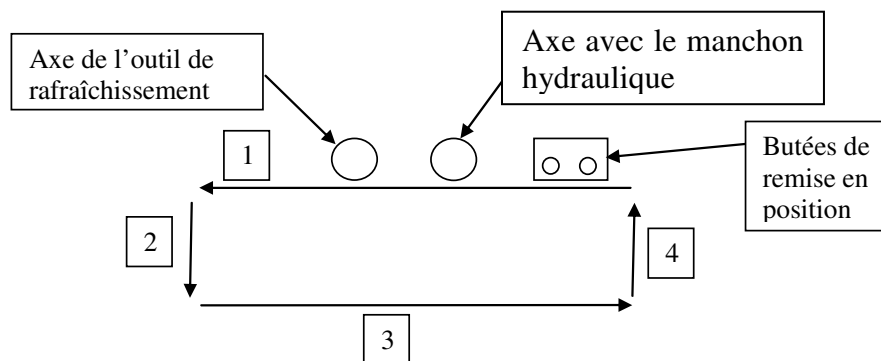


Figure V-34 : Déplacement de la planche lors d'un cycle

La phase n°1 correspondait à la phase d'usinage de la planche, tandis que les autres permettaient la remise en position initiale de la planche de bois grâce à un cycle rectangulaire.

V.4.5.3. Les moyens de mesures

Comme matériel de mesure, nous avons utilisé une loupe binoculaire, munie d'une caméra permettant une acquisition sur ordinateur, dont le grossissement maximum est de

230%. Les mesures ont été réalisées par le dessus de la lame comme l'indique la photo suivante (Figure V-35), avec l'aide d'un montage afin d'avoir toujours la même position de la dent à mesurer.

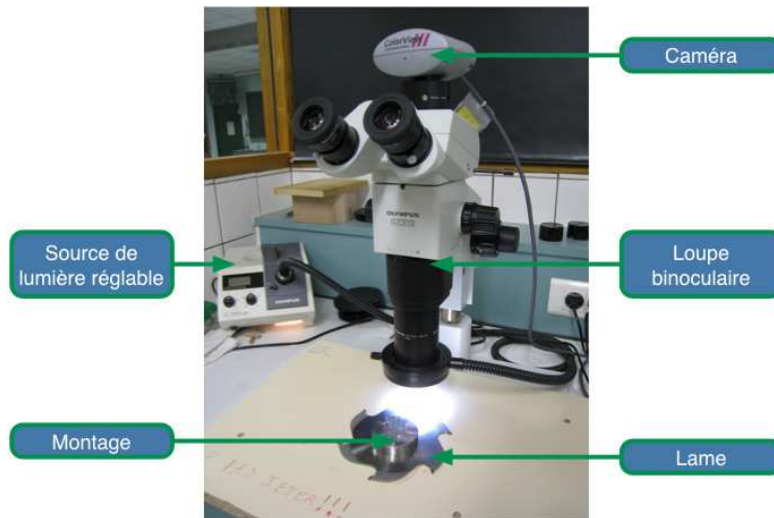


Figure V-35 : Loupe binoculaire et montage d'observation

À la fin de nos tests, nous avons convenu de nous rendre au Luxembourg afin de compléter les mesures faites à l'ENSTIB. Une mesure de l'usure de l'outil devait être effectuée par le laboratoire interne de CERATIZIT grâce à des photos prises dans deux directions avec un grossissement de 5000%. Cependant, ces mesures n'ont pas pu être réalisées à cause d'un bris de matériel.

V.4.5.4. Mise en place des mesures

Grâce à la loupe binoculaire, nous avons pris des photos de la pointe des dents de chacune des lames à trois instants différents :

- À l'état initial
- Au bout de 3000 m de bois sciés
- À l'état final, après 5000 m de bois sciés.

Initialement, nous devions nous arrêter à 3000 m de bois scié (ce qui correspond à 90% des séries en milieu industriels), mais étant donné l'usure quasi-inexistante, nous avons décidé de passer 2000 m de bois supplémentaires. Afin de pouvoir comparer les différentes mesures nous avons numéroté toutes les dents de chaque lame comme le montre la figure suivante (Figure V-36). Les numéros de couleur rouge correspondent aux dents photographiées.



Figure V-36VI-15 : Numérotation des lames.

À l'aide du logiciel de traitement d'image Matrox Inspector[®], nous avons pu quantifier le recul de l'arête de coupe en prenant les mesures suivantes à la pointe des dents, comme indiqué par Feld [53] (Figure IV-10). De plus, pour limiter le bruit sur les mesures, nous avons décidé d'effectuer ce traitement par une seule personne. Cette façon de faire a permis de limiter au maximum les différences de mesures pouvant être dues à un changement d'opérateur, afin d'extraire des données plus fiables.

V.4.5.5. Organisation des essais

Nous avons construit nos essais afin qu'ils soient répétables facilement, qu'ils nous permettent de gérer le maximum de paramètres et que l'on puisse capter le maximum d'informations durant les tests. Même ce qui ne paraissait pas très intéressant, mais que l'on pouvait mesurer, était enregistré afin de pouvoir effectuer une analyse intéressante et ne pas passer à côté de quelque chose à cause d'un manque d'information.

Tout d'abord, nous avons pris en photo toutes les lames afin d'avoir un état initial pour pouvoir évaluer l'usure des dents après les 5000 m de bois usinés.

Pour effectuer les essais, nous avons monté les trois lames ayant le même nombre de dent sur le manchon hydraulique afin de constituer un train (Figure V-33).

Nous avons pris une mesure de couple sur chacune des lames. Pour réaliser cette mesure nous montions une seule lame sur le manchon hydraulique et prenions dix passes dans du MDF (homogénéité intra et inter matériau) afin d'extraire une bonne valeur moyenne et de pouvoir réaliser un comparatif entre les différentes lames et les différents moments où étaient prises les mesures. Sur chaque lame, une mesure a été faite à l'état initial, après 500 m d'usinage sur du résineux, après 3000 m et une dernière à 5000 m à l'arrêt des tests. De plus, nous avons réalisé une mesure de couple sur du résineux à 3000 m et à 5000 m pour voir s'il y avait une différence avec le MDF, et l'influence de l'angle de coupe face à l'anisotropie du

bois. Nous n'avons pas réalisé plus de mesures car celles-ci prenaient un temps conséquent (il fallait démonter entièrement le train de lames et remonter chacune d'elle successivement).

V.4.6. Résultats obtenus

V.4.6.1. Mesures de couple

Les mesures de couple pour chaque lame ont permis d'obtenir le graphique suivant (Figure V-37). Les points obtenus sont des moyennes de dix mesures réalisées dans du MDF.

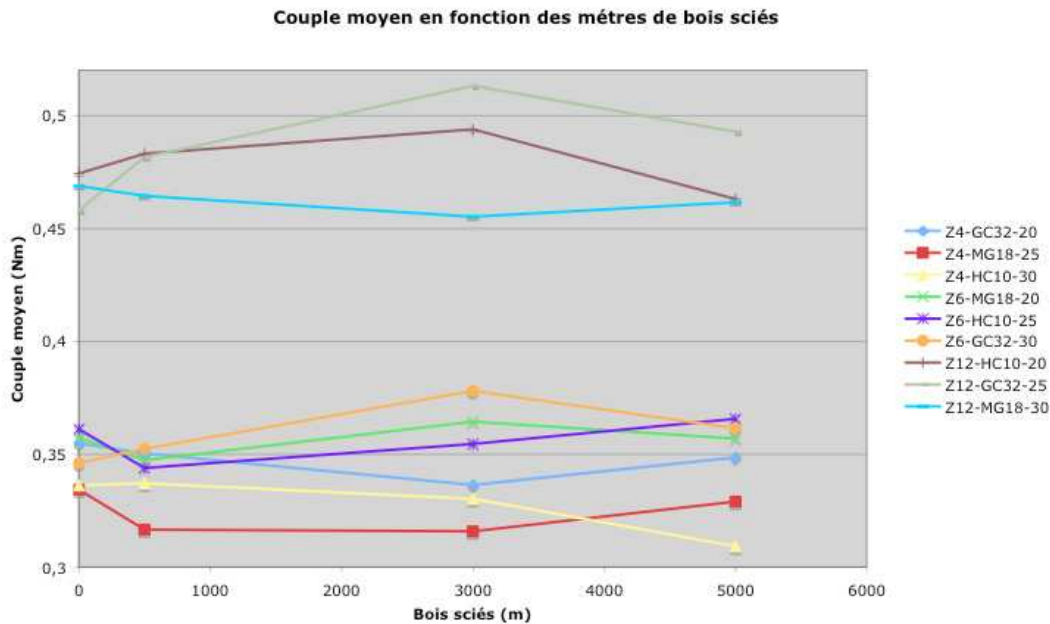


Figure V-37VI-16 : Mesures de couple pour le MDF

Les remarques suivantes peuvent être réalisées: seulement quatre courbes ont une forme correspondant à la bibliographie (Figure V-26). Les trois lames à douze dents absorbent un couple beaucoup plus élevé, ceci peut s'expliquer par le nombre de dents en prise dans la matière qui est nettement supérieur aux autres. De manière générale, les lames à six dents absorbent aussi plus d'énergie que celle à quatre dents. Il n'est cependant pas possible d'établir de conclusions quant à l'influence de l'angle de coupe sur le couple consommé par une lame.

C'est à partir de 3000 mètres de bois usiné que nous avons décidé d'effectuer les essais sur des planches d'épicéa (vu que les essais sur du MDF ne semblaient pas pertinents). Nous ne disposons donc que de la variation entre 3000 et 5000 mètres de bois pour toutes les lames.

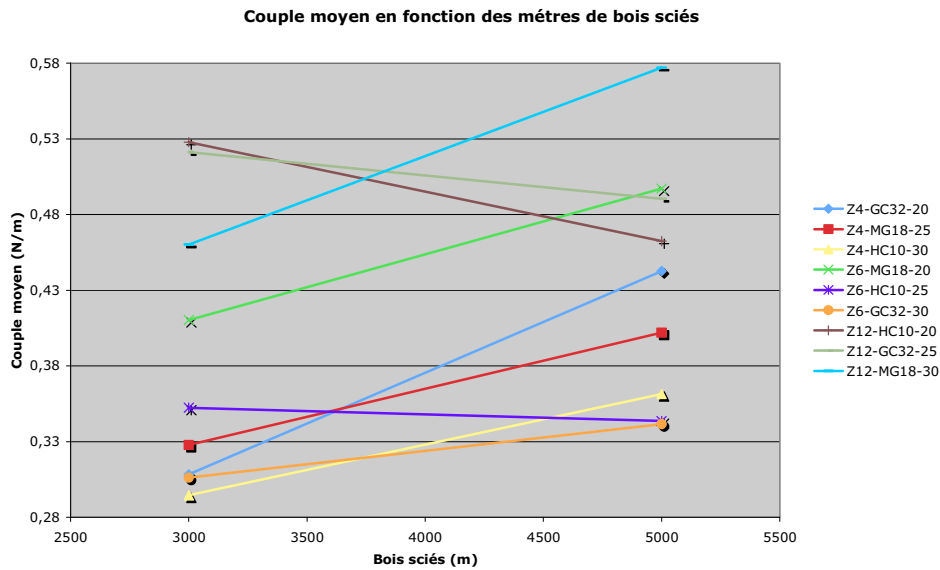


Figure V-38VI-17 : Mesure de couple pour l'épicéa

Nous avons essayé d'utiliser des planches pour lesquelles la largeur de cerne ainsi que la masse volumiques étaient proches, afin que le matériau interfère au minimum sur les mesures. Pour ce graphique, nous avons aussi trois cas pour lesquels on constate une diminution du couple consommé, ce qui ne semble pas cohérent. Par contre, pour les lames à quatre et six dents, on remarque que le couple consommé est inversement proportionnel à la valeur de l'angle de coupe, ce qui corrobore Kivimaa (Figure III-4).

Il semble donc intéressant de tester un angle de 30° en milieu industriel, pour obtenir des efforts de coupe transmis au corps de lame moindres, et donc un sciage plus droit. Il faut cependant vérifier que le carbure supportera l'affaiblissement de l'angle de taillant, ainsi que la longueur des séries en milieu industriel.

V.4.6.2. Mesures d'usure, utilisation de la table

A chaque stade de la vie des lames, nous avons pris une photo à l'aide de la loupe binoculaire des dents à mesurer. De ces photos nous avons pu extraire la valeur de recul de l'arête de coupe, suivant la face de dépouille et suivant la face de coupe.

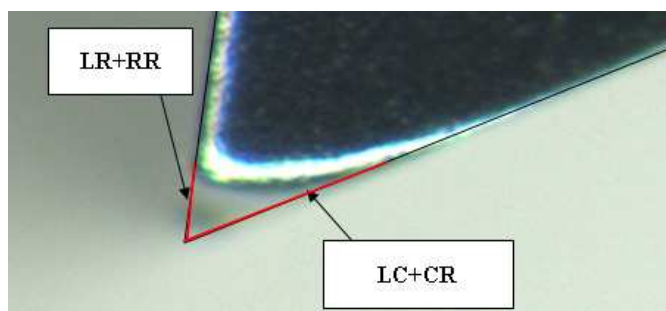


Figure V-39VI-18 : Usures mesurées sur la face de coupe et de dépouille d'après Feld [53]

Nous avons choisi, en plus de l'utilisation de la table Taguchi, de comparer les lames entre elles via la largeur de l'usure NW (Figure IV-10). En fonction des données dont nous disposons, ainsi que les notations mises en place par Feld [53], nous avons établi une formule permettant de calculer cette largeur :

$$N_w = \sqrt{w_\alpha^2 + w_\gamma^2 - 2w_\alpha w_\gamma \cos(\beta)} \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\beta}{2} - \text{ArcCos} \left(\frac{w_\alpha - w_\gamma \cos(\beta)}{\sqrt{w_\alpha^2 + w_\gamma^2 - 2w_\alpha w_\gamma \cos(\beta)}} \right) \right)$$

Équation V-5: Calcul de la largeur d'usure NW

Avec, w_α - Usure sur la face de dépouille, égale à LR+RR;

w_γ - Usure sur la face de coupe, égale à LR+RR;

β - L'angle de taillant.

L'utilisation de la table Taguchi permet de déterminer l'impact (positif ou négatif) de chacun des paramètres choisis sur la largeur de l'usure :

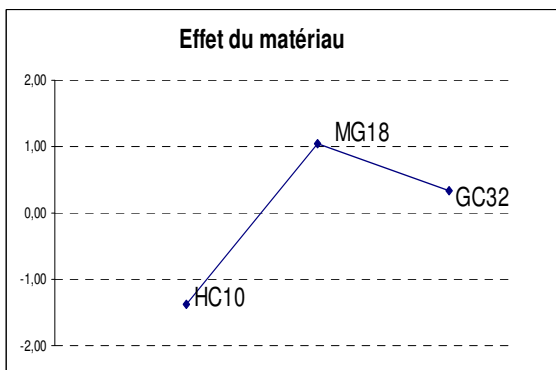


Figure V-40VI-19 : Effet du matériau de coupe

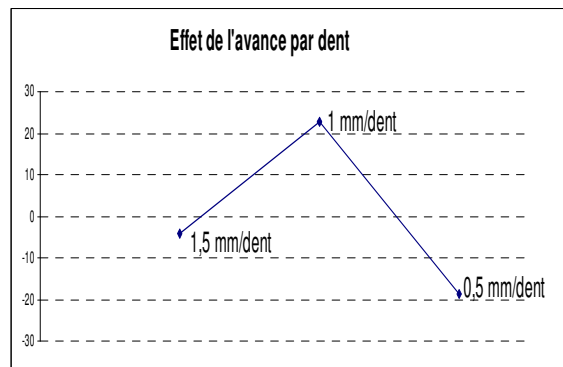


Figure V-42VI-21 : Effet de l'avance par dent

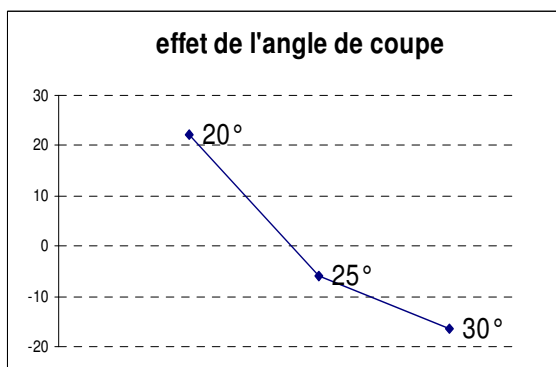


Figure V-41VI-20 : Effet de l'angle de coupe

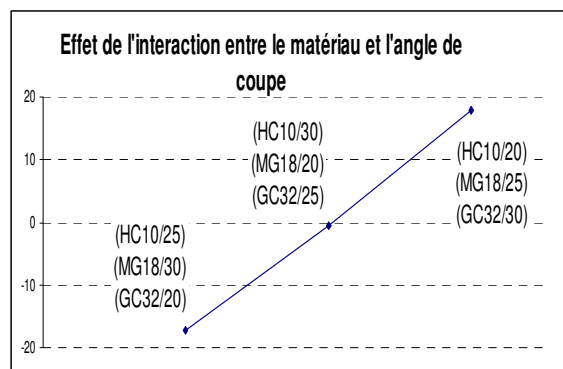


Figure V-43VI-22 : Effet de l'interaction matériau/angle de coupe

Les graphiques précédents, bien qu'adimensionnelles vis-à-vis de l'usure, permettent de déterminer quels sont les valeurs à définir pour chaque paramètre afin de minimiser la largeur de l'usure. Dans notre cas, il faut choisir une avance par dent de 0,5mm, un angle de

coupe de 30° ainsi que du carbure HC10. L'interaction entre le matériau et l'angle de coupe nous semblant être la plus significative, nous avons aussi choisi de définir son impact. Mais dans ce cas, les valeurs ne concordent pas avec celles des paramètres choisis séparément. Cependant, la table permet aussi de déterminer la part de chaque paramètre sur l'usure globale (Figure V-44):

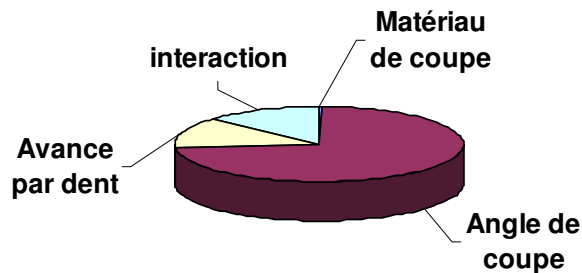


Figure V-44 : Impact de chaque paramètre sur l'usure globale

Nous remarquons sur la figure précédents que l'angle de coupe semble avoir le plus grand effet sur la largeur d'usure, il paraît donc inévitable de choisir un angle de 30°. L'avance par dent et l'interaction entre angle matériau viennent ensuite. Il est à rappeler que l'avance par dent est un paramètre difficilement modifiable en milieu industriel, l'interaction est donc le paramètre second sur lequel nous pouvons influencer. Des trois choix qu'offre la Figure V-43 pour minimiser l'usure, il faut donc choisir le couple MG18/30°. Le MG18 semble en effet le plus mauvais matériau pour optimiser l'usure, mais l'impact du matériau peut être considéré comme négligeable à la vue de la Figure V-44.

V.4.6.3. Pertinence des résultats

La pertinence des résultats obtenus à l'aide de la table Taguchi peut être vérifiée à l'aide d'une table SNEDECOR (Tableau V-XXIV):

calcul somme des carrés								
	ddl	somme des carrés	variance	F expérimental	F théorique	influence	Sc'	%
matériau	2	18,8	9,4	0,03	3,55	-3,52	-536,763493	-3,44
angle de coupe	2	7325,6	3662,8	13,19	3,55	9,64	6770,049562	43,33
avance par dent	2	1335,1	667,6	2,40	3,55	-1,15	779,581878	4,99
interaction	4	2579,0	644,8	2,32	3,55	-1,23	1467,959833	9,40
résidu	25	6944,1	277,8				7142,778838	45,72
total	35	15623,6	446,4				15623,61	100

Tableau V-XXIVVI-XV : Table de SNEDECOR

On peut remarquer dans le tableau précédent que nous avons un résidu de 45% sur les essais. Cette valeur élevée nous impose donc d'être très méfiants vis-à-vis des résultats obtenus, même si des orientations de choix ont pu être déterminées.

V.4.6.4. Essais en milieu industriel

Des essais doivent être réalisés au sein de la scierie sur des lames de la machine MKV, rebrasées avec des pastilles de MG18 avec un angle de 30°. Pour chaque type, quatre lames seront reconditionnées afin de procéder aux premiers tests. La plus grande crainte vis-à-vis de l'expérience des affûteurs seraient un bris de la pastille carbure face aux singularités du bois (voir IV.2.3.3). Ces premiers tests permettront ensuite de comparer les états de surface obtenus avec les anciens angles de coupe, et aussi de déterminer la nouvelle durée de vie entre chaque affûtage des lames.

Si ces essais sont concluants, il sera possible de monter des manchons complets avec la nouvelle configuration des lames, et vérifier les diminutions d'efforts en accélérant progressivement la vitesse d'avance de la ligne dans les schémas où la puissance moteur est le facteur limitant. Ceci est le cas pour les schémas de bois de gros diamètres, ou sont associés un nombre de lames par manchons important, une grande hauteur de coupe ainsi qu'un trait de scie épais. L'entreprise tend à augmenter la proportion de bois sciés de ce type (ceci est du à la ressource forestière) et elle pourra donc gagner en productivité si les essais se révèlent concluants).

*Conclusion générale
et
perspectives*

VI. Conclusion générale et perspectives

VI.1. Conclusions

VI.1.1. Bilan pour l'entreprise

Le cadre de la thèse CIFRE était nouveau pour l'entreprise qui m'a accueilli. Habitué à travailler avec les conseils de ses différents fournisseurs et l'expérience de ses collaborateurs, j'ai pu apporter un regard nouveau sur les thèmes abordés dans ce mémoire. Certaines modifications ont apporté des gains significatifs pour l'entreprise, d'autres mériteraient que l'on se consacre à leur finalisation.

Du point de vue de l'atelier d'affûtage, beaucoup de scieries ont choisi d'externaliser ce service afin de réduire leur coût fixe de fonctionnement. Ces dernières ne sont plus maîtresses de leurs outils et peuvent difficilement apporter les modifications ou mener des expériences pour les optimiser. L'entreprise SIAT-BRAUN, de part sa taille et le nombre d'outils déployés, a la chance de garder ce service, mais en plus d'intégrer de nouvelles opérations comme le brasage afin de pouvoir maîtriser encore plus le savoir-faire de la maintenance des scies circulaires. Il va de soit que la maîtrise de cette technologie apporte à l'entreprise une rentabilité et une flexibilité indéniable. Ces deux avantages ont pu être acquis grâce à ma collaboration avec l'entreprise.

L'avantage pour une entreprise de disposer d'un thésard CIFRE est aussi de pouvoir décharger son encadrement pour des missions diverses et variées. Cela fut le cas pour la mise en place d'un atelier de « picking » au sein de la raboterie. La nouvelle façon de travailler des GSB (Grandes Surfaces du Bricolage) a imposé ceci à l'entreprise et j'ai eu en charge l'étude de l'implantation, mettre en place une organisation provisoire, gérer les méthodes administratives, suivre le déroulement des travaux et enfin suivre les débuts de cet atelier. En complément au sein de la raboterie, j'ai étudié le conditionnement des produits afin de diminuer les charges pour les opérateurs et uniformiser la mise en palette.

Au sein de la scierie, une étude longue mais nécessaire fut l'étude du poids des camions de transport. Un nombre important de mesures a dû être mis en place afin de pouvoir obtenir un outil de travail accessible et suffisamment précis, en tenant compte des contraintes de l'entreprise, avec en premier lieu l'hétérogénéité du matériau bois.

Enfin, j'ai pu de part mon apprentissage au sein de l'atelier d'affûtage, exercer ce métier lors des périodes de congés ou de surcharge de travail. Ceci, en plus de maîtriser cet art, m'a permis de toujours considérer les contraintes inhérentes à la réalisation de nouveaux

outils. Ce fut aussi l'occasion de maîtriser la machine à braser et de transmettre ce savoir. L'entreprise a ainsi formé un nouvel affûteur, connaissant à la fois le processus de fabrication et le moyen de correctement entretenir les outils de coupe.

VI.1.2. Les avancées concernant les outils

Tous les outils qui ont été étudiés dans ce mémoire peuvent paraître simple à première vue, mais une analyse complète nous montre que ceux-ci sont complexes, et d'autant plus lorsque l'on intègre leur environnement dans l'analyse. Tous les paramètres influents sur le travail de l'outil de coupe sont difficilement maîtrisables mais cette maîtrise est la condition sine-qua-none pour les fidéliser.

Dans une entreprise comme SIAT-BRAUN, la moindre variation de ces paramètres entraîne des conséquences importantes sur la production et la rentabilité. Le fait de connaître et par la suite de maîtriser certains des facteurs intervenant lors de la coupe apporte une rigueur absolument nécessaire à ce type d'industrie.

La recherche de l'outil idéal ne peut désormais plus se faire exclusivement chez le fabricant, puisque on le sait : l'environnement (machine, matière première, maintenance) a une part très influente sur ses performances. Il est donc nécessaire de passer du temps dans l'entreprise cliente (la scierie) pour répondre pleinement à ses attentes.

VI.1.3. Limites du projet

La recherche en milieu industriel, bien qu'étant au cœur même de l'application des avancées scientifiques, peut être freinée par les contraintes économiques d'une entreprise. En effet, il faut, avant de faire des tests, s'assurer de la quasi certitude du bon fonctionnement, ce qui est bien entendu un frein à l'audace.

Cependant, il apparaît regrettable que le matériel dont dispose le laboratoire ne soit pas capable de reproduire certaines des conditions de coupe de la première transformation du bois. Cet aspect peut être pénalisant dans les futurs projets de recherche.

Les tests de recherche sur les matériaux de coupe prirent beaucoup de temps et n'étaient pas compatibles avec mon temps de présence effectif en entreprise. Il est à noter que les essais de modifications des angles de coupe et des carbures n'ont toujours pas été réalisés en milieu industriel, dernière ligne droite au travail préalablement réalisé.

VI.2. Perspectives

VI.2.1. Perspectives du développement des outils

Tous les outils de l'entreprise n'ont pu être étudiés lors de ces trois années de thèse, ou alors les recherches n'ont pas encore abouties. Il est nécessaire de rester perpétuellement en contact avec les fabricants de lames pour mener plusieurs études simultanément, et afin de maintenir la pression. Ceci est aussi nécessaire pour suivre le développement de l'entreprise, qui tend par exemple à augmenter les hauteurs de coupe sur la ligne canter. Si certaines modifications peuvent être faites au sein de l'entreprise, il est parfois indispensable de concevoir de nouveaux outils, et la conception est dorénavant faite en concertation avec l'atelier d'affûtage de la scierie.

VI.2.2. Perspectives personnelles

Le travail effectué pendant trois ans au sein de la scierie m'a permis d'intégrer et de comprendre son fonctionnement, du moins au sein de l'unité de sciage et de l'atelier d'affûtage. Je reste donc une personne ressource concernant les aléas des outils de coupe pour l'entreprise.

Je remercie Mrs Philippe et Paul SIAT de me confier la responsabilité des trois parcs à grumes de l'entreprise. Ce travail consiste en la gestion du parc machine, de son maintien à l'état standard ainsi que de l'étude des possibilités d'amélioration. La gestion des hommes, aspect du métier plus récent pour moi, prend aussi beaucoup de place dans ce métier. En effet, outre la méthodologie de travail, les opérateurs des parcs sont en charge de la réception qualitative des lots de bois. Ils doivent donc tous avoir la même vision de la qualité, et ceci se fait en adaptant leur vision sur la mienne.

Au niveau du billonnage, les grumes sont coupées en fonction de la qualité de chaque partie (bille de pied, surbille), de la courbure et des différentes singularités (voir II.2.3.2). En fonction du diamètre et des différentes longueurs pouvant être débitées, des propositions de schémas de sciage sont données aux opérateurs par le logiciel d'optimisation. La gestion de cette optimisation est fonction de l'ordonnement de la scierie, qui sera aussi à terme ma responsabilité.

Table des figures

Figure I-2: Localisation des sites de production.....	17
Figure II-1 : Taux de boisement et volume sur pied en Europe	23
Figure II-2 : Répartition de l'épicéa et du sapin sur le sol français.....	24
Figure II-3 : Direction d'anisotropie et anatomie du bois	25
Figure II-4 : Plan ligneux des feuillus (gauche) et des conifères (droite)	26
Figure II-7 : Tamis vibrants pour plaquettes	29
Figure II-9 : Modèle général d'une scierie.....	30
Figure II-10 : Fabrication de palettes et bois profilés.....	30
Figure II-11 : Evolution de la production de sciages des principaux pays européens.....	33
Figure II-12 : Opérations techniques en scierie.....	34
Figure II-13 : Vocabulaire des parties d'une grume	35
Figure II-14 : Influence du billonnage sur le rendement matière	35
Figure II-15 : Scieurs de long.....	36
Figure II-16 : Modèle de scie à ruban	37
Figure II-17 : Lames de scie à ruban	37
Figure II-18 : Aspect d'une scie circulaire.....	38
Figure II-19 : Vue de l'alimentation de la scierie	41
Figure II-20 : Produits débités suivants les decks	42
Figure II-21 : Première partie de la ligne de tête.....	43
Figure II-22 : Deuxième partie de la ligne de tête.....	44
Figure II-23 : Partie retour de la ligne canter	44
Figure II-24 : Aspect d'une tête de canter, et de son mode de coupe sur le bois.....	45
Figure II-25 : Aspect d'une scie CSMK, principe des fraises de limitation	46
Figure II-26 : Plan de la machine CSMK S1	46
Figure II-27 : Plan de la machine CSMK S2.....	47
Figure II-29 : Déligneuse MKV, lames montées à gauche, tourniquet de changement à droite	48
Figure II-30 : calage des lames sur manchon MKV	49
Figure II-31 : Scies de la déligneuse KHM	49
Figure II-32 : Optimisation de la découpe d'un billon suivant la courbe	50
Figure II-33 : Limitation de la courbure des sciages suivant leur épaisseur	51
Figure II-34 : Travail des outils en sciage courbe	51
Figure II-35 : Aspect des pièces sciées courbe.....	51
Figure II-36 : Lames guidées montées sur machine	52

Figure II-37 : L'eau dans le bois à différentes humidités.....	53
Figure II-38 : Les noms d'état d'humidité du bois.....	54
Figure II-39 : Influence de l'humidité du bois sur l'effort de coupe tangentiel (Hêtre, Em=0,2mm) d'après [18].....	54
Figure II-40 : Répartition par masses volumiques.....	55
Figure II-41 : Répartition des humidités avec une infradensité à 500 kg/m ³	56
Figure III-1 : Les trois modes de coupe A, B et C d'après Kivimaa [1].....	60
Figure III-2 : La définition des modes de coupe par McKenzie [2].....	60
Figure III-3 : Distinction des modes de coupe face aux cernes de croissance.....	60
Figure III-4 : Variation de l'effort de coupe suivant les modes A, B ou C pour du Hêtre à 12% d'humidité, copeau de 0.2mm d'épaisseur, outil usé à 50%.....	61
Figure III-5 : Usure des outils en fonction de la vitesse de coupe.....	63
Figure III-6 : "Recouvrement" entre deux scies.....	64
Figure III-7 : Schéma de calcul de l'épaisseur moyenne de copeau.....	65
Figure III-8 : Nombre de dents en prise dans le bois.....	66
Figure III-9 : Modification de la longueur des trajectoires d'outils.....	68
Figure III-10 : Interactions entre les différents paramètres.....	69
Figure III-11 : Orientation des plans Pf et Pp.....	70
Figure III-12 : Les angles principaux d'un outil de coupe.....	71
Figure III-13 : Angle de dépouille radiale et latérale.....	74
Figure III-14 : Influence des angles de dépouille sur la marge d'affûtage.....	75
Figure III-15: Répartition et transmission des efforts de coupe.....	75
Figure III-16 : Angles secondaires d'une lame [25].....	76
Figure III-17 : Les différents profils de denture [27].....	76
Figure III-18 : Vue de dessus d'une lame avoyée.....	78
Figure III-19 : Copeau fragmenté dans le profil de denture.....	80
Figure III-20 : Géométrie du profil de denture.....	80
Figure III-21 : Brasure d'une plaquette carbure sur un corps de lame.....	81
Figure III-22 : Types de fixation des plaquettes carbure.....	81
Figure III-23 : Aspect d'une brasure avec cuivre.....	82
Figure III-24: Echanges thermiques et contraintes lors de l'opération de brasage.....	82
Figure III-25 : Mouillabilité d'un matériau par un liquide.....	83
Figure III-26 : Nécessité du détalonnage.....	85
Figure III-27 : Les différents corps de lame d'après [27].....	85
Figure III-28 : Maintien de la lame par flasques de serrage d'après [32].....	86
Figure III-29 : Aspect d'une lame de débit à racleurs.....	86

Figure III-30 : Nombre de racleurs par lame	87
Figure III-31 : Aspect des contraintes sur une fente périphérique	87
Figure III-32 : Copeau de type I	89
Figure III-33 : Copeau de type II	90
Figure III-34 : Le copeau de type III	90
Figure III-35 : Formation du copeau en coupe rotative	91
Figure III-36 : L'angle de levage des fibres	92
Figure III-37 : Surfaces générées en sciage	93
Figure III-38 : Passage des dents dans le bois	93
Figure III-39 : Angles pour un usinage en avalant	94
Figure III-40 : Angles pour un usinage en opposition avec flèche	95
Figure III-41 : Choix du matériau de coupe	97
Figure III-42 : Dureté des matériaux d'après leur ténacité, inspiré de []	97
Figure III-43 : Efforts de coupe en fonction de l'angle d'après [18]	98
Figure III-44 : déformation en mode (0, 0)	99
Figure III-45 : déformation en mode (0,1)	99
Figure III-46 : déformation en mode (0, 2)	99
Figure III-47 : déformation en mode (0, 3)	99
Figure III-48: Aspect des ondes directes et rétrogrades, d'après [42]	99
Figure III-49 : Lame à 2 diamètres nodaux	100
Figure III-50 : Lame à 3 diamètres nodaux	100
Figure III-51 : Acquisition de l'accéléromètre et FFT des vibrations de la lame	101
Figure III-52 : Contraintes induites dans une lame	102
Figure III-53 : Influence de la température	102
Figure III-54 : Tensionnage d'une lame au marteau d'après [46]	103
Figure III-55 : tensionnage d'un disque par galets, d'après []	103
Figure III-56 : Zones tensionnables [25]	104
Figure III-57 : Tensionnage des lames de la scierie	104
Figure III-58 : Les vitesses de rotation limites d'une lame [50]	105
Figure IV-1 : Organigramme du parcours des outils au sein de l'atelier d'affûtage	109
Figure IV-2 : Lames sortant du bain à ultra-sons	110
Figure IV-3 : Contrôle du planage d'une lame d'après [23]	111
Figure IV-4 : Le tas à planer	111
Figure IV-5 : Marteau anglais	111
Figure IV-6 : Détection du voile au réglet	112
Figure IV-7 : Détection d'une bosse au réglet	112

Figure IV-8 : Les causes de l'usure	113
Figure IV-9 : Cycles d'usure de l'outil	113
Figure IV-10 : La mesure de l'usure d'après [54].....	114
Figure IV-11 : Les zones d'usure d'après Nordström [55]	115
Figure IV-12 : Perte de voie suivant la face.....	115
Figure IV-13 : Aspect de pointes ébréchées	116
Figure IV-14 : Action de meulage par abrasion [23]	117
Figure IV-15 : Affûtage de la face sur Finimat.....	117
Figure IV-16 : Robot de chargement et tête d'affûtage Walter	118
Figure IV-17 : Support de dent non détalonné.....	118
Figure IV-18 : Affûtage d'une seule face de la dent	119
Figure IV-19 : Affûtage des deux faces de la dent	119
Figure IV-20 : Cotes d'une pastille carbure	121
Figure IV-21 : Aspect de la perte matière.....	121
Figure IV-22 : Nouvelle perte matière	122
Figure IV-23 : Aspect des supports de dent brisés.....	122
Figure IV-24 : Rentabilité des différentes machines à braser	124
Figure IV-25 : Nouveau plan de l'atelier.....	125
Figure IV-26 : Feuille de suivi des aléas lames	128
Figure V-1 : Evolution de TQV suivant la saison.....	131
Figure V-2 : Emplacement des défauts d'usinage	132
Figure V-3 : Aspect d'arrachement de contre-fil.....	132
Figure V-4 : Diagramme cause-effet du mauvais fraisage	133
Figure V-5 : Répartition de l'usinage par double fraisage.....	133
Figure V-6 : Réglage initial des unités de profilage	134
Figure V-7 : Réglage final des unités de profilage	134
Figure V-8 : Montage des fraises sur le porte-outil [56].....	135
Figure V-9 : Plaquettes avec arrachement de contre-fil.....	135
Figure V-10 : Modification de l'angle de coupe des fraises.....	136
Figure V-11 : Recouvrement des fraises et des segments de scie.....	136
Figure V-12 : Dépouille latérale des anciennes versions de fraises.....	136
Figure V-13 : Contre-angle et dépouilles latérales	137
Figure V-14 : Aspect d'une requête de statistiques	142
Figure V-15 : Gains estimés en fonction de la nouvelle lame	143
Figure V-16 : Méthode initiale de réglage de la MKV	145
Figure V-17 : Méthode modifiée de réglage de la MKV	147

Figure V-18 : Graph des diamètres de lame requis	148
Figure V-19 : Sciage h=175mm, d=520mm.....	149
Figure V-20 : Sciage h=175mm, d=406mm.....	149
Figure V-21 : Effets du désaxage latéral sur les lames.....	150
Figure V-22 : Forces appliquées lors du sciage.....	150
Figure V-23 : Inversion des sens de rotation sur MKV.....	152
Figure V-24 : Etat de surface des pré-débites avec l'ancienne lame	155
Figure V-25 : Etat de surface des pré-débites avec la nouvelle lame.....	155
Figure V-26 : Les différentes phases de la vie d'un outil	157
Figure V-27 : Diagramme Cause/Effet simplifié	159
Figure V-28 : Vues microscopiques des carbures	161
Figure V-29 : Caractéristiques des différents carbures	162
Figure V-30 : Paquets filmés.	164
Figure V-31 : Tonneau permettant le maintien en humidité des bois.	164
Figure V-32 : Présentation de la TEEMO.	164
Figure V-33 : Positionnement de l'axe brushless.....	165
Figure V-34 : Déplacement de la planche lors d'un cycle	165
Figure V-35 : Loupe binoculaire et montage d'observation	166
Figure V-36 : Numérotation des lames.....	167
Figure V-37 : Mesures de couple pour le MDF.....	168
Figure V-38 : Mesure de couple pour l'épicéa.....	169
Figure V-39 : Usures mesurées sur la face de coupe et de dépouille d'après Feld [54]	169
Figure V-40 : Effet du matériau de coupe	170
Figure V-41 : Effet de l'angle de coupe.....	170
Figure V-42 : Effet de l'avance par dent.....	170
Figure V-43 : Effet de l'interaction matériau/angle de coupe.....	170
Figure V-44 : Impact de chaque paramètre sur l'usure globale	171

Table des équations

Équation II-1 : Calcul de TQV pour la qualité de plaquette	28
Équation II-2: Calcul de l'humidité des échantillons	56
Équation III-1: Vitesse de coupe.....	62
Équation III-2 : L'avance par dent	63
Équation III-3 : Calcul de l'épaisseur moyenne de copeau	65
Équation III-4 : Epaisseur moyenne de copeau sans flèche.....	65
Équation III-5 : Nombre de dents dans la matière	67
Équation III-6 : Nombre de dents dans la matière sans flèche.....	67
Équation III-7 : Longueur du copeau	69
Équation III-8 : Longueur du copeau sans flèche	69
Équation III-9 : Angle entre le rayon de lame et le fil de bois, à l'entrée dans la matière et en avalant	94
Équation III-10 : Angle entre le rayon de lame et le fil de bois, dans la matière et en avalant	94
Équation III-11 : Angle entre le rayon de lame et le fil de bois, à la sortie de la matière et en avalant	94
Équation III-12 : Angle entre le rayon de lame et le fil de bois, à l'entrée dans la matière et en opposition.....	95
Équation III-13 : Angle entre le rayon de lame et le fil de bois, dans la matière et en opposition.....	95
Équation III-14 : Angle entre le rayon de lame et le fil de bois, à l'entrée dans la matière, en opposition.....	95
Équation III-15 : Equations des fréquences des ondes directes et rétrogrades	100
Équation III-16 : Calcul de la vitesse critique [42]	100
Équation III-17 : Domaines d'instabilité d'une lame	106
Équation IV-1 : Valeur de l'enlèvement pour un affûtage simple	119
Équation IV-2 : Valeur de l'enlèvement pour un double affûtage	119
Équation V-1 : Calcul de la sur-hauteur x.....	146
Équation V-2 : Forces de l'opération de sciage.....	151
Équation V-3: Projection suivant x des forces de sciage	151
Équation V-4 : Projection suivant y des forces de sciage	151
Équation V-5: Calcul de la largeur d'usure NW	170

Table des tableaux

Tableau II-I : Application de la définition de la FAO	22
Tableau II-II : Situation de la France par rapport aux autres pays en termes de densité à l'hectare.....	23
Tableau II-III : Surface des forêts des 8 pays d'Europe les plus boisés (en millions d'hectares) et composition	23
Tableau II-IV : Seuils de granulométrie des plaquettes	29
Tableau II-V : Caractéristiques des couronnes de canter	46
Tableau II-VI : Caractéristiques des couteaux de canter.....	46
Tableau II-VII : Caractéristiques des couronnes de canter.....	48
Tableau II-VIII : Caractéristiques des couteaux de canter	48
Tableau III-I : Nombre de dents en prise dans l'épaisseur du bois en fonction du type de sciage	66
Tableau III-II : Nombre de dents en prise dans le bois d'après [23].....	68
Tableau III-III : Angles de coupe préconisés d'après [24]	71
Tableau III-IV : Angles de dépouille préconisés d'après [24].....	72
Tableau III-V : Angles de taillant préconisés d'après [24]	72
Tableau III-VI : Angles de taillant avec flèche faible	72
Tableau III-VII : Voie en fonction du diamètre de lame d'après [23]	73
Tableau III-VIII : Caractéristiques des carbures K10 et K20.....	97
Tableau IV-I: Chronologie et fréquence des différentes opérations d'entretien et d'affûtage des lames circulaires à plaquettes carbure d'après [23]	108
Tableau IV-II : Comparaison des prises de passe équivalentes entre une et deux faces.....	120
Tableau IV-III : Potentiel de lames non repastillées	123
Tableau IV-IV : Caractéristiques des différentes machines à braser.....	125
Tableau V-I : Cahier des charges des lames MKV	138
Tableau V-II : Proposition du 1 ^{er} fournisseur de lame	139
Tableau V-III : Proposition du 2 ^{ème} fournisseur de lame.....	139
Tableau V-IV : Caractéristiques lame CSMK 4.4.....	140
Tableau V-V : Caractéristiques lame CSMK 5.5	140
Tableau V-VI : Problématique du choix d'une troisième hauteur de coupe.....	141
Tableau V-VII : Fréquences des hauteurs de sciage sur CSMK	142
Tableau V-VIII : Caractéristiques du troisième type de lames	144

Tableau V-IX : Marges de sécurité initiales des lames.....	145
Tableau V-X : Sur hauteur x en fonction des plages de valeurs	146
Tableau V-XI : Marge de sécurité avec la nouvelle méthode de réglage	147
Tableau V-XII : Nouvelle attribution des lames	147
Tableau V-XIII : Diamètre de lame requis / hauteur de coupe	148
Tableau V-XIV : Effet des inversions de sens de rotation.....	151
Tableau V-XV : Exemple d'estimations de forces vis à vis du sens de rotation.....	153
Tableau V-XVI : Cahier des charges machines	154
Tableau V-XVII : Cahier des charges matière.....	154
Tableau V-XVIII : Résumé d'une offre de prix	154
Tableau V-XIX : Caractéristiques des anciennes lames	155
Tableau V-XX : Caractéristiques des nouvelles lames	155
Tableau V-XXI : Modifications des conditions de coupe des lames de pré-débit.....	155
Le tableau ci-dessous (Tableau V-XXIII) récapitule brièvement les caractéristiques des carbures de tungstène retenus.	160
Tableau V-XXIII : Caractéristiques des trois carbures sélectionnés	161
Tableau V-XXIV : Table TAGUCHI utilisée.....	163
Tableau V-XXV : Table de SNEDECOR.....	171

Bibliographie

- 1 La production industrielle, le bois en chiffres, 2008, ISSN 1625-1555.
- 2 Jean-Michel RIVAT, Amélioration des performances des scies à ruban, Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré - Nancy 1, Epinal, 1996.
- 3 Norme EN 13556
- 4 HOCHEIM N., Prise en compte des aspects technico-économiques dans a simulation : Outil d'aide à la décision dans les scieries. Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré - Nancy 1, 1991.
- 5 Manuel de scierie, techniques et matériels, FCBA, department bois et sciage, 2001.
- 6 <http://www.linck-hvt.de/sprache3/n964/news181371.html>
- 7 www.leuomag.com/Un-marche-du-bois-sous-tension_a465.html
- 8 De la compétitivité de l'industrie du sciage français, (2004), ISSN 0336-0261
- 9 C SALES, La scie à ruban – Théorie et pratique du sciage du bois en grumes, éditions du CTFT, 1990.
- 10 <http://www.ciris.com/images/articles/Art006es.pdf>
- 11 <http://www.linck-hvt.de/sprache3/n51955/i146263.html>
- 12 A new sawing method for the lumber industry: Active Curve Sawing with Arcoline, IWMS 17 (1) pp 384-390 (2005).
- 13 Chabrier P., Amélioration de la qualité et du rendement matière des sciages: cas des scies circulaires, Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré - Nancy 1, Epinal, 1997.
- 14 N. SATORU, Hyper critical sawblade, IWMS 16 (1) 225-233 (2003)
- 15 MAZET JF, NEPVEU G., Relations entre caractéristiques de retrait et densité du bois chez le pin sylvestre, Ann sci For (1991) 48, 87-100.
- 16 NEPVEU G., Variabilité, le bois matériau d'ingénierie, pp 128-182, Arbolor, 1994.
- 17 E. Kivimaa, Cutting forces in wood-working, Jukaisu 18 Publication, Helsinki, 1950.
- 18 W. M. McKenzie, Fundamental analysis of the wood cutting process, thesis of the department of wood technology, University of Michigan, Ann Arbor, 1961.
- 19 Investigations of cutting power versus clearance of a circular saw blade over the workpiece and feed speed, Siklienka M, Misura L, DRVNA INDUSTRIJA 57 (1) 13-17 (2006).
- 20 MARTIN P., Processus de coupe et la scie à ruban, pp 290-332, Arbolor, 1994.
- 21 Norme A.F.N.O.R., Grandeur de base pour la coupe et la rectification, Association Française de Normalisation, décembre 1993.
- 22 Entretien et affûtage des outils de coupe, Anquetil F., Boyer H., Juan J., CTBA, 1996.

- 23 Guide d'entretien de la scie circulaire, Auger G., Hocquet A., Snieg O., CTBA, 1993.
- 24 Les lames de scies circulaires carbure, cahiers du centre technique du bois #94, 1974.
- 25 Okai R. and Al., Optimisation techniques for minimising saw teeth deflection and lumber thickness variation, Precision engineering 30, pp 39-46 (2006).
- 26 http://valuetowood.ca/imports/pdf/fr/profil_tech/TP_05-02W_ScieCirculaire_Francais.pdf
- 27 Ockajova A, Beljo Lucic R, Cavlovic A, Terenova J, Reduction of dustiness in sawing wood by universal circular saw, DRVNA INDUSTRIJA 57 (3) 119-126 (2006).
- 28 http://www.raee.org/docs/CLASSEUR_BOIS_ENERGIE/3j.pdf
- 29 S. DENIS, J. C. Chevrier and G. Beck, Etude des contraintes residuelles introduites par la trempe dans des cylindres en TA6ZrD (685), Journal of the Less Common Metals, vol. 69 (1980) pp. 265-276
- 30 CHENG W. and Al., Aerodynamic sound and self-excited vibration of circular saw with step thickness I: Comparison of dynamic characteristics between the common circular saw and the circular saw with step thickness. Journal of wood science 44, pp177-185 (1998)
- 31 Stanford J. Lunstrum, Circular sawmills and their efficient operation, USDA Forest Service State and Private Forestry (Reprinted), 1993.
- 32 STAKHIEV Y. M., Today and tomorrow circular sawblades: Russian version, Holz als Roh- und Werkstoff 58, pp229-240 (2000).
- 33 Y. M. Stakhiev, Research on circular saw disc problems : several of results, Holz als Roh und Werkstoff 61(2003) 13-22.
- 34 C. B. Ponton, Finite element analysis of industrial circular sawblade with respect to tensioning, rotating, cutting, and expansion slots. Thesis of the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University (2007)
- 35 N. C. Franz, An analysis of the wood-cutting process, thesis of the department of wood technology, University of Michigan, Ann Arbor, 1958
- 36 J. Juan, Comment bien usiner le bois, CTBA, Paris, 1992.
- 37 ORLOWSKI K., Study washboarding phenomenon in frame sawing machines, Holz als Roh- und Werkstoff 64, 37-44 (2006).
- 38 B. MEYER 2003 - L'affûtage et l'entretien de vos outils à bois main et machine - Éditions Canopée ISBN : 2-9517093-3-1.
39. <http://passthrough.fw-notify.net/download/156868/http://www.kanefusa.jp/eng/products/wood/downloads/catalogue/Woodworking0-28-7.pdf>, p160

- 40 Mote CD, Szymani R (1977) Principal developments in thin circular saw vibration and control research. Part 1, Holz als Roh-und Werkstoff 35 (5): 189±196
- 41 Fendeleur D. and al., (1999) Dynamical measurements and evaluation of the tension of circular saw blades. IWMS 14, pp119-127.
- 42 Schajer GS (1986) Simple formulas for natural frequencies and critical speeds of circular saws. Forest Prod J 36:37-43
- 43 Nishio S, Marui E (1996) Effects of slots on the lateral vibration of a circular saw blade. Int J Mach Tools Manufact 36:771-787.
- 44 Orłowski K, Sandak J, Tanaka C, The critical rotational speed of circular saw: simple measurement method and its practical implementations
- 45 Entretien de la scie circulaire, cahiers du centre technique du bois #87.
- 46 IWATA H. and Al., study on new tensioning Method Using Internal Pressure, IWMS 16, (2) 627-635 (2003).
- 47 Li L, Chao S, Baotian X (2000) The restricting factors on the limiting rotary speed of the circular saw. Forest Stud China 2:85-90
- 48 Norme NF EN 847-1+A1. Outils pour le travail du bois – exigences de sécurité. Novembre 2007.
- 49 Stakhiev YM (2004) Coordination of saw blade tensioning with rotation speed: myth or reality? Holz als Roh- und Werkstoff 62, pp313-315
- 50 Tian J. F., Hutton G., Cutting-induced vibration in circular saws.
- 51 GAUVENT M., Optimisation de la durée de vie d'un outil de coupe pour l'industrie du bois. Analyse et compréhension des modes d'usure, Mise au point de solutions innovantes avec tests industriels. Thèse de Doctorat en Sciences du Bois, Université Henri Poincaré - Nancy 1, Epinal, 2007.
- 52 Norme NF E 73-044. Scies circulaires à mises rapportées en metal dur. Avril 1980.
- 53 Carbide selection for woodworking tooling, Feld H, Stewart J, Horn T, Schulte R, IWMS 17 (1) 520-533 (2005).
- 54 Nordström J., Bergström J., Wear testing of saw teeth in timber cutting, wear 250, pp 19-27 (2001).
- 55 FELBER G, LACKNER R, Optimization of the production process of sawmill chips for the pulp and paper industry, IWMS 17, pp 225-240 (2005).

56 FELBER G, TEISCHINGER.A, OPTIMIZATION OF THE CHIPPING PROCESS FOR PULP AND PAPER CHIPS IN SAWMILLS WITH SPECIAL FOCUS ON FROZEN WOOD, ICWSE 2009.




57 BOUCHER J., Caractérisation de la coupe rotative du bois, Thèse de l'université Henri Pointcarré, 2007.

58 F. EYMA, Caractérisation des efforts de coupe de différentes essences de bois à l'aide de leurs paramètres mécaniques, Thèse de Doctorat en Sciences du Bois, Université Henri Poincaré - Nancy 1, Epinal, 2002

59 A. A. AGUILERA, Optimisation des conditions de coupe pour l'usinage du bois - Application de la méthode du couple outil-matière au défonçage des panneaux de fibres de densité moyenne, Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré - Nancy 1, Epinal, 2000.

Annexes

Annexe 1 : Caractéristiques du Sapin et de l'épicéa

N° 16 : SAPIN PECTINE	
<p><u>AIRE NATURELLE :</u> - Essence exclusivement Européenne, habite surtout les régions montagneuses de l'Europe Occidentale, Centrale et Méridionale du golfe de Gascogne à la mer Noire (d'est en Ouest) et Vosges à la Calabre (du nord au sud) - Forme des massifs purs en Forêt Noire, dans les Monts de Bohême, les Pyrénées, les Alpes Centrales, le Nord des Balkans et les Apennins.</p>	
<p><u>LOCALISATION EN FRANCE :</u> - C'est l'essence résineuse la plus répandue en montagne : Vosges de 400 à 1200 m, Jura de 650 à 900 m en mélange avec l'épicéa, Alpes jusqu'à 1500 m mais disséminé, Beaujolais, Monts d'Auvergne, Forez, Haute Loire, Cévennes, Hautes Pyrénées, Aude, et un peuplement en Normandie.</p>	
<p><u>CARACTERES BOTANIQUEES :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> . PORT : 40 à 50 m et 1,5 m de diamètre, fût droit, faible décroissance, les vieux sujets ont la cime plate. . ENRACINEMENT : Profond, puissant, pivot pénétrant, il est plus résistant au vent que l'épicéa. . FEUILLES ou AIGUILLES : Persistantes plates opposées, sur 2 rangs, 2 lignes blanches dessous. . ECORCE : Longtemps mince, gris argent puis plus épaisse, crevassée en long, noirâtres, boules de résine. . BOURGEONS : Ovoïdes coniques brun clair et non résineux. . FRUITS : Cônes gros cylindriques dressés et se désarticulant sur l'arbre à maturité. . GRAINES : Tombent à terre, l'axe du cône reste sur l'arbre Récolte : 15 septembre- 15 octobre. 	
<p><u>EXIGEANCES EDAPHIQUES ET CLIMATIQUES :</u></p> <p>.Essence d'ombre : sa répartition dépend de l'humidité atmosphérique qui lui est nécessaire. Il résiste moins bien aux grands froids que l'épicéa, peu exigeant en chaleur Préfère les sols bien alimentés en eau, profonds, perméables et bien drainés mais supporte un sol peu fertile s'il peut enfoncer son pivot.</p>	
<p><u>DEFAUTS ET ALTERATIONS :</u> Veine rouge du bois de compression. Roulure. Trace de gui, chaudron. Les bois frais sont sujets à l'échauffure, entraînant une coloration rougeâtre plutôt que le bleuissement.</p>	
<p style="text-align: center;"><u>ENNEMIS</u></p> <p>INSECTES : Le sîreux attaque les bois sur pied. Le bostryche liseré provoque la mort de l'arbre. Piqûres noires.</p> <p>CHAMPIGNONS : Maladie du Rond. Pourriture fauve ou rousse ou brune du pied. Chaudron ou gorge : déformation, renflement annulaire du tronc et des branches, souvent pourri au coeur, ce qui fragilise l'arbre.</p>	
<p><u>SYLVICULTURE :</u> Futaie jardinée en montagne, aisée grâce à sa régénération naturelle abondante. Futaie régulière et reboisements artificiels plus difficiles car c'est une essence d'ombre et les jeunes plants démarrent mal à pleine lumière. En montagne souvent associé avec le hêtre, l'épicéa et l'érable sycomore.</p>	
<p><u>. PRODUCTION - CROISSANCE :</u></p> <p>Croissance lente les 10 premières années puis plus rapide jusqu'à 80-110 ans, puis stagne et la cime fait la table ce qui prouve qu'il ne pousse plus : 8 à 15 m³/ha / an. 200 à 200 ans de longévité, exploité à 100 ans. .</p>	
<p><u>. IMPORTANCE ECONOMIQUE :</u> C'est une de nos meilleures essences résineuses, la 4^o pour la surface.</p>	
<p><u>. AUTRES VARIETES :</u> (reboisement de qualité inférieures, mauvaise charpente : pour palettes et papier) - Sapin de Nordmann : aiguilles en brosse : 10 à 13 m³/an. Sapins Concolor et noble. - Sapin de Vancouver ou Géant ou grandis : 18 à 28 m³/an.</p>	

NOM COMMUN: N° 16 : SAPIN PECTINE	NOM BOTANIQUE: ABIES PECTINATA
---	--

1) CARACTERES D'IDENTIFICATION MACROSCOPIQUE

Cernes et structure	Hétérogène, cernes bien visibles et bois final abondant formant un veinage marqué plus large et plus tranché, plus coloré que celui de l'épicéa.
Rayons ligneux et maillure	RL non visibles et maillure à peine visible sur quartier, ils sont clairs sur fond mat tandis que ceux de l'épicéa sont bruns mats sur fond clair.
Vaisseaux	Bois initial blanc clair et bois final faiblement coloré en rougeâtre.
Particularités	Parfois le bois est plus rouge mais il s'agit de la veine rouge du bois de compression. Il n'a pas de canaux résinifères ni de poches de résine ce qui le distingue de l'épicéa : n'a pas d'odeur de résine.

2) DESCRIPTION DU BOIS

Aubier	Non distinct blanc
Duramen	Blanc mat contrastant avec l'aspect brillant de l'épicéa, parfois couleur brun marron au centre.
Fil du bois	Bien droit sauf au voisinage des noeuds.
Grain	Variable selon la croissance : très serré si l'arbre a poussé en altitude.
Remarque	Noeuds gros et noirs non adhérents. Bois tendre et léger s'il a poussé vite.

3) PROPRIETES

Masse à 15 % : 350 à 550 kg	Séchage : facile et rapide
Résistance mécanique	Moyennement résistant et rigide, très fissile.
Retrait, stabilité	Faible à moyen, bois peu nerveux sauf s'il possède la veine rouge (= très nerveux)
Aptitude au sciage	Facile sauf pour les gros noeuds noirs.
Durabilité naturelle	Faible à nulle : inférieure à l'épicéa.
Aptitude à la préservation	Moyennement à peu imprégnable ce qui limite ses emplois extérieurs.
Observations	Résistance inférieure à l'épicéa mais supérieure au pin sylvestre.

4) PRINCIPAUX EMPLOIS :

Toutes charpentes : traditionnelle, fermette et lamellée collée.
Menuiserie intérieure de bâtiment, meubles, caisserie, coffrage, trituration : les mêmes que l'épicéa, en scierie ils sont vendus mélangés dans les paquets sans distinction sous l'appellation "sapin-épicéa".

5) ESSENCES POUVANT ETRE CONFONDUES AVEC LE : SAPIN

- 1° Epicéa : il y a des poches de résine, il est plus blanc, possède des noeuds blancs.
- 2° Aubier blanc du pin sylvestre : mais on peut voir des canaux résinifères bruns.



N° 17 : EPICEA COMMUN**AIRE NATURELLE :**

- Aire très étendue : Europe Septentrionale et Centrale, allant depuis le cercle polaire Arctique jusqu'aux Carpates au Sud, et en Sibérie vers l'Est.
 - Forme d'immenses forêts dans les plaines d'Europe du Nord seul ou en mélange avec le pin sylvestre. - Abondant en forêt Noire, Jura, Alpes, Mont Tatra et Carpates.

**LOCALISATION EN FRANCE :**

- A l'état naturel se trouve dans le Haut Jura, les Alpes du Nord et un peu les Vosges.
 - En reboisement en plaine et basses montagnes : Massif Central, Vosges, Ardennes

**CARACTERES BOTANIQUEES :**

. **PORT** : 40 à 50 m et 1 m de diamètre, fût droit, faible décroissance, branches pendantes.
 . **ENRACINEMENT** : Superficiel = sensible au vent : chablis au moindre coup de vent violent.
 . **FEUILLES ou AIGUILLES** : Persistantes insérées isolément autour du rameau, 15-25 mm vertes.
 . **ECORCE** : Brun rougeâtre, s'exfoliant en écailles, d'abord minces puis plus épaisses et noirâtres.
 . **BOURGEONS** : Ovoïdes pointus bruns non résineux.
 . **FRUITS** : Cônes bruns, longs pendants et se détachant entiers à maturité.
 . **GRAINES** : Récolte : novembre à janvier. petites graines (4 mm) mates sur les 2 faces

**EXIGEANCES EDAPHIQUES ET CLIMATIQUES :**

. Essence de demi-lumière : craint peu les gelées, exigeant en eau, préfère les climats humides mais résiste mieux que le sapin à la sécheresse, et aux hivers froids (-35 à -40°)
 Accepte tous les sols de calcaires à acides, et très humides même tourbeux. Peu exigeant, s'adapte partout mais au détriment de la qualité du bois.

DEFAUTS ET ALTERATIONS :

Poches de résine plus ou moins grosses. Veine rouge du bois de compression. Echauffure fréquentes surtout si les accroissements sont larges. Roulure. Fil tors sur les bois de petits diamètres en reboisement. Bleuissement

ENNEMIS

INSECTES : Attaqué par le capricorne, par un scolyte : le typographus
CHAMPIGNONS : Maladie du Rond causé par le Fomes Annosus. Echauffures et bleuissement.

SYLVICULTURE :

Soit en peuplement pur, soit associé au sapin et au hêtre; la régénération naturelle étant difficile, on rencontre surtout des reboisements artificiels qui forment des futaies régulières.

. PRODUCTION - CROISSANCE :

Croissance rapide dès la 3^e année : 12 à 23 m³/ha / an. 400 à 500 ans de longévité, exploité à 100 ans. .

. IMPORTANCE ECONOMIQUE :

Très utilisé en reboisement, c'est la 3^e essence résineuse qui est plantée partout. Il est commercialisé en mélange avec le sapin : 5 200 000 m³ ont été exploités en 1984 et ont produits 3 millions de m³ de sciages.

. AUTRES VARIETES :

-Epicéa de Sitka : aiguilles très piquantes à 2 bandes blanches en dessous que l'on plante sur les sols très humides.
 - Epicéa Omorica qui est une autre essence exotique de reboisement.
 - Le sapin blanc de Nord importé de Scandinavie, de Russie est un épicea : il n'y a pas de sapin dans ces pays froids.

NOM COMMUN : N° 17 : EPICEA COMMUN	NOM BOTANIQUE : PICEA EXCELSA ou ABIES
---	---

1) CARACTERES D'IDENTIFICATION MACROSCOPIQUE

Cernes et structure	Hétérogène, cernes bien visibles mais bois final moins marqué, moins coloré que celui du sapin. Cernes de 1 à 10 mm selon la croissance.
Rayons ligneux et maillure	RL non visibles et maillure à peine visible sur quartier, ils sont bruns mats sur fond clair brillant.
Vaisseaux	Bois final plus étroit, moins tranché que le sapin ce qui donne un veinage discret.
Particularités	Poches de résine ce qui le distingue du sapin et odeur de résine surtout lorsqu'il est frais, humide

2) DESCRIPTION DU BOIS

Aubier	Non distinct blanc jaune pâle
Duramen	Blanc lustré-brillant quand il est raboté, plus blanc que le sapin.
Fil du bois	Toujours droit, seulement interrompu par de nombreux noeuds
Grain	Serré (cernes 1 à 3 mm) à grossier pour les épicéas de plaine à croissance rapide
Remarque	Petits noeuds adhérents blancs bruns ou seulement cernés de noir.

3) PROPRIETES

Masse à 15 % : 350 à 600	Séchage : facile et rapide
Résistance mécanique	Peu résistant et rigide, très fissile
Retrait, stabilité	Moyennement stable, retrait faible, peu nerveux (sauf veine rouge)
Aptitude au sciage	Facile à travailler sauf noeuds durs et tendance à l'arrachement des fibres.
Durabilité naturelle	Peu à non durable en fonction de la largeur des cernes.
Aptitude à la préservation	Moyennement à peu imprégnable
Observations	En menuiserie et charpente résistante il faut éviter les accroissements > à 5 mm.

4) PRINCIPAUX EMPLOIS :

Bois d'éclaircie : bois de trituration ce qui était la raison des nombreux reboisements depuis l'après guerre car nous étions et sommes encore déficitaires en papier et pâtes à papier.

Autres bois : menuiserie intérieure (moulure, lambris, huisserie), toutes charpentes, coffrage, palettes. Poteaux PTT et EDF.

Certains très beaux épicéas du Jura à cernes très fins, de droit fils, sont recherchés par les luthiers.

5) ESSENCES POUVANT ETRE CONFONDUES AVEC LE : L'Epicéa commun

Le Sapin et l'aubier du pin sylvestre. Et tous les épicéas et les sapins exotiques reboisés en France.



Annexe 2 : Classement qualitatif des bois

- Classement d'aspect des sciages résineux défini par la norme européenne NF EN 1611-1 (Octobre 1999) applicable aux épicéas, sapins, pins et douglas européens .
- Dimensions des bois sciés : la Norme NF EN 1313-1 d'avril 1997, amendée en mars 2000, fixe les dimensions préférentielles existant sur le marché et les écarts admissibles.
- Classement structure visuel : la norme NF B 52-001 de décembre 1998 fixe les critères visuels associés à des classes de résistance pour l'utilisation en structure des principales essences résineuses et feuillues françaises.
- Classement structure par machine : la Norme NF EN 519 définit les classes de bois sciés utilisables en structure obtenues lors d'un classement par machine.

Le classement d'aspect des sciages résineux européens repose sur des critères visuels relatifs à l'aspect des faces et des rives selon la nature, l'importance et la localisation des singularités, les imperfections de débit et les altérations du bois.

Pour classer une pièce, il convient d'examiner successivement les quatre côtés de la pièce et de leur attribuer un choix en fonction des limites admises dans chaque choix pour les différents critères.

Les choix possibles sont 0, 1, 2, 3, 4 .Le choix de la pièce est du choix immédiatement supérieur au choix du côté le moins beau(pièces de section carrée). Dans le cas de pièces de section rectangulaire, le choix de la pièce est le choix immédiatement supérieur au choix de la moins belle face. Toutefois si la rive est d'un choix inférieur au choix établi par le classement des faces, la pièce est du choix de la plus mauvaise rive.

Ce système est bien conforme à la réalité : lors de la mise en ouvre du bois , les utilisateurs ont toujours pris en compte la notion de parement et de contreparement. La qualité de la rive, de largeur réduite par rapport à celle de la face, est un élément important de l'utilisation d'une pièce, tant au niveau de l'aspect que de la solidité de la pièce.

Le tableau ci-après illustre la façon de déterminer le choix d'une pièce de bois scié en fonction de la qualité de ses faces et rives. Il est théorique, car certains cas de figure se présenteront peu souvent, le choix d'une pièce de bois scié étant une conséquence naturelle du tronçon de l'arbre d'où est issue la pièce de bois sciée.

Il introduit deux modes de classement, repérés par le préfixe G2- ou G4-. Dans ce préfixe la lettre G- indique le mode de classement (G2- indique que les nœuds ont été pris en compte sur deux faces ; G4- indique que les nœuds ont été considérés sur les 4 côtés.). Les autres caractéristiques sont considérées sur les quatre côtés. En France, le système G4- est le plus appliqué.

Référence pièce	Face1	Face 2	Rive 1	Rive 2	Choix pièce	
A	1	2	1	1	1	1
B	1	3	2	2	2	2
C	1	1	2	1	1	2
D	1	1	2	3	1	3

Dans la détermination des choix, les nœuds sont souvent considérés comme primordiaux. Il faut pourtant reconnaître que lors de l'utilisation du bois, ils ne sont pas le critère à exclure absolument. Même s'ils ne font pas référence à une utilisation donnée, les choix définis ci-dessus sont plus ou moins adaptés à un type d'utilisation. Il ne faut pas oublier que ces choix sont des choix de matière première, à partir de laquelle des ouvrages finis peuvent être réalisés dans des conditions spécifiques de rendement matière et de rentabilité, selon la destination de l'ouvrage fini et le degré d'acceptation des singularités du bois dans l'ouvrage fini.

La prise en compte de quelques singularités significatives

Les nœuds

Ils sont mesurés sur le côté où la branche, origine du nœud sur le bois scié, a été coupée transversalement par rapport à son axe longitudinal. Dans le cas contraire ils sont pris en compte par leur présence (admis avec limitation de nombre ou exclus). Lorsqu'elle est mesurée, la dimension du nœud prise en compte sur les faces est la moyenne entre la plus petite dimension du nœud et sa plus grande dimension. Sur les rives, la dimension prise en compte est la distance entre les tangentes aux nœuds parallèles aux arêtes de la pièce :



Dimensions à prendre en compte :
 sur les faces (Noeuds A; B; C) = $(a+b)/2$
 sur les rives (Noeuds D; E; F) = entre les tangentes parallèles

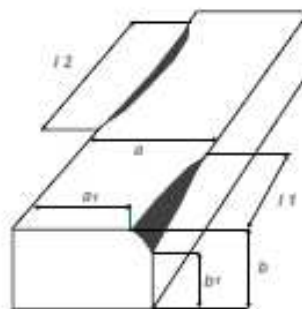


Dimensions à prendre en compte :
 sur les faces (Noeuds A; B) = $(a+b)/2$
 sur les rives (Noeud A) = entre les tangentes parallèles aux rives
 sur les rives (noeud B) = présence

Les flaches

Particularité liée au débit, due aux irrégularités de forme de la grume ou à sa conicité, la flache est la portion visible de la surface de la grume d'où provient la pièce. Les flaches sont caractérisés par :

- leur longueur qui est la plus grande distance entre les extrémités de la flache. En cas de présence de plusieurs zones flacheuses sur la pièce, les longueurs des flaches individuelles s'additionnent,
- leur largeur sur les faces,
- leur épaisseur sur les rives.



Dimension à prendre en compte:
 Sur les faces: $(a-b) / a$ et noter la longueur $l1 + l2$
 Sur les rives: $(b-b) / a$ et noter la longueur $l1 + l2$

Les gerces de séchage

Elles se présentent comme des fentes étroites orientées souvent suivant leur plan radial. On note leur présence qui ne diminue en rien la solidité de la pièce mais pourrait créer

des défauts d'aspect lors de certaines finitions si le rabotage ne les a pas fait disparaître totalement.

Les fentes

Elles trouvent leur origine soit dans le bois rond, soit lors du débit (dues au séchage ou aux contraintes de croissance). Les textes de définition des bois sciés prennent en compte :

- les fentes en bout, qui peuvent disparaître au rabotage,
- les fentes de face, appréciées par leur présence ou leur longueur.

Dimension à prendre en compte:

Sur les faces: $(a-a1) / a$ et noter la longueur l1 +l2

Sur les rives: $(b-b1) / a$ et noter la longueur l1 +l2

Les autres singularités

Parmi les principales singularités (caractéristiques du bois dues à la croissance normale de l'arbre), on peut citer :

- **l'entre- écorce** : partie d'écorce incluse dans une pièce de bois scié. Elle peut être superficielle ou traversante.
- **les poches de résine** : cavités allongées qui contiennent de la résine. On distingue les petites poches de résine de longueur inférieure à 50 mm et les grosses poches de résine de longueur supérieure à 50 mm.
- **le fil du bois** : direction des fibres du bois par rapport à l'axe longitudinal de la pièce. On prend en compte :
 - la pente générale de fil, importante dans l'appréciation de la résistance mécanique de la pièce
 - la pente de fil anormale (fil tors , fil ondulé, bois ronceux), qui peut avoir une incidence sur le comportement de la pièce pour certains emplois.
- **la présence de moelle** : si elle apparaît sur un côté de la pièce, elle est le signe de la présence du coeur découvert, qui peut gêner pour certaines utilisations.

Les altérations biologiques

Discolorations dues à des champignons

- le bleuissement : coloration bleuâtre, superficielle ou profonde, provoquée par un champignon. Il n'entraîne pas de changement appréciable de la consistance du bois et de ses propriétés mécaniques.

- l'échauffure : provoquée par l'attaque de champignons sur du bois humide, elle se manifeste par un changement de couleur. Elle influe sur l'ensemble des propriétés mécaniques de la pièce. Lorsque elle est importante, elle évolue vers de la pourriture qui s'accompagne d'un changement très accentué de consistance du bois.

Dégâts d'insectes

Ils sont bien connus sous le nom de piqûres ou de trous de vers. Ce sont des trous et galeries creusés dans le bois par les insectes ou leurs larves. Ces piqûres peuvent être inactives, trous de sortie de l'insecte : elles sont alors souvent cernées de noir (piqûres noires), ou actives (piqûres blanches). La distinction entre les deux types est assez aisée sur une pièce de bois scié.

Description des différents choix

Choix (G2- ou G4-) 0

Les pièces de bois scié composant un lot de bois classé .0 présentent peu de petits nœuds sur les 4 côtés de la pièce, des flaches réduites devant disparaître au rabotage, peu de poches de résine, fentes ou gerces et aucune trace d'altération biologique ou de dégâts d'insectes. Les déviations de fil anormales sont exclues.

Les pièces de choix 0 sont destinées plus particulièrement à être utilisées en menuiserie fine, ameublement, agencement, décoration, menuiserie intérieure et extérieure, fermetures. Elles se trouvent en quantité réduite. Elles sont rares dans les grandes dimensions. En France, principalement dans les pins, on trouve des bois sans nœuds. Ce choix est désigné sous l'appellation 0-A.

Choix (G2- ou G4-) 1

Les pièces de bois scié composant un lot de bois classé -1 présentent des nœuds de dimension petite à moyenne, en nombre réduit, fonction de la dimension des nœuds. Les

nœuds noirs non sautant sont acceptés s'ils sont sains. Certaines pièces peuvent comporter des nœuds moustache.

La présence des nœuds est compatible avec l'appellation souvent utilisée de « bois rabotable » pour désigner des bois de choix 1.

Les poches de résine sont peu nombreuses et de petite taille. Les flaches doivent disparaître au rabotage. Aucune trace d'altération biologique ou de dégâts d'insectes n'est autorisée. Les déviations de fil anormales sont exclues.

Les pièces de choix 1 constituent une matière première particulièrement adaptée à l'utilisation en charpente choisie, en charpente industrielle ou lamellée - collée, en menuiserie courante et en agencement, à l'élaboration de fermetures, d'emballages spéciaux.

Pour les emplois structure, il y a lieu de vérifier leur conformité avec la classe de résistance mécanique désirée, définie ci-après.

Choix (G2- ou G4-) 2

Les pièces de bois scié composant un lot de bois classé -2 comportent en général des nœuds de dimension individuelle restant souvent limitée à 45 .50 mm. Dans certains cas de pièces de très grosse section, ils peuvent être plus gros, sans que leur dimension ne nuise à la solidité de la pièce. Il n'y a pas de restriction quant à la nature et qualité du nœud. La présence de nœuds pourris ou sautés reste toutefois accidentelle.

La dimension des flaches est limitée à 10 mm de chaque côté de la pièce et à 30% de la longueur sur chaque arête. Des légères traces de bleuissement et d'échauffure peuvent être présentes sur un nombre limité de pièces. Toute autre altération biologique et dégât d'insecte sont exclues. Les déviations de fil anormales sont permises.

Les pièces de choix 2 constituent une matière première particulièrement adaptée à l'utilisation en charpente traditionnelle, en ossature ou pour différentes structures travaillantes, en menuiserie courante, en emballage industriel.

Pour les emplois structure, il y a lieu de vérifier leur conformité avec la classe de résistance mécanique désirée, définie ci-après.

Choix (G2- ou G4-) 3

Les pièces de bois scié composant un lot de bois classé -3 présentent les singularités dont la dimension, la nature ou le nombre n.ont pas permis le classement de la pièce dans les choix précédents. La solidité et la mise en ouvre de l'ensemble de la pièce ne doivent pas être compromises.

Les flaches sont limités à 20 mm de chaque côté de la pièce et à 50% de la longueur.

La présence de pourriture est exclue. La présence de piqûres noires doit affecter moins de 15% de la surface de la pièce.

Elles sont souvent désignées en scierie sous le vocable « caissage », ou « palette », mais peuvent être utilisables dans une large étendue d'emploi pour lesquels l'aspect n.a qu'une importance minime.

Choix (G2- ou G4-) 4

Correspond à toutes les pièces déclassées des choix précédents. La configuration géométrique de la pièce doit toutefois être préservée. Les flaches peuvent être importantes mais restent limitées à 20 mm épaisseur. La présence de pourriture est limitée à quelques tâches.

Le choix 4 est communément dénommé sous le vocable « coffrage », même s'il est possible de l'utiliser pour d'autres emplois.

Le classement structure

Les choix structurels et leurs applications

Pour mieux répondre aux conditions d'utilisation en structure des résineux français et aux conditions de disponibilité sur le marché, le CTBA a mis au point une méthode de classement visuel. Cette méthode est conforme aux textes normatifs européens et fait l'objet des parties 4 et 5 de la norme française de décembre 1998.

Le classement visuel structure définit 3 choix désignés par les appellations ST-I, ST-II, ST-III. Les correspondances entre classes mécaniques et visuelles sont données dans le tableau suivant (EN 1912 de Septembre 1998) :

Correspondance des classements

Classe de résistance mécanique (EN 338)	Classe visuelle
C 30	ST-I
C 24	ST-II
C 18	ST-III

Dans les appellations C30, C24, C18, la lettre C (classe) est suivie du nombre correspondant à la valeur de la contrainte caractéristique de rupture en flexion exprimée en mégapascals (Mpa).

La classe C18 convient bien aux utilisations en charpente traditionnelle.

La classe C24 convient essentiellement à la charpente industrielle (fermettes) et lamellée-collée.

La classe C30 est préconisée pour la charpente lamellée-collée à hautes performances.

Le classement basé sur l'aspect est spécifique à chaque essence, pour les valeurs admises pour les cernes d'accroissement et les noeuds (voir tableau).

Module 1 : Le matériau bois et ses dérivés

ESSENCES	METHODE ET ZONE DE PRISE EN COMPTE DU CRITERE	CLASSES		
		ST-I	ST-II	ST-III
LARGEUR DES CERNES D'ACCROISSEMENT (mm)				
Sapin - Epeicea - Pins		6	8	10
Douglas		8	10	12
DIAMETRE DES NOEUDS				
Sapin - Epeicea - Douglas	Sur la face	Ø 1/6 largeur et Ø 30 mm	Ø 1/2 largeur et Ø 50 mm	Ø 3/4 largeur et Ø 100 mm
	Sur la rive	Ø 2/3 épaisseur et Ø 40		
Pins	Sur la face	Ø 1/10 largeur et Ø 15 mm	Ø 1/3 largeur et Ø 50 mm	Ø 2/3 largeur et Ø 100 mm
	Sur la rive	Ø 1/3 épaisseur et Ø 15 mm	Ø 1/2 épaisseur et Ø 30 mm	Ø 1/2 épaisseur et Ø 30 mm
FENTES				
Toutes essences	traversantes	longueur	deux fois la largeur de la pièce	600 mm
	non traversantes	longueur	moitié de la longueur de la pièce	non limitée
GROSSE POCHÉ DE RESINE				
Toutes essences		non admise	admise si < 80 mm	
ENTRE-ECORCE				
Toutes essences		Non admise		
PENTE DE FIL (EN %)				
Toutes essences	locale	10%	25%	
	générale	7%	17%	
FLACHES				
Toutes essences	longueur	1/3 de la longueur de la pièce et non admises < 100 cm		
	largeur	1/3 de l'épaisseur de la pièce		
ALTERATIONS BIOLOGIQUES				
Toutes essences	bleu - traces de gui	permis		
	piqûres noires	permises sur une seule face		
	echauffure	exclue		
DEFORMATION MAXI. (en mm/Longueur de 2 m)				
Toutes essences	flèche de face (mm)	10		20
	flèche de rive (mm)	8		12
	gauchissement	1 mm / 25 mm de largeur		2 mm / 25 mm de largeur
	tuilage	Admis		

Aspects spécifiques de mesure de certaines singularités

Mesurage des nœuds

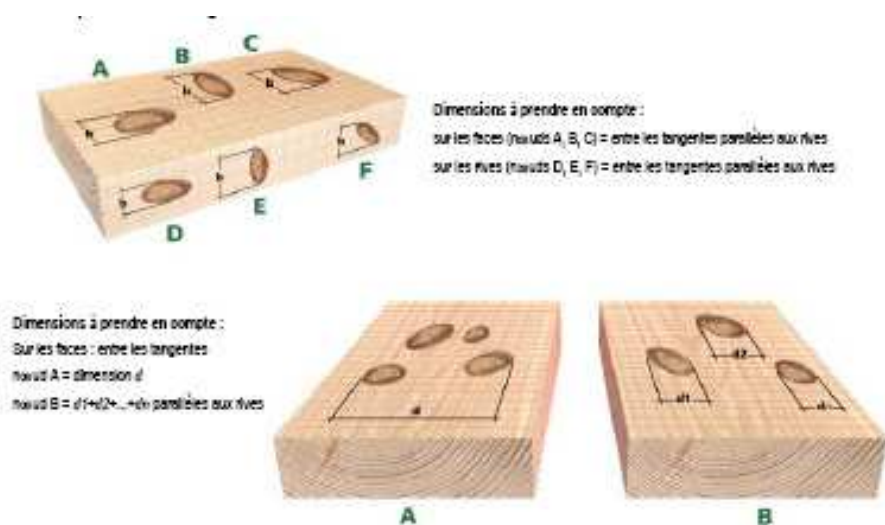
La dimension des nœuds est mesurée sur le côté où le nœud est coupé transversalement ou obliquement entre les tangentes aux nœuds ou au groupe de nœuds parallèles à l'axe de la pièce.

La notion de nœuds groupés est primordiale dans le classement visuel d'aspect selon la résistance mécanique de la pièce.

Définition des nœuds groupés (NF EN 844)

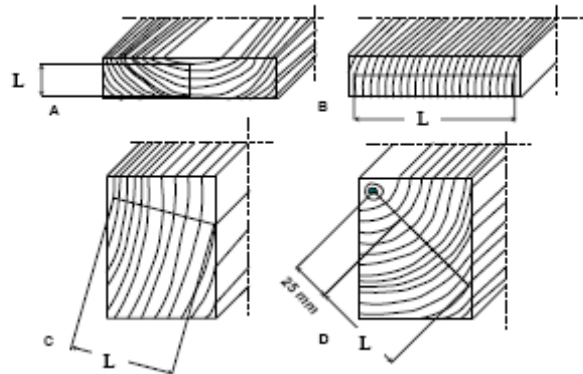
Nœuds situés de telle façon que la rectitude du fil n'est pas rétablie entre deux nœuds successifs. Il est admis conventionnellement que la distance entre deux nœuds consécutifs (dans le sens longitudinal) doit être inférieure à la largeur de la pièce ou inférieure à 150 mm, dans le cas où la largeur de la pièce dépasse 150 mm.

Exemple de mesure des nœuds



Mesurage des cernes d'accroissement

On prend en compte la moyenne de la largeur des cernes mesurée $L / \text{Nombre de cernes}$.



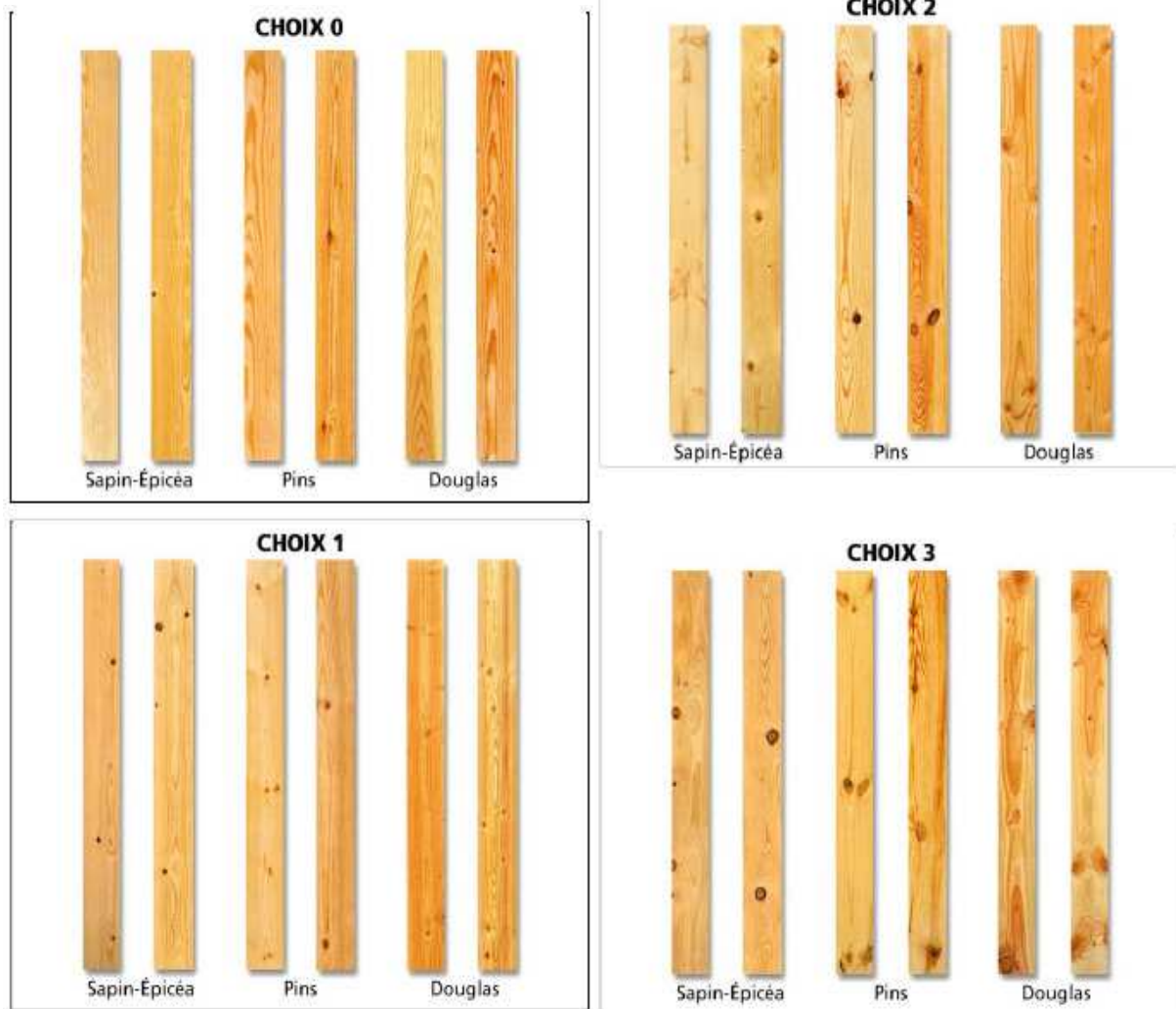
Influence de la teneur en humidité sur les caractéristiques du bois

La teneur en humidité influe sur les caractéristiques dimensionnelles, physiques et mécaniques. La valeur des principales caractéristiques mécaniques indiquées dans le tableau précédent correspondent à une teneur en humidité de 12 % qui est la référence européenne.

Lorsque l'on utilise des bois à une teneur en humidité différente, ces valeurs doivent être corrigées selon les prescriptions des règles CB.71 et prochainement, celles de l'Eurocode 5.

Les valeurs admissibles en traction et en flexion sont diminuées de 2% par % de teneur en humidité au dessus de 12%. Pour les autres sollicitations mécaniques, cette correction est de 4% par % de teneur en humidité.

Aperçu des différents classements d'aspect de bois de résineux



Annexe 3 : Etude des vibrations d'une lame

Le tensionnage est une opération d'entretien qui doit être réalisée sur les lames comme l'affûtage, bien qu'à des fréquences moins régulières. Cependant, la scierie SIAT-BRAUN n'est pas équipée de matériel permettant la réalisation de cette opération. Nous nous sommes donc intéressés à ce problème en étudiant les caractéristiques vibratoires de certaines lames afin de savoir s'il était nécessaire pour l'entreprise d'investir dans ce type d'équipement.

Matériels et méthodes

Les lames testées étaient au nombre de 10, elles avaient pour caractéristiques dimensionnelles et angulaires :

- Diamètre extérieur = 520 mm (+/- 2);
- Diamètre moyen = 250 mm (+/- 2mm) ;
- Epaisseur moyen = 5.1 mm (+0.05mm);
- Epaisseur trait de scie = 4 mm (+0.05mm);
- Epaisseur corps de lame = 2.6 mm (+0.05mm);
- Z = 30 dents ;
- Angle de coupe = 24° ;
- Angle de dépouille = 12° ;
- Un couple de racleurs externes et deux internes sur deux diamètres différents.

D'autres lames de mêmes caractéristiques ont été testées par la suite, comme par exemple une lame en fin de vie, c'est-à-dire une lame dont le diamètre a diminué d'environ 8mm (valeur limite fixée par expérience).

Pour chaque série de tests, les paramètres de production ont été relevés à partir de l'ordinateur de la ligne (Tableau 1-I), notamment la vitesse d'avance ainsi que le nombre de mètres linéaires sciés.

Num prod	Description	Mètres linéaires (m)	volume de billons (m3)	Hauteur de coupe (mm)	vitesse d'avance (m/min)	avance par dent (mm)	Nombre de pièces (-)
AA	36x197 5X	15	1,1	197	58	0,62	3
	36x197 5X	4130	288,9	197	58	0,62	833
A	75x197 4X avec 50	2638	314,5	197	75	0,81	626
B	75x197 4X + 36x197 1X	332	49,4	197	58	0,62	60
	75x197 4X + 36x197 1X	1272	183,9	197	58	0,62	239
C	75x225 3X SOGOPA	1743	168,9	224	104	1,12	289
	75x225 3X	555	53,6	224	104	1,12	125
D	75x225 3X + 36x225 1X avec 25	5384	601,5	224	98	1,06	1224
E	75x197 5X avec 75 au PP	1145	197	197	58	0,62	239
	75x197 3X	1022	82,9	197	127	1,37	225
	75x197 3X 7 m	576	49,1	197	86	0,93	86
	75x197 3X	2715	233,3	197	127	1,37	604
F	75x197 3X 3mp	1471	126	197	109	1,18	467
F	36x222 6X 36 fraisage	1795	182,4	222	86	0,93	317
G	75x225 4X avec 50 au PL	3139	416,2	224	75	0,81	691

Tableau 1-I : Paramètres de production des tests réalisés

Dans le tableau précédent, la première colonne correspond à la référence de production qui a été étudiée, la deuxième à sa description au niveau de la scierie, la troisième aux mètres linéaires de billons sciés et la quatrième au volume correspondant.

Les lames sont montées dans la machine par campagne de sciage. Ces dernières peuvent varier en quantité de matière sciée d'un facteur 20. Le mode de gestion des lames ne permet pas d'avoir un historique unitaire. Toutes les scies revenant de production sont donc systématiquement réaffûtées. Par contre, il arrive que certaines campagnes successives, qui ne demandent pas de changement de réglages soient sciées l'une après l'autre sans que les outils ne soient donc réaffûtés. Il faut donc additionner les quantités de bois sciés par ces lames pour une production, sans oublier que les conditions d'usinage n'ont pas été les mêmes.

Pour comparer les travaux réalisés par les lames entre les différentes campagnes, il est intéressant de comparer la section sciée par chacune, c'est-à-dire le nombre de mètres linéaires par hauteur de sciage.

Avant chaque campagne de production, les fréquences propres des lames ont été testées en mode libre, c'est-à-dire lorsque la lame n'est pas maintenue (Figure 1-1) Lors des retours, les lames étaient vérifiées mais n'ont pas été sonnées du au manque de temps, les cadences de production imposant qu'elles soient traitées au plus vite pour les prochaines campagnes. En effet, le stock par type de lame est de 60. Pour chaque campagne, entre 10 et 26 lames sont utilisées. Si plusieurs campagnes successives utilisent le même type de lames, ces dernières doivent être remises en état le plus vite possible afin d'éviter toute pénurie. Cependant, aucune des opérations jugées a priori critiques (planage, brasage) pour les

fréquences n'ont été pratiquées, mais seulement une opération d'affûtage sur la face de coupe des dents. L'étude portera donc sur la modification des fréquences propres par la « fatigue » due à l'usinage.

Les matériels utilisés pour ces essais ont été (Figure 1-1) :

- Un ordinateur équipé d'un logiciel d'acquisition ;
- Une centrale d'acquisition ;
- Un accéléromètre ;
- Un marteau d'impact.

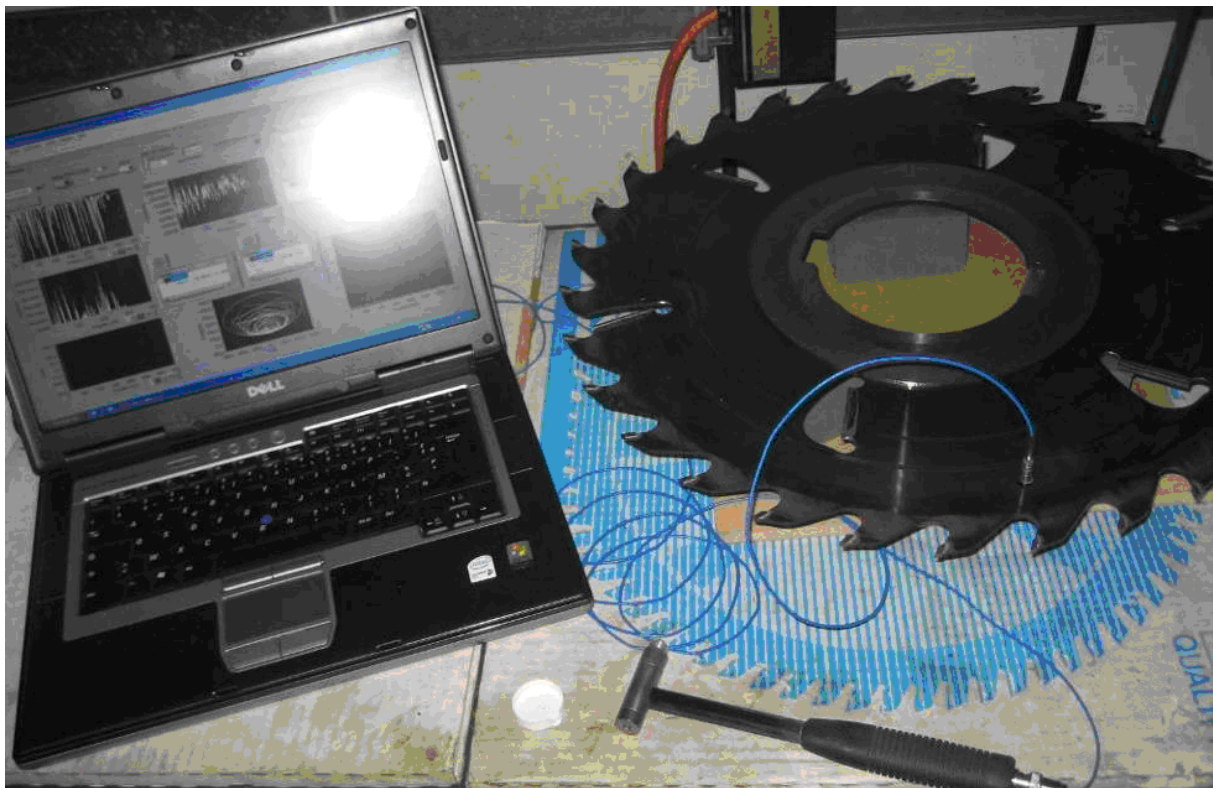


Figure 1-1 : Aspect du montage d'acquisition

Pour une lame, testée en mode libre, il a été testé plusieurs points de mesure, dans le but de vérifier si les résultats étaient les mêmes suivant cette variable (Figure 1-2):

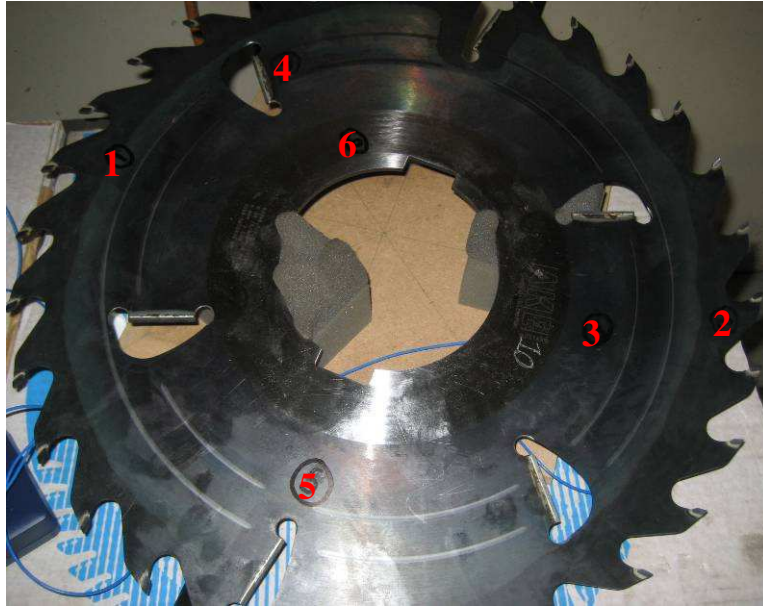


Figure 1-2: Points de mesure sélectionnés

- Le point 1 est situé 1 cm après les lignes de tensionnage, soit aussi à 1 cm des fonds de dent, à 90° du diamètre reliant les deux racleurs externes ;
- Le point 2 est situé sur le cercle reliant les fonds de gorge de dent ;
- Le point 3 est situé juste à côté du moyeu ;
- Le point 4 entre les deux cercles de tensionnage, juste à côté d'un racleur (zone thermiquement modifiée par le brasage de ce dernier) ;
- Le point 5 sur le diamètre reliant les deux racleurs externes ;
- Le point 6 sur le moyeu.

Les graphiques superposés de tous les points ont l'allure suivante (Figure 1-3):

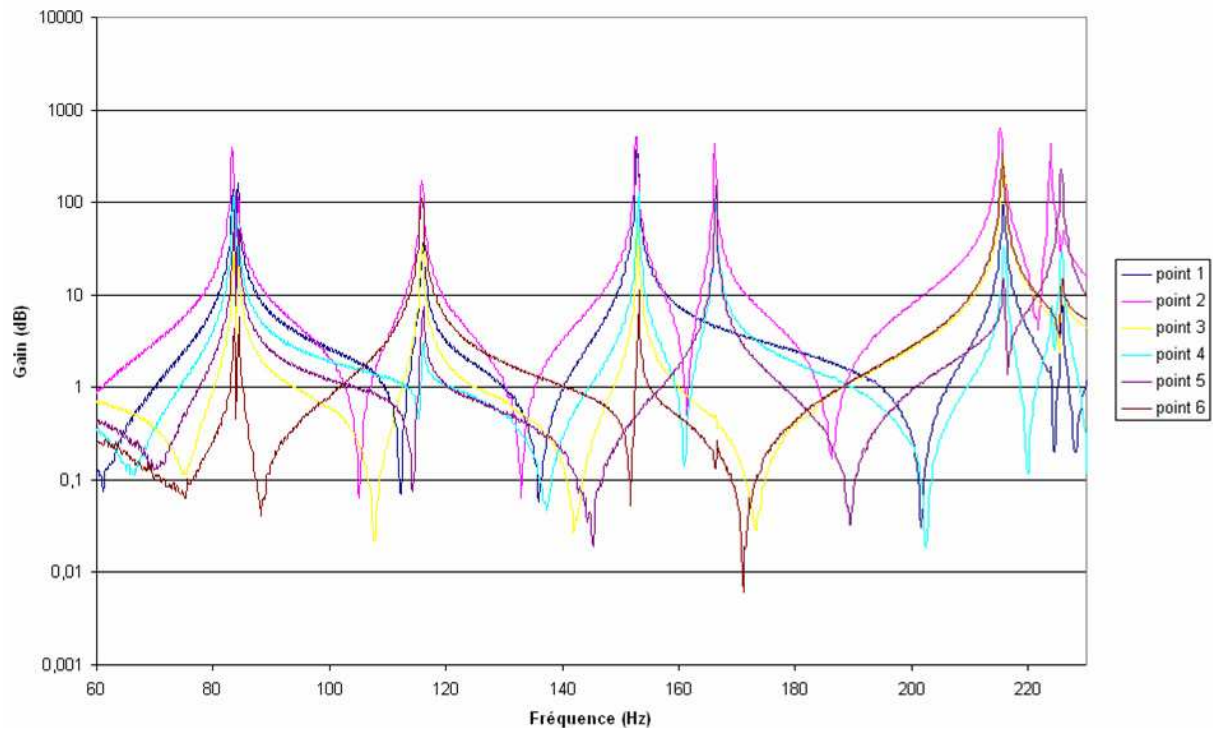


Figure 1-3 : Spectre fréquentiel aux différents points de mesure

Les deux premiers modes de fréquences sont visibles sur tous les points, mis à part le 2, où les deux modes semblent confondus.

Le troisième mode de vibrations est visible sur tous les points.

Le quatrième est visible sur tous les points de mesure, mis à part le 5. Ensuite, pour les points 2, 4, 5 et 6, on relève une harmonique des premiers modes (les fréquences de ces modes étant très proches, il est difficile de savoir de quel mode ils relèvent).

Le cinquième mode est visible sur tous les points.

Il semble donc que les points 1 et 3 soient les plus appropriés pour relever les pics de fréquence des lames, en évitant de confondre des harmoniques de certains modes avec d'autres pics. Pour la suite de l'étude, le point 1 a été choisi arbitrairement pour relever les fréquences de résonance des lames.

De plus, le choix du point de mesure ne semble pas avoir d'influence sur les valeurs relevées, puisque l'écart-type pour chaque mode entre les différents points à une valeur maximum de 0.24Hz, et que le rapport entre la moyenne et cet écart est de 0.2% maximum.

Pour toutes les lames, j'ai réalisé les tracés de graphique de réponse ainsi que les verticales au niveau des fréquences de rotation moteur et leurs 2 premières harmoniques

(Figure 1-4), ceci afin de voir si ces fréquences correspondaient. Dans ce cas, on serait en présence de résonance, donc d'instabilité.

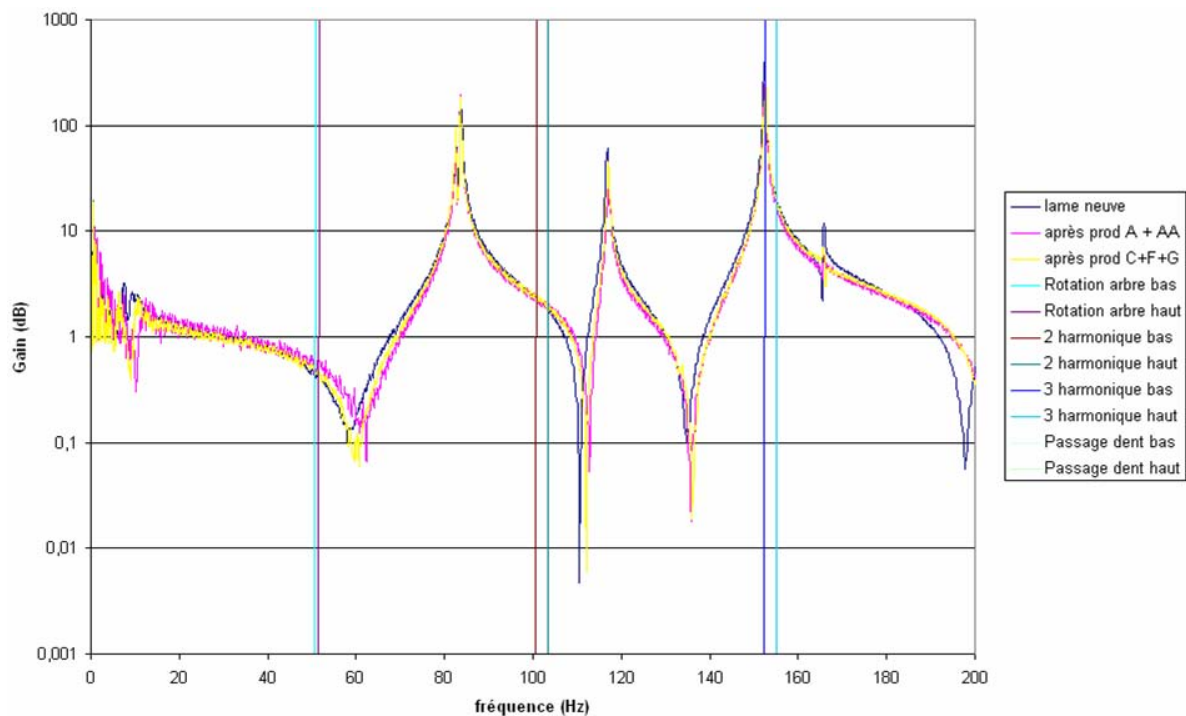


Figure 1-4 : Aspect des graphiques obtenus pour les réponses des lames

Des tests ont donc été réalisés, à différents moments de la vie d'une lame, comme sur la figure précédente. Les courbes semblent se superposer, un test comparatif a été réalisé entre une lame neuve et une autre en fin de vie, mais dont l'historique était inconnu... D'après son aspect visuel, on peut apporter certaines hypothèses : le diamètre avait diminué de 10 mm, soit 5 mm d'affûtage sur la face de dépouille. Cela représente environ 80 opérations d'affûtage, et 8 de rebrasage, c'est-à-dire de changement de pastilles. Cette opération modifie l'organisation de la matière dans le corps de lame par échauffement. Il y avait aussi 50 traces de planage, opération qui consiste à dresser le corps, par martelage manuel. La non plus, il n'est pas possible de savoir quelles ont été les modifications sur la matière.

Les courbes obtenues sont les suivantes (Figure 1-5) :

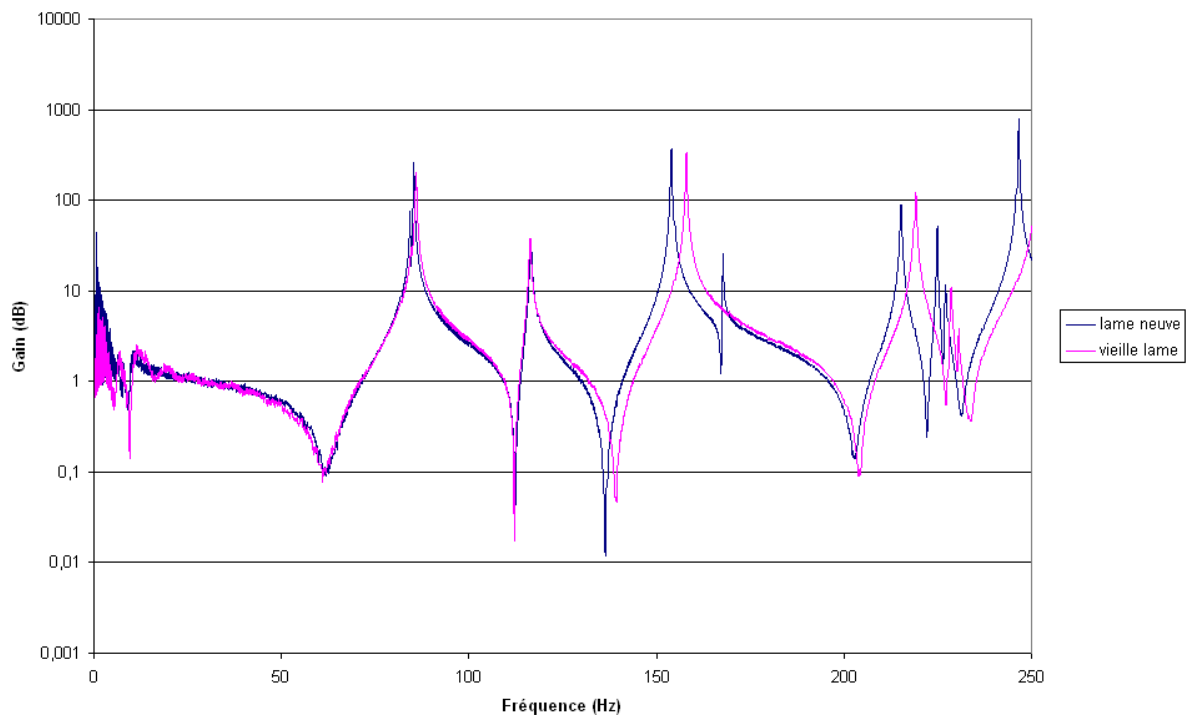


Figure 1-5 : Spectres d'une lame neuve et d'une obsolète

Les valeurs des fréquences ainsi que les largeurs de bande passante associées étaient les suivantes pour ces deux lames (Tableau 1-II):

lame neuve		vieille lame	
fréquence (Hz)	largeur à -3dB (Hz)	fréquence (Hz)	largeur à -3dB (Hz)
84,3	0,020	84,6	0,09
85,3	0,006	86,0	0,011
116,5	0,067	116,5	0,078
154,1	0,049	158,0	0,009
215,3	0,060	219,0	0,054

Tableau 1-II : Comparatif des fréquences et bande passante de deux lames

Les différences ne semblant pas très importantes, et pour juger de l'effet (positif ou négatif) de la vie de la lame sur ses fréquences propres, il convenait de calculer les coefficients de Rayleigh α et β : pour un système amorti, la matrice d'amortissement $[D]$ est décrite comme une combinaison linéaire des matrices de masse $[M]$ et de rigidité $[K]$:

$$[D] = \alpha[M] + \beta[K]$$

Les coefficients α et β sont calculés à partir de l'amortissement modal ξ_i de chaque mode i . Chaque ξ_i peut être obtenu pour un i donné en divisant la bande passante Δf_i à -3dB de la courbe de raideur par la fréquence f_i du mode considéré.

$$\xi_i = \frac{\Delta f_i}{f_i}$$

Dans notre cas, les bandes passantes étaient relativement étroites par rapport à la précision des fonctions discrètes obtenues lors de l'acquisition. Nous avons donc modélisé les spectres par deux fonctions polynomiales d'ordre 2, une avant et l'autre après la fréquence de résonance supposée. L'intersection de ces deux fonctions nous a fourni la fréquence f_i et l'amplitude de la courbe de raideur à laquelle 3 dB ont été retirées. Une plus grande précision au niveau de la largeur de la bande passante Δf_i a aussi été obtenue.

Les facteurs d'amortissement modaux ξ_i sont reliés aux coefficients de Rayleigh α et β par la relation :

$$\xi_i = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{2\pi f_i} + 2\pi f_i \times \beta \right)$$

A partir d'un couple de facteurs d'amortissement modaux, il est donc possible de déterminer α et β et vérifier que les valeurs calculées sont proches de celles des autres couples.

A partir d'un couple donc, et par combinaison linéaire, on obtient :

$$\alpha = \left| \frac{4\pi(\xi_i f_j - \xi_j f_i)}{\frac{f_j}{f_i} - \frac{f_i}{f_j}} \right| \quad \beta = \left| \frac{\Delta f_i - \Delta f_j}{\pi(f_i^2 - f_j^2)} \right|$$

Les valeurs absolues ont été rajoutées puisque des coefficients négatifs n'auraient aucun sens. Pour la lame neuve testée, les coefficients calculés ont été les suivants (Tableau 1-III):

Mode	Rayleigh 0		Rayleigh 1		Rayleigh 2		Rayleigh 3		Rayleigh 4	
	alpha	beta	alpha	beta	alpha	beta	alpha	beta	alpha	beta
0										
1	7,49	2,6E-05	7,49	2,6E-05	0,40	2,3E-06	0,10	5,5E-07	0,16	3,2E-07
2	0,40	2,3E-06			0,81	3,1E-06	0,16	8,3E-07	0,05	4,4E-07
3	0,10	5,5E-07	0,81	3,1E-06			1,14	5,6E-07	0,88	6,8E-08
4	0,16	3,2E-07	0,16	8,3E-07	1,14	5,6E-07			0,47	1,5E-07
			0,05	4,4E-07	0,88	6,8E-08	0,47	1,5E-07		

Tableau 1-III : Coefficients de Rayleigh d'une lame neuve

Pour chaque tableau, le titre (ex : Rayleigh 0) indique quel mode était fixe. C'est pour cela que la ligne correspondant à ce mode est vide, et que les valeurs des couples (i,j) sont identiques à celles des couples (j,i).

Les valeurs de α et β sont différentes pour le couple (0,1) par rapport aux autres, cela vient du fait que ces deux modes sont très rapprochés. Pour les autres, α varie entre 0 et 1, et β entre 10^{-7} et 10^{-6} . Ces coefficients peuvent être comparés à ceux de la vieille lame (Tableau 1-IV):

Mode	Rayleigh 0		Rayleigh 1		Rayleigh 2		Rayleigh 3		Rayleigh 4	
	alpha	beta	alpha	beta	alpha	beta	alpha	beta	alpha	beta
1			31,85	1,1E-04	1,30	6,0E-07	1,54	1,4E-06	1,21	2,8E-07
2	31,85	1,1E-04			0,87	3,5E-06	0,15	3,6E-08	0,04	3,4E-07
3	1,30	6,0E-07	0,87	3,5E-06			2,01	1,9E-06	1,10	2,2E-07
4	1,54	1,4E-06	0,15	3,6E-08	2,01	1,9E-06			0,50	6,2E-07
5	1,21	2,8E-07	0,04	3,4E-07	1,10	2,2E-07	0,50	6,2E-07		

Tableau 1-IV : Coefficients de Rayleigh d'une vieille lame

Les valeurs de α sont toutes plus élevées dans ce cas là, par contre, ce n'est pas le cas pour β , sujet à des diminutions et à des augmentations.

L'augmentation de α traduit une amélioration de l'amortissement, par contre, le caractère aléatoire de β pose problème quant à la rigidité de cette lame, qui ne posait cependant pas de problèmes en production.

Annex 4 : Notice d'utilisation de la machine à braser

Objet : Notice de prise en main de la machine à braser Kirschner LK 400.

1. Choix des pastilles

La précision de la machine permet de diminuer fortement les marges de rectification. Les pastilles qui doivent être choisies sont les suivantes, par type de lame :

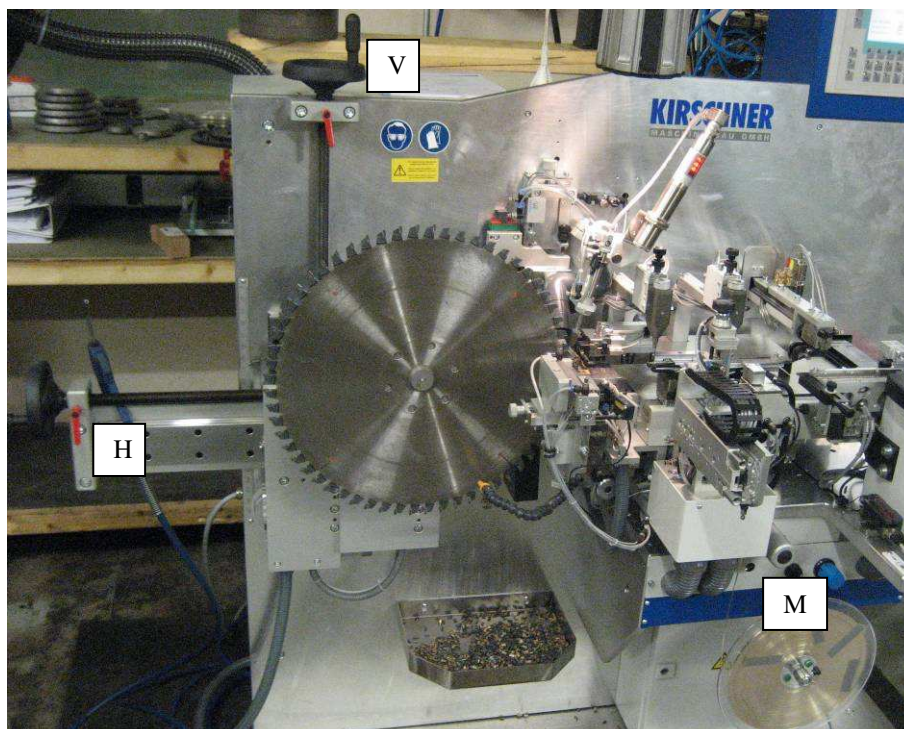
Référence	Longueur	Largeur	Epaisseur	Epaisseur lame
50208	10,5	3,9	3,5	3,4 ; 3,5 ; 3,6
50208	10,5	4,1	3,5	3,8
50208	10,5	4,3	3,5	4
50212	13	4,8	4	4,4 ; 4,5
50212	13	5	4	4,6 ; 4,7
50212	13	6	4	5,5
12356	10,5	3,5	3	2,8

2. Réglage de la position de la lame

Tout d'abord, avant tout réglage de cette position, il faut s'assurer que l'inducteur ne rentrera ni en contact avec la lame, ni avec la pastille.

Pour régler la position de la lame, le mieux est de prendre une pastille sans brasure dans la pince de brasage (mode manuel/braser/ pince de brasage-fermer)

Il faut ensuite avancer la lame et la pince de brasage (mode manuel/braser/ pince de brasage et corps de lame-devant). On peut aussi serrer les mors pour une meilleure précision du positionnement latéral de la pastille.



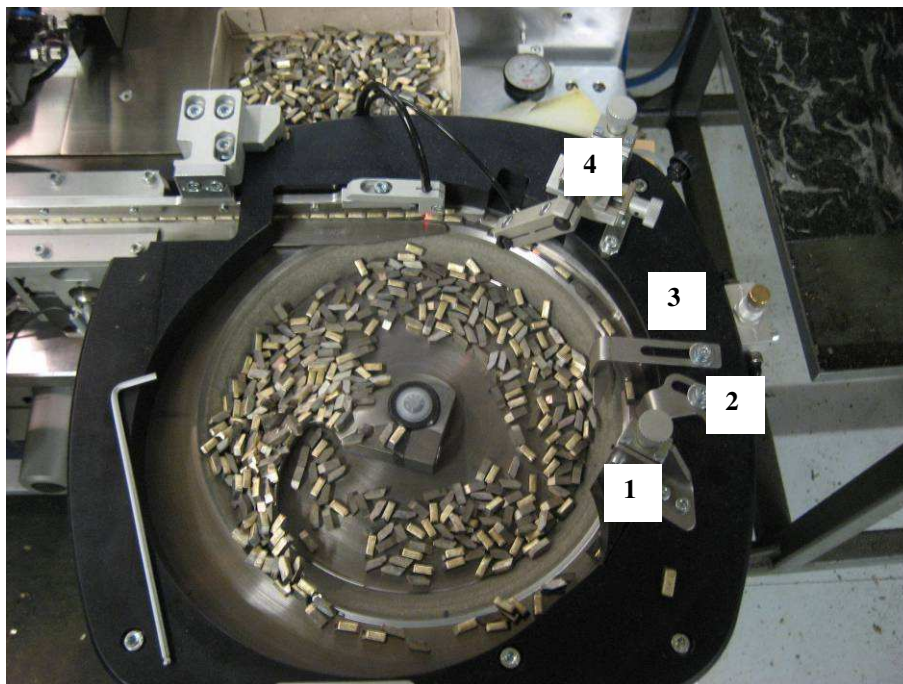
Pour une meilleure vision de l'angle, on peut lever l'inducteur dans sa position de débrasage (mode manuel/braser/inducteur-ouvert).

On peut alors régler l'angle de la lame avec les deux vis [H, V], en plaquant cette dernière sur la pastille. Lorsque l'angle est correct, il suffit de boquer la vis [V], et de reculer la lame avec la vis [H] d'un tour environ.

3. Réglages du bol

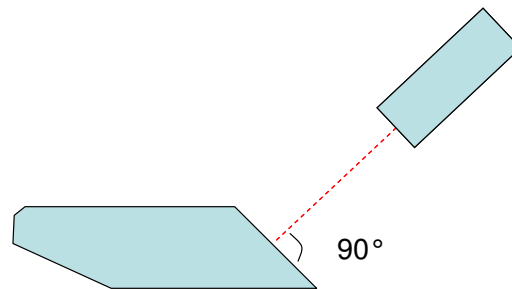
Le bol permet d'acheminer les pastilles dans le rail de guidage dans le bon sens. Il est muni de plusieurs détrompeurs, d'un laser et d'un soufflet qui vont rejeter les pastilles ne se présentant pas dans le bon sens.

Le bol se démarre dans le menu « menu manuel/rail de guidage/bol de tri »

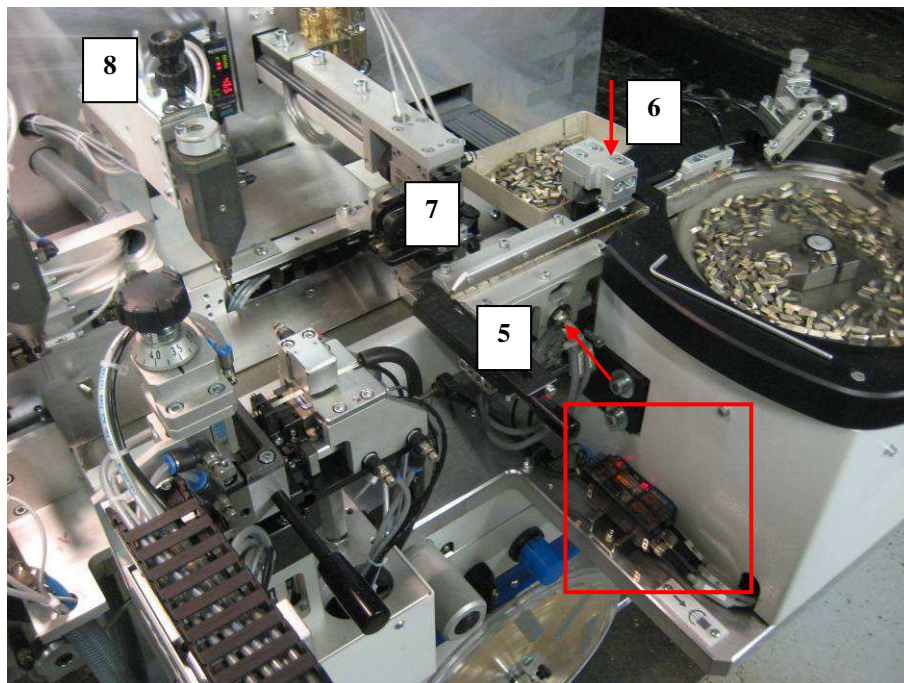


- Le premier détrompeur sert à ce que les pastilles ne soient pas empilées les unes sur les autres avant les autres détrompeurs. Si la différence entre la largeur et l'épaisseur de la pastille est inférieure à 0.8mm, une pastille couchée sur le côté doit pouvoir passer en dessous (se méfier des dépouilles latérales des pastilles).
- Le deuxième s'assure que ces dernières sont dans le bon ordre de marche. Il doit être réglé à environ les deux tiers de la largeur des pastilles, afin de faire retomber dans le bol celles qui ne seraient pas dans le bon sens.
- Le troisième sert à ramener les pastilles en périphérie du bol, avant le passage au laser. Si les pastilles rejoignent la périphérie sans son aide, le régler afin que celui-ci soit complètement au dessus du bol (ce détrompeur est générateur de blocage)
- Le dernier détrompeur est le laser qui va mesurer la longueur du dos des dents et ainsi déterminer si celui-ci est dans le bon sens. En hauteur, il doit être au plus proche de la pastille (mais une pastille sur le flanc doit pouvoir passer en dessous). En largeur, le point du laser doit être au milieu de la pastille, la largeur du rail étant égale à celle de

la pastille). Enfin l'orientation angulaire doit être telle que le laser soit à 90° avec le dos de la pastille.



- Pour vérifier le bon fonctionnement, placer une pastille dans le bon sens et faire tourner le bol manuellement. L'indicateur du laser (encadré rouge de la figure suivante) doit être au maximum lorsque la pastille est présente :



Si le laser rejette trop de pastilles alors que celles-ci sont dans le bon sens, on peut régler le temps de signal d'impulsion dans le menu réglage/données de fonctionnement.

- Le temps d'impulsion désigne le temps minimum pendant lequel le point du laser se reflète contre le dos de la pastille. Si le temps est trop long, toutes les pastilles sont rejetées. Si le temps est trop court, toutes les pastilles rentrent dans le rail, quelque soit leur sens.
- Le temps de soufflage correspond à l'arrêt nécessaire de l'air pour laisser passer une pastille dans le bon sens.
- Le temps d'attente correspond au délai entre la fin de la détection de la pastille et le passage devant le soufflet.

De même, un contrôle de la bonne position de la pastille est effectué lors de l'attente de la pastille dans la pince de brasage pour aller vers le convoyeur. Cette option doit restée activée, mis à part pour les pastilles de 13mm qui peuvent être légèrement en biais et donc reconnues comme fausses vis-à-vis de leur position.

4. Réglage du rail

Une fois le bol de tri réglé, il faut régler le rail de guidage, en largeur et en hauteur. Le rail permet d'amener les pastilles une par une vers la pince du convoyeur par le biais de vibrations. La largeur et la hauteur du rail doivent donc être légèrement plus importantes que celle des pastilles.

La largeur se règle au niveau [5] et la hauteur au niveau [6] de la figure précédente.

5. Réglage de la pince

La pince [7] va permettre d'acheminer ensuite les pastilles une par une vers le convoyeur. Le réglage de la pince en largeur se fait comme suit :

- Fermer la pince manuellement et réduire l'ouverture à l'aide la vis de réglage ;
- Ouvrir la pince manuellement (l'ouverture doit être plus faible que la largeur de la pastille) ;
- Démarrer le rail de guidage ;
- Ouvrir la pince de réglage jusqu'à ce que la pastille puisse passer ;
- Bloquer l'écrou de serrage.

Par appui long sur K4+K5 simultanément, on active le mode réglage pas à pas : « régler » s'affiche sur le menu de départ. Valider avec K12.

Si le bol de tri, le rail et la pince ont été bien réglés, une dent va être acheminée jusqu'au convoyeur, qui va s'arrêter sous le premier doseur de décapant.

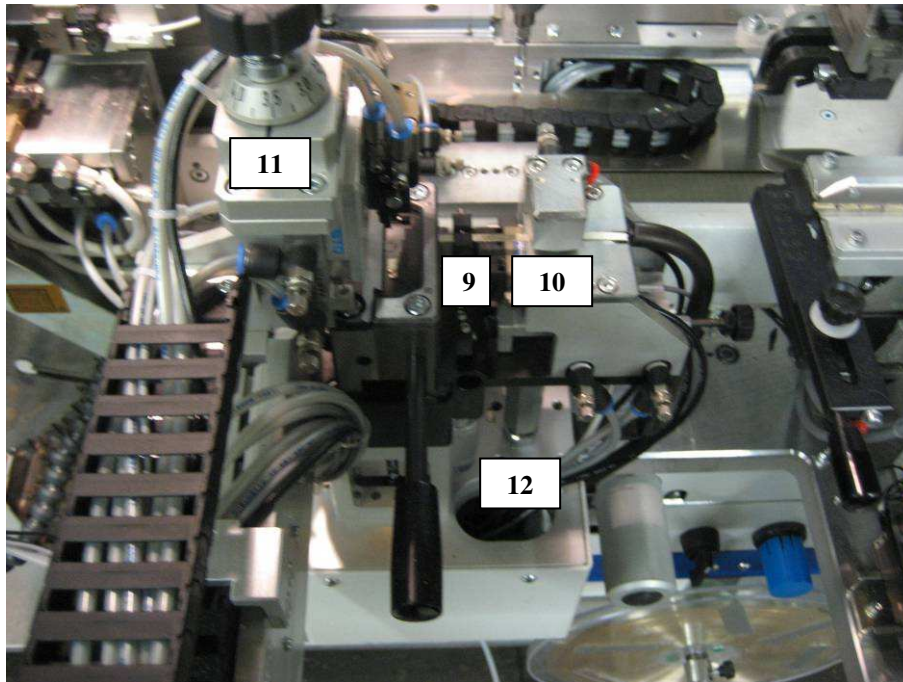
6. Réglage du premier doseur de flux

Le premier doseur permet d'appliquer du décapant entre la pastille et la brasure. Réduire la course du doseur en diminuant l'espace entre la tête de vis [8] et le contre-écrou.

Appuyer sur F11 afin d'amener le doseur en position basse et ainsi préciser le réglage : Les tubes doivent arriver 1mm au dessus de la pastille.

Appuyer sur F11 pour déposer le décapant (deux fois si l'on a choisi de déposer 4 gouttes de décapant).

7. Réglage de la brasure



La longueur de brasure de 10.5mm correspond aux lames de ZD, F, CSMK et MKV. Pour toutes les autres pastilles, la longueur doit être réglée sur 8mm. On peut changer la longueur des pastilles en dévissant le système écrou contre-écrou [12] (Pour cela, le blocage brasure doit être en arrière « Mode manuel/couper brasure/blocage brasure-en arrière).

La largeur va par contre dépendre de celle de la pastille et de celle du corps de lame. Le tableau suivant donne le type de rouleau de brasure à utiliser en fonction du type de lame.

Machine	Epaisseur Corps de lame	Epaisseur trait de scie	Largeur brasure
MKV	2	3,4	3
	2,2	3,6	3
	2,4	3,8	3
	2,6	4	3,5
	3,4	4,7	4
CSMK	2,7	4,5	3,5
	3	4,6	4
	3,6	5,5	4,5
ZD	3,1	4,8	4
	3,5	4,8	4
F	2,5	3,5	3
Refente	2,5	3,5	3
	1,8	2,8	2,2
	1,4	2,4	2,2

Pour changer de rouleau, il faut ouvrir la pince de brasure [9] ainsi que le système de blocage [10]. On peut alors enrouler l'ancien rouleau de brasure.

L'opération consistant à placer le nouveau rouleau consiste en l'opération inverse de celle réalisée.

La valeur à indiquer pour le réglage [11] dépend de l'épaisseur de la pastille. En règle générale, les pastilles de 10.5 mm ont une épaisseur de 3.5mm (mis à part pour costa-weinig, 3 mm) et celles de 13mm une épaisseur de 4mm.

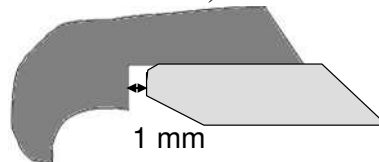
Appuyer sur F11 et la pastille vient se positionner en dessous de la pince de brasure, F11 et la brasure se positionne sur la pastille

8. Réglage du deuxième doseur de flux

F11 et la pastille vient se positionner en dessous du deuxième doseur (la procédure est la même que pour le premier)

9. Ajustement de la position de la lame

F11 et la pastille se positionne pour le brasage, la machine demande à ce que la position de la lame soit ajustée : il faut laisser un jour d'environ 0.5 à 1 mm entre la pastille et la lame, comme suit (uniquement avec la vis horizontale):

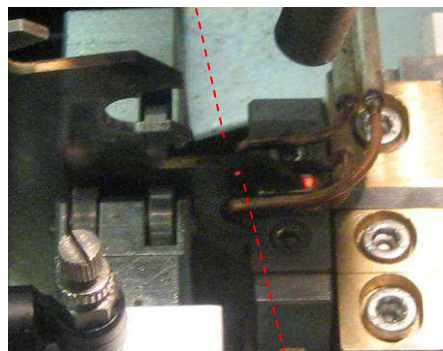


10. Réglage de la barrière lumineuse

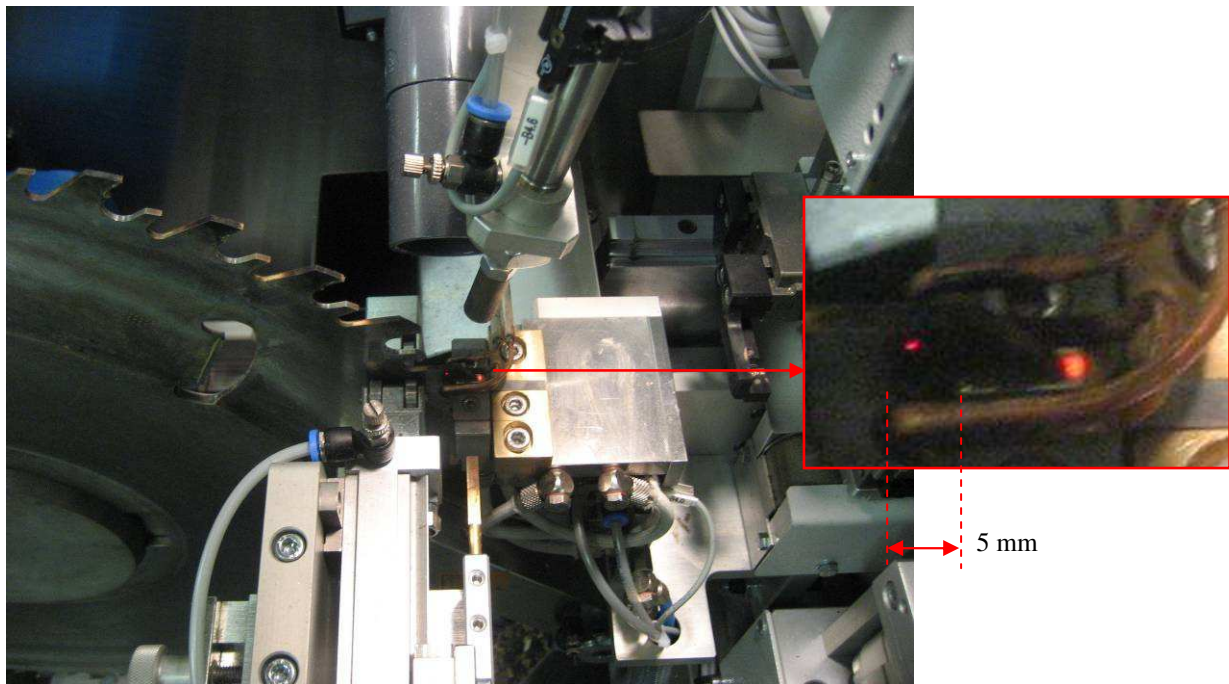
F11 et il faut ensuite régler la barrière lumineuse : celle-ci doit se trouver juste au dessus de l'inducteur si l'on se référence par rapport à la face (et le point doit être visible dans le miroir).

La barrière lumineuse permet de détecter le pas de la lame, et la position à lui donner pour présenter une pastille. La machine peut soit se référencer par rapport à la face, soit par rapport au dos.

Il est préférable de se référencer par rapport à la face pour les lames de MKV, CSMK... et par rapport au dos pour les lames de tronçonnage ou tout autre lame à pas fin, en prenant soin dans ce cas de bien remonter la barrière.



11. Réglage du pyromètre



Le pyromètre permet de connaître la température lors du processus de brasage. Le point rouge doit se situer sur la pastille carbure lorsque celle-ci est prête à se faire brasage, à la limite avec le corps de lame (si le point est sur la lame, l'état de propreté du corps peut modifier la lecture du pyromètre).

L'inducteur doit être centré vis-à-vis de la pince de brasage, et doit dépasser le bas de la pastille de 5mm.

F11 et la machine demande à ce que le pyromètre soit réglé. Pour valider ce réglage, il faut appuyer sur le bouton « en ordre » en face de « régler le pyromètre » (bouton F5 normalement).

12. Réglage du vérin d'appui

Ce vérin permet d'appliquer une pression lorsque la machine pousse la plaquette dans sa position définitive. Si le pas de la lame le permet, il faut appuyer sur le dos de la dent brasée, sinon, il faut appuyer sur la dent suivante.

13. Mise en production

La première dent est brasée et on peut vérifier que les dépouilles latérales sont identiques (si elles ne le sont pas, il faut ajuster la dépouille à l'aide du comparateur et de la molette [M], et vérifier le réglage en brasant une nouvelle dent. Toutes les dents nécessaires au réglage seront marquées, et leur position pourra être ajustée depuis le menu « rebrasage avec maintien de chauffe ».

Pour la fin de cette lame, il faut passer en mode automatique (K5), et appuyer deux fois sur K13 (l'appui sur K12 réinitialiserait le nombre de dents à 0).

14. Modifications

Tous les paramètres propres à un type de lame sont enregistrés dans la machine, et on doit charger ces paramètres avant chaque série de production.

Toute modification au niveau de ces paramètres, après autorisation de JLS, devra être notée par écrit, afin de conserver un historique en cas de panne ou autre.

15. Marquage des lames

Toutes les lames de MKV et de CSMK seront marquées afin que l'on puisse dresser un historique de leur utilisation, au niveau du brasage principalement.

Les lames, par hauteur de sciage et par marque (ex : 3.6 AKE), seront marquées de 1 à n (n dépend du type de lames, du nombre de références dans cette hauteur...). Toutes les lames passant en repastillage intégral seront notées sur une feuille.

Toutes les lames à repastiller seront stockées dans l'établi utilisé actuellement. Les lames à réparer seront stockées à part, et on choisira d'entreprendre une série de lame lorsque le nombre de lames à réparer sera de 5.

Au niveau réglage machine, les lames seront toutes traitées avec le même, notamment pour le recreusage, et pour le repastillage.

Paramètres de chauffe (suite à la visite de Kirschner)

Les paramètres suivants seront adoptés pour la chauffe des pastilles :

	Brasage	Recuit
Temps de maintien	x	0,2
Temps refroidissement	y	0
Température	740	640

La règle pour calculer x est (temps de chauffe) est $x = 0.6 * \text{Epaisseur corps de lame}$

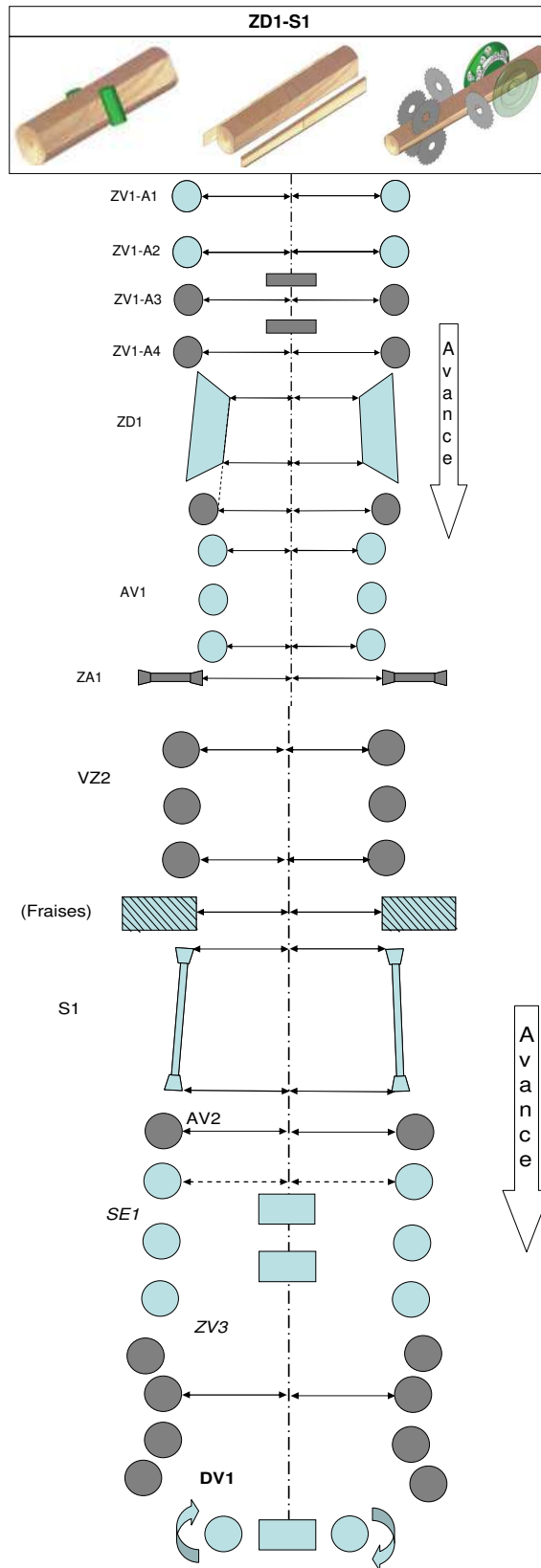
Le temps de refroidissement (x) devra être modifié suivant l'épaisseur des lames afin que la température descende au moins entre 550 et 600° au moment de faire le recuit (après positionnement).

Le temps de maintien de la chauffe peut aussi être modifié si la brasure ne coule pas (augmenter le temps) ou si cette dernière coule sur les flancs de la dent lors de la chauffe (diminuer le temps).

Pour le débrasage, il faut utiliser les paramètres suivants :

	Brasage	Recuit
Temps de maintien	0,5	0,2
Temps refroidissement	x	0
Température	740	640

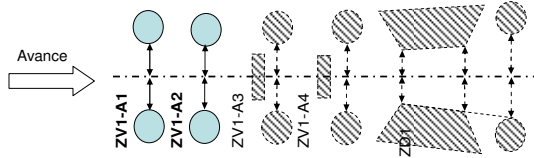
Annexe 5 : Fiches machines



ZV1- ZA1 et ZV2-ZA2



Description/Fonction : 2 paires de rouleaux qui orientent la courbure du bois vers le bas en modifiant leur axe de rotation, d'après les mesures faites par ME6.
Type machine: EVP50



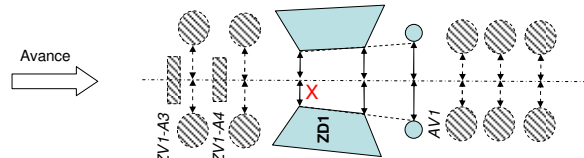
Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux		349 mm Max=800, min =53	
Valeur de déplacement	Pos 1-2	-6 mm	
Cellule de serrage ZA1	vor ZA2		
Cellule d'ouverture ZA1	vor ZA1		
Cellule de serrage ZA2	vor ZA3		
Cellule d'ouverture ZA2	vor ZA2		
Pression hydraulique normale des rouleaux	HY4-M4 HY4-M7	50 bars	
Pression hydraulique haute des rouleaux	HY4-M5 HY4-M8	70 bars	
Pression dans les vérins de pivot ZA1	HY4-M9	120	
Pression dans les vérins de pivot ZA2	HY4-M10	120	
Pression dans les vérins de décalage diagonal			

Quand choisit on d'utiliser la pression normale ou la pression haute?

ZD1



Description/Fonction : Canter qui va usiner les deux surfaces perpendiculaires à la courbe
Type machine: VMH 50

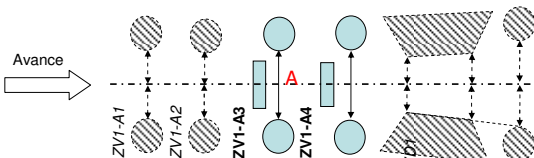


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des têtes de canter, droite et gauche (pointes de dent)	X Pos 9 Pos 10	$(224+2*5.5+2*25+2*5.5+2*14)/2$ (/Axe)	
Hauteur des têtes de canter	Pos 11-12		
Pression de verrouillage de la table	HY4-M20	100	
Pression déplacement de la table	HY4-M21	80	
Pression de déplacement en largeur des têtes de canter	HY7-2	110	

ZV1- ZA3 et ZV1-ZA4



Description/Fonction : 2 paires de rouleaux qui maintiennent le bois « courbure vers le bas » associés à deux presseurs qui plaquent le bois sur la chaîne d'amenage.
Type machine: EVP50



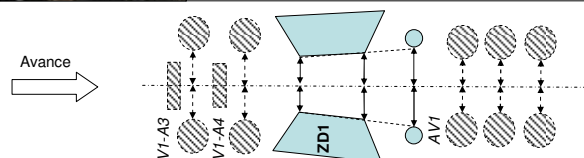
Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux	A	349 mm	
Valeur de déplacement	Pos 3-4	-6 mm	
Cellule de serrage ZA3	vor ZA4		
Cellule d'ouverture ZA3	vor ZA3		
Cellule de serrage ZA4	vor ZD1		
Cellule d'ouverture ZA4	vor ZA4		
Cellule de serrage presseurs	vor ZD1		
Cellule d'ouverture presseur1	vor ZA4		
Cellule d'ouverture presseur 2	vor ZA4		
Pression normale des rouleaux		50 bars	
Pression haute des rouleaux		70 bars	
Pression de descente des presseurs		25 bars	
Pression de montée des presseurs		70 bars	
Pression dans les vérins de décalage diagonal		70 bars	

Quand choisit on d'utiliser la pression normale ou la pression haute?

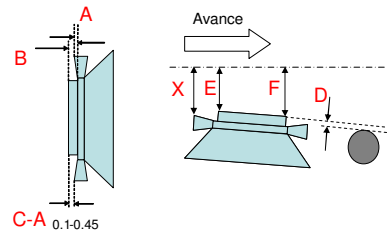
ZD1



Description/Fonction : Canter qui va usiner les deux surfaces perpendiculaires à la courbe
Type machine: VMH 50



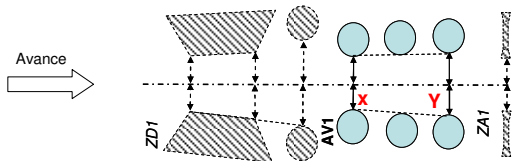
Désignation	Référence	Valeur SIAT	Valeur Linck
Dépouille des segments de scie	A	0.8 → 0.6 mm (limite affûtage)	
Distance entre le corps de segment et l'assiette (B)	B	0.6 → 0.8	
Mise en pression assiette	B - A	0	0.2 mm (doc p47)
Distance des rouleaux verticaux ZD1 de canter	D	3 mm	VMH50-10-E01-14
Ouverture des têtes par rapport à l'axe [mm/m]	F-E	0.3mm	



AV1



Description/Fonction : 3 paires de rouleaux verticaux qui extraient le bois de ZD1
Type machine: VZM

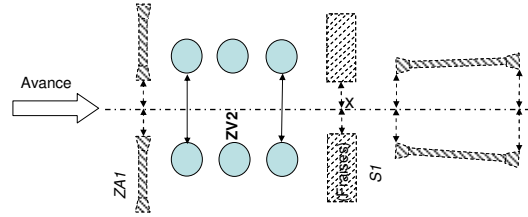


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux	X Pos 13	(224+2*5.5+2*25+2*5.5+2*14)/2 Axe 224+2*5.5+2*25+2*5.5+2*14 -2 Bois	P40 doc 2-3 mm de que ZD1
Cellule de serrage AV1		Nach AV1	
Cellule d'ouverture AV1		Vor AV1	
Pression nominale	HY4-M23	70 bars	
Ouverture par rapport à l'axe [mm/m] = angle	Y-X	0	

ZV2



Description/Fonction : 3 paires de rouleaux qui introduisent le bois dans S1
Type machine: VZM

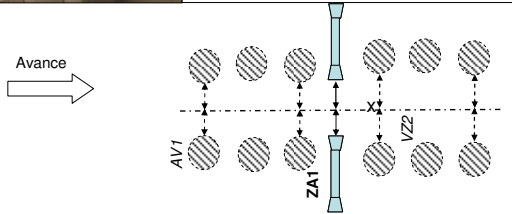


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux	pos16	(224+2*5.5+2*25+2*5.5+2*14)/2 Axe 224+2*5.5+2*25+2*5.5+2*14 Bois	
Cellule de serrage ZV2		Vor S1	
Cellule d'ouverture ZV2		Vor ZV2	
Pression nominale	HYS-M7	30 bars	

KA1



Description/Fonction : 2 scies à mouvement vertical qui vont tronçonner les futurs produits latéraux (longueur supérieur à 7m).
Type machine: VKS



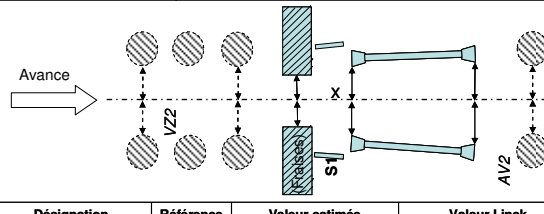
Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Profondeur de coupe / à l'axe	Pos 14-15	(224+5.5)/2 Axe (14+5.5+25+5.5/2) Bois	
Pression de déplacement en largeur	HYS-M3	110 bars	
Pression de déplacement rapide	HYS-M5	100 bars	
Pression de déplacement lent	HYS-M6	100 bars	

Même pression pour déplacement lent et rapide (100 bars)
 A quoi correspond HYS-M4

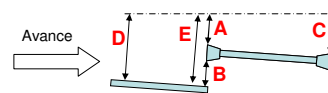
S1



Description/Fonction : Scie double arbre pour produits latéraux, avec fraises de protection (Sciage droit). Déplacement vertical pour suivre la courbure des billons.
Type machine: CSMK375-A1/B1



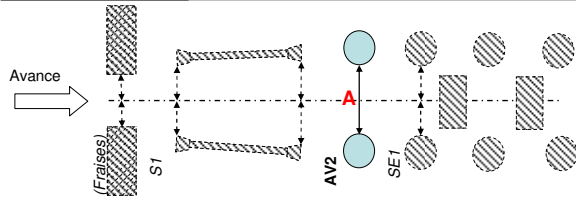
Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale d'écartement des scies (pointes de dents)	A Pos 17, 19	(224+2*5.5+2*25+2*5.5)/2 Axe 224+2*5.5+2*25+2*5.5 Bois	
Hauteur en début de sciage de la scie du bas	Pos 21, 22		
Voie nominale des scies - valeur minimale		0.15 mm	
Distance plaque de guidage - scie	B Pos18, 20	14 + 0.2 mm	
Pression des plaques de guidage	HYS-M10	110 bars	
Ouverture des scies par rapport à l'axe [mm/m]	C-A	0.3 mm/m	
Ouverture des plaques de guidage [mm/m]	E-D	0	
Pression de la surface d'appui du bois	HYS-M11	80 bars	
Pression de déplacement en largeur du bâti	HYS-M12	110 bars	



AV2



Description/Fonction : Une paire de rouleaux qui extraie le bois de S1 pour l'amener dans SE1.
 Type machine: Avs

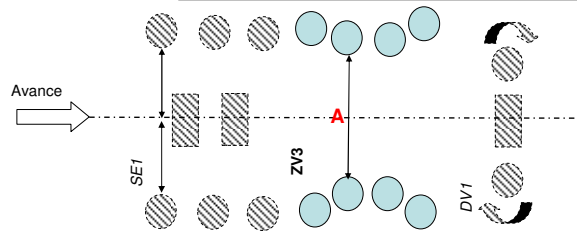


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux	A Pos 23	(224+2*5.5+2*25+2*14)/2 Axe 224+2*5.5+2*25+2*14 Bois	
Pression nominale			

ZV3



Description/Fonction : 1 paire de rouleaux qui extraient le bois de ME7.
 Type machine: VZM

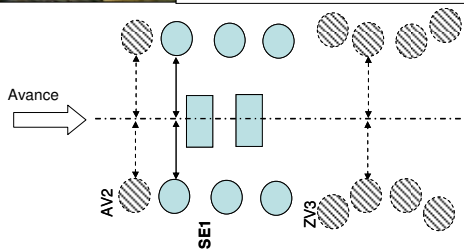


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux	A Pos 24	224+2*5.5+2*25+2*14 Bois (224+2*5.5+2*25+2*14)/2 Axe	
Pression de déplacement	HY6-M29	50 bars	
Pression de serrage des rouleaux plaqueurs	HY6-M30	50 bars	
Pression d'ouverture			

SE1



Description/Fonction : Jeu de rouleaux permettant de séparer les planches créées par S1 des noyaux
 Type machine : Sea

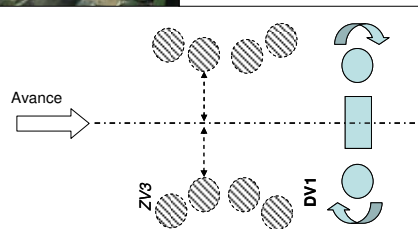


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux	Pos 23	224+2*5.5+2*25+2*14 Bois	
Synchronisation / pression			

DV1

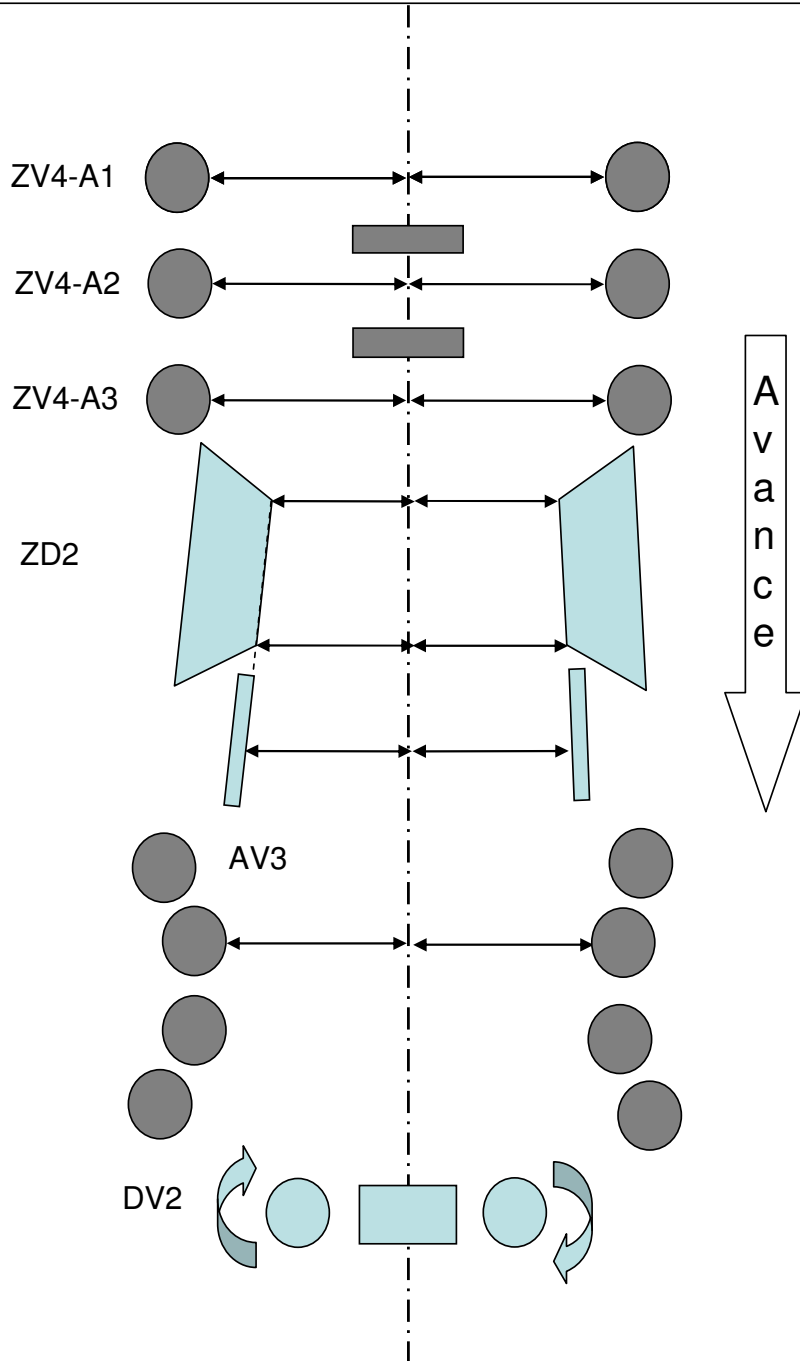
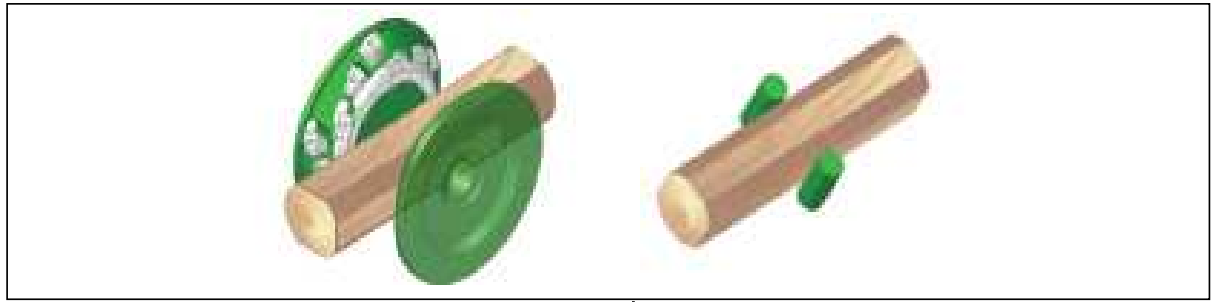


Description/Fonction : 2 paires de rouleaux qui basculent le bois d'un quart de tour afin de l'appuyer sur les surfaces de référence précédemment créées.
 Type machine: DV90



Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
AD vor Mengenteiler		80	
Pression des rouleaux d'entrée	HY6-M32	70	
Pression des rouleaux de sortie	HY6-M33	70	
Pression de déplacement des rouleaux gauche	HY6-M35	50	
Pression de déplacement des rouleaux droite	HY6-M36	50	

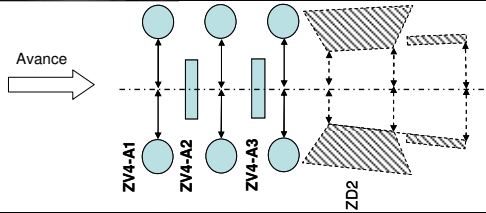
ZD2



ZV4-ZA1, ZV4-ZA2 et ZV4-ZA3



Description/Fonction : 3 paires de rouleaux plaqueurs qui vont orienter le bois suivant sa courbe dans ZD2. Ils sont associés à deux presseurs
Type machine: EVP50

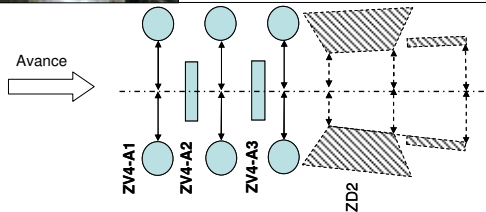


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux		349 mm (diamètre fin bout maximum)	
Valeur déplacement ZV4/ZA1	Pos 30		
Valeur déplacement ZV4/ZA2	Pos 31		
Valeur déplacement ZV4/ZA3	Pos 32		
Cellule de serrage ZA1			
Cellule d'ouverture ZA1			
Cellule de serrage ZA2			
Cellule d'ouverture ZA2			
Cellule de serrage ZA3			
Cellule d'ouverture ZA3			
Cellule de serrage presseurs			
Cellule d'ouverture presseur 1			
Cellule d'ouverture presseur 2			

ZV4-ZA1, ZV4-ZA2 et ZV4-ZA3



Description/Fonction : 3 paires de rouleaux plaqueurs qui vont orienter le bois suivant sa courbe dans ZD2. Ils sont associés à deux presseurs
Type machine: EVP50

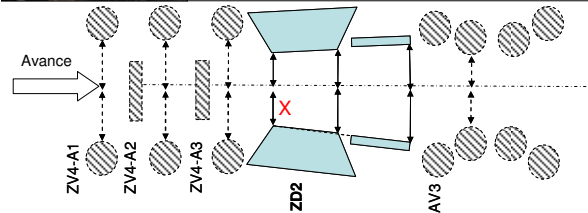


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Pression normale ZA1	HY7-M4	50	
Pression de précontrainte ZA1	HY7-M5	70	
Pression d'ouverture ZA1			
Pression normale ZA2 et ZA3	HY7-M7	50 bars	
Pression haute de ZA2 et ZA3	HY7-M8	70 bars	
Pression de descente des presseurs	HY7-M11 HY7-M13 HY7-M15	25 bars	
Pression de montée des presseurs	HY7-M10 HY7-M12 HY7-M14	70 bars	
Pression des vérins de décalage			

ZD2



Description/Fonction : Canter qui va usiner les deux surfaces suivant la courbe du bois
Type machine: VMH50



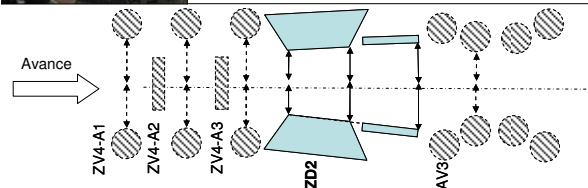
Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des têtes de canter, droite et gauche / à l'axe (pointes de dent)	X Pos 33, 34	$(224+2*5.5+2*25+2*5.5+2*14)/2$	
Flèche des têtes en dessous du rail d'appui (pas de réglage en hauteur?)		30	
Pression de déplacement en largeur des têtes de canter	HY7-M17	110 bars	
Pression des plaques			

Quand choisit on d'utiliser la pression normale ou la pression haute?

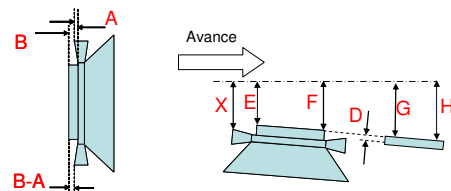
ZD2



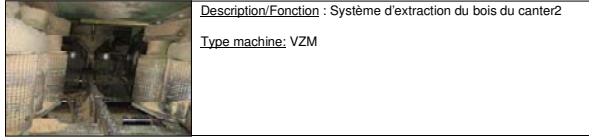
Description/Fonction : Canter qui va usiner les deux surfaces suivant la courbe du bois
Type machine: VMH50



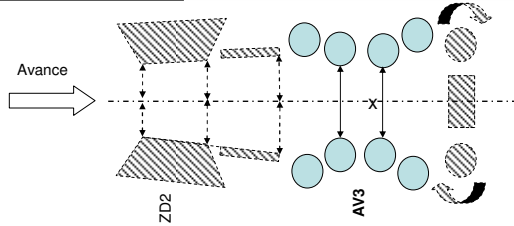
Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des têtes de canter / à l'axe		$(3*74+2*25+2*14+6*4)/2$	
Dépouille des segments de scie	A	0.5 → 0.35 mm (limite affûtage)	
Distance entre le corps de segment et l'assiette (B)	B	0.6 → 0.8	
Mise en pression assiette	B - A	0.1 → 0.45 mm	0.2 mm (doc p47)
Distance des Plaques de guidage / assiette	D	0	
Ouverture des têtes par rapport à l'axe [mm/m]	F-E	0.3 mm/m	
Ouverture des plaques par rapport à l'axe	H-G	0	



AV3

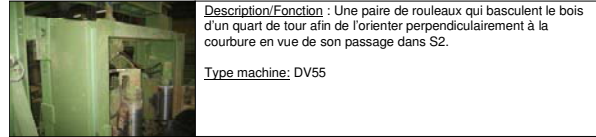


Description/Fonction : Système d'extraction du bois du canter2
 Type machine: VZM

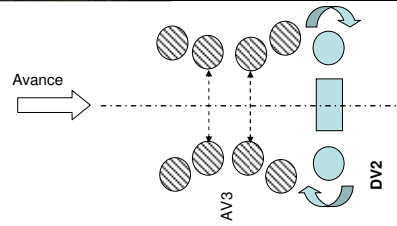


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux	Pos 35	3*74+2*25+2*14+6*4 (bois)	
Pression des plaqueurs à l'entrée	HY7-M18	50	
Pression des plaqueurs à la sortie	HY7-M21	50	
Pression en position de travail	HY7-M20	20	
Pression en largeur du pré centrage	HY7-M19	50 bars	

DV2

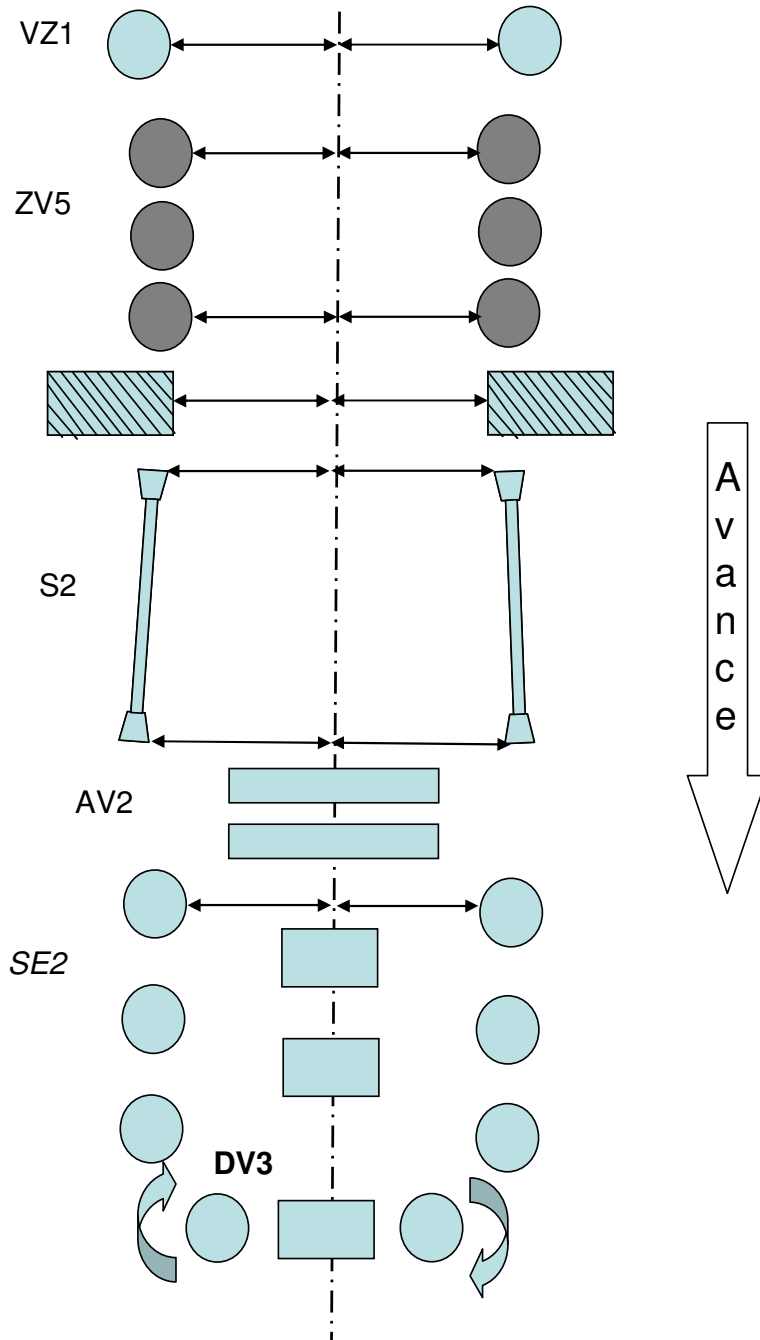
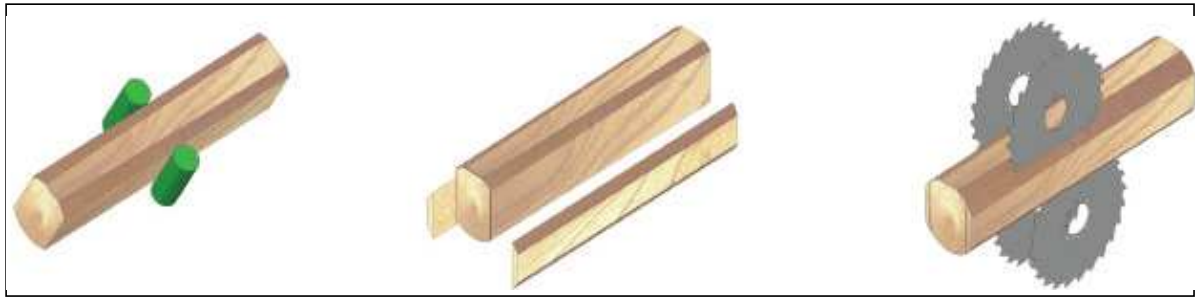


Description/Fonction : Une paire de rouleaux qui basculent le bois d'un quart de tour afin de l'orienter perpendiculairement à la courbure en vue de son passage dans S2.
 Type machine: DV55



Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de la hauteur des rouleaux			
Pression normale			
Pression haute des rouleaux			
Ecartement des rouleaux			

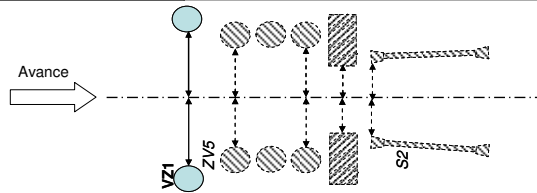
S2



VZ1



Description/Fonction : un couple de rouleaux qui entraînent le bois dans le système d'alimentation de S2: ZV5.
Type machine: EVP50

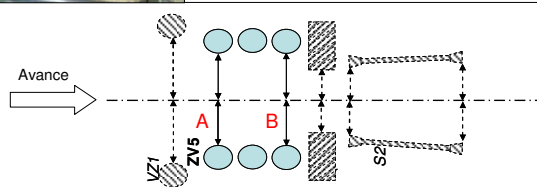


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux		224+25*2+2*5,5	
Pression d'ouverture des rouleaux	HY8-M15	30	
Pression de fermeture des rouleaux	HY8-M16	25	

ZV5



Description/Fonction : 3 paires de rouleaux qui maintiennent le bois « courbure vers le bas » et qui l'entraînent dans S2.
Type machine: VZM

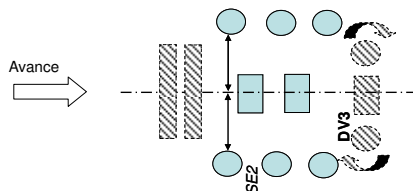


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux	2 x A Pos 37	224+25*2+2*5,5	
Pression nominale	HY8-M8	30 bars	
Ouverture		0 (A=B)	

DV3



Description/Fonction : Une paire de rouleaux qui basculent le bois d'un quart de tour afin de l'orienter suivant la courbe en vue de son passage dans la ligne retour.
Type machine: DV55

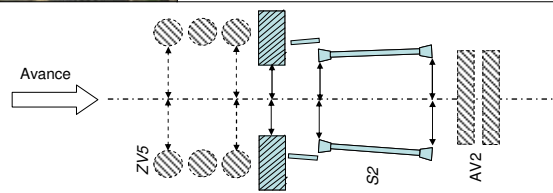


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de la hauteur des rouleaux			
Pression normale			
Pression haute des rouleaux			
Ecartement des rouleaux			

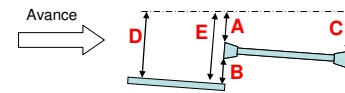
S2



Description/Fonction : Scie double arbre pour produits latéraux, avec fraises de protection (Sciage droit).
Type machine: CSMK375-A2/B2



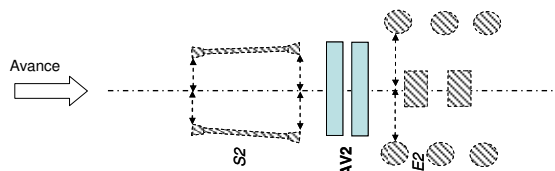
Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale d'écartement des scies (pointes de dents)	A	(224+2*5,5+2*25+2*5,5)/2 224 Bois	
Hauteur en début de sciage de la scie du bas		(3*74+2*25+2*14+6*4)/2	
Voie nominale des scies - valeur minimale		0.15 mm	
Distance plaque de guidage - scie	B	25 + 0.2 mm	
Pression des plaques	HY8-M9	70 bars	
Pression de réglage du bâti gauche	HY8-M10	110	
Pression de réglage du bâti droit	HY8-M12	110	
Pression du support bois	HY8-M11	100	
Ouverture des scies par rapport à l'axe [mm/m]	C-A	0.7 mm/m	
Ouverture des plaques de guidage [mm/m]	E-D	0	



AV4



Description/Fonction : Deux paires de rouleaux presseurs qui extraient le bois de S2 pour l'amener dans SE2.
Type machine:

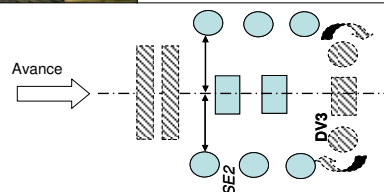


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux		3*74+2*25+2*14+6*4	
Pression de travail	HY8-M18	25	

SE2

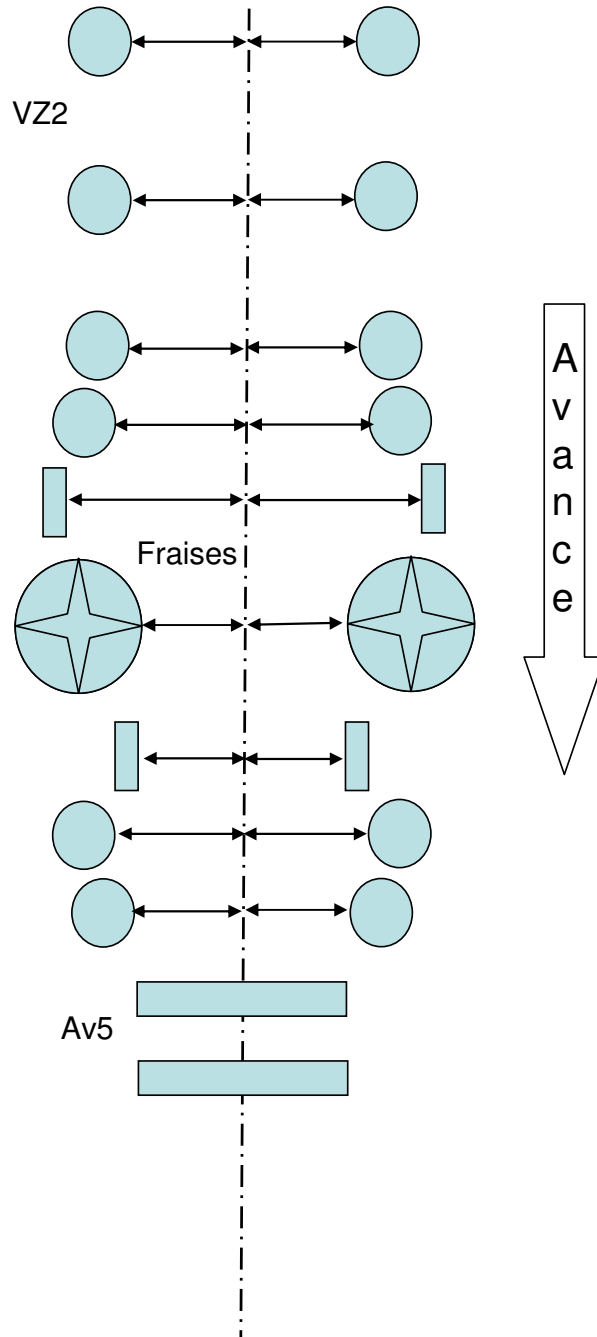


Description/Fonction : Jeu de rouleaux permettant de séparer les planches créées par S2 des nœuds.
Type machine : Sea



Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux		224+2*25 Bois	
Synchronisation / pression		Voir fiche	

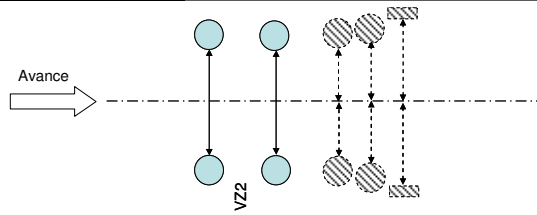
F1



VZ2



Description/Fonction : Deux couples de rouleaux qui vont permettre d'orienter le bois suivant la courbe dans F1.
Type machine: VZS45

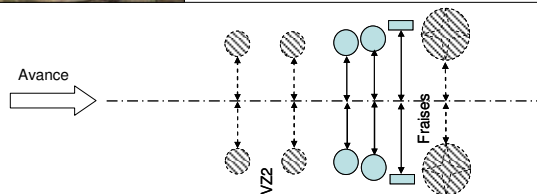


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux avant		3*74+2*25+2*14+6*4	
Pression de déplacement des rouleaux avant	HY10-M4	100	
Pression de maintien haute	HY10-M5	30	
Pression de maintien basse	HY10-M6	25	
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux arrière		3*74+2*25+2*14+6*4	
Pression de déplacement des rouleaux arrière	HY10-M7	100	
Pression de maintien haute	HY10-M8	30	
Pression de maintien basse	HY10-M9	25	

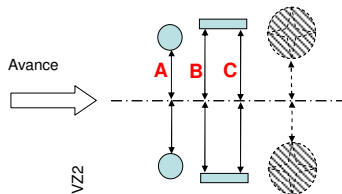
Amenage fraises



Description/Fonction : Deux couples de rouleaux et une plaque de guidage qui maintiennent le bois à son entrée dans F1.
Type machine: [-]



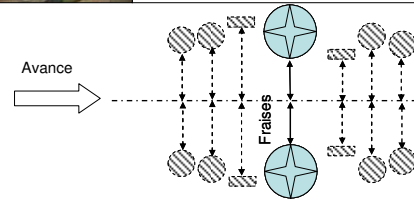
Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale des rouleaux presseurs (P)	VPK-09-E16 124-10		
Pression de serrage des rouleaux presseurs	HY10-M11	20	
Valeur nominale des rouleaux de guidage (G)	VPK-09-E16 124-10	A = 3*74+2*25+2*14+6*4	
Pression de déplacement	HY10-M10	20	
Position des plaques/rouleaux G	B-A		
Ouverture des plaques	C-B	0	



Fraises



Description/Fonction : Deux têtes qui vont déchiqueter les flaches en plaquettes, réglable en hauteur pour chaque billon entrant.
Type machine:

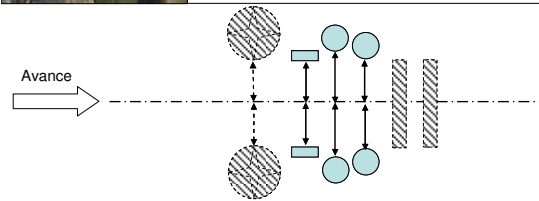


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Longueur nominale de plaquettes		18 mm	
Hauteur fraises du bas		W (dépend de Me8)	
Hauteur fraises du haut		W+150 mm	
Profondeur de fraisage		25 mm	
Pression fraise droite	HY10-M14	100	
Pression fraise gauche	HY10-M15	100	

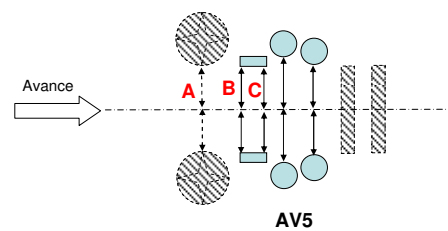
Extraction fraises



Description/Fonction : Deux couples de rouleaux et deux plaques de guidage qui maintiennent le bois à sa sortie de F1.
Type machine: [-]



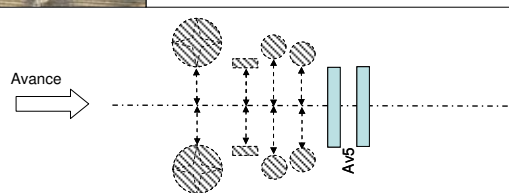
Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale des rouleaux presseurs (P)			
Pression de serrage des rouleaux presseurs	HY10-M13	20	
Valeur nominale des rouleaux de guidage	A	3*74+2*25+2*14+6*4	
Pression de déplacement	HY10-M12	20	
Position des plaques/Fraises	B-A	5mm	
Ouverture des plaques	C-B	0.2mm	



AV5

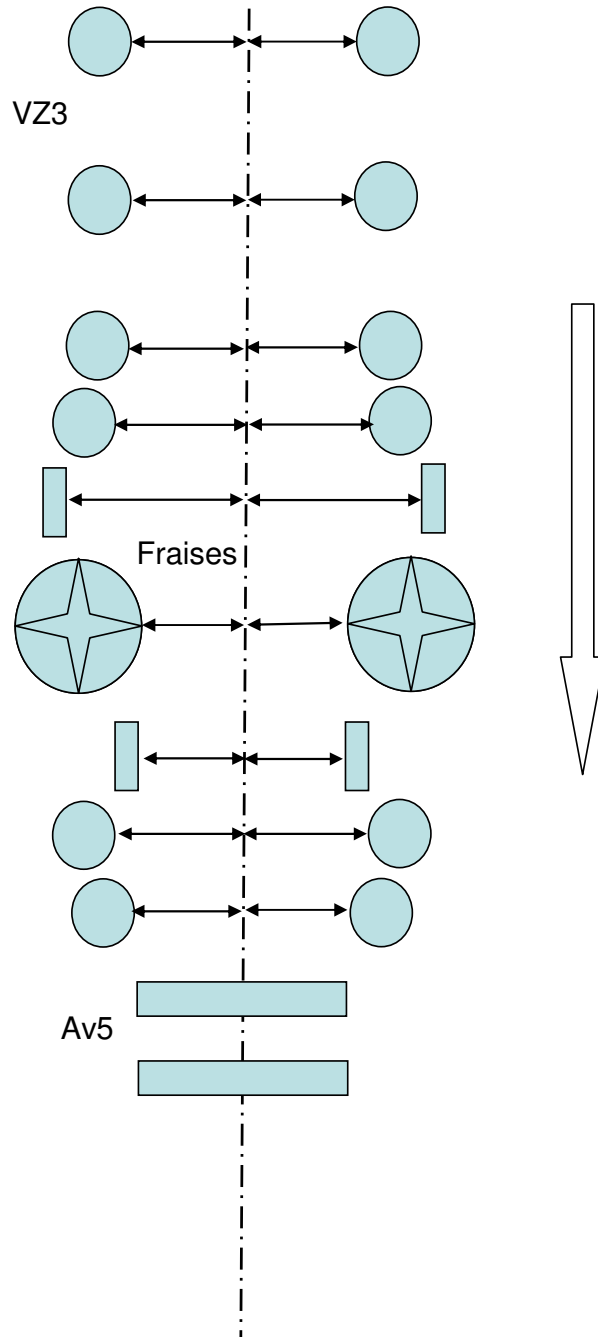


Description/Fonction : Deux couples de rouleaux presseurs qui extraient le bois de F1.
Type machine:



Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux		224	
Pression dessus	HY10-M19	90	
Pression dessous	HY10-M20	30	

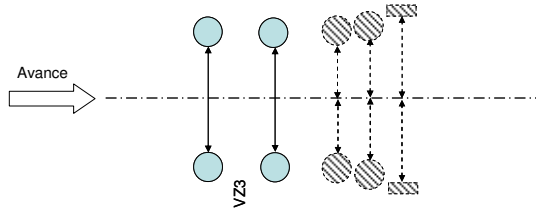
F2



VZ3



Description/Fonction : Deux couples de rouleaux qui vont permettre d'orienter le bois suivant la courbe dans F1.
Type machine: VZS45

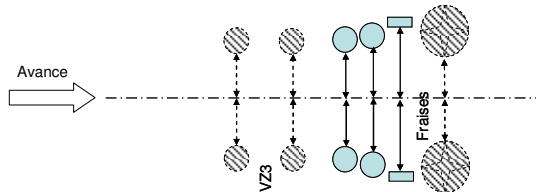


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux avant		3*74+2*25+2*14+6*4	
Pression de déplacement des rouleaux avant	HY10-M4	100	
Pression de maintien haute	HY10-M5	30	
Pression de maintien basse	HY10-M6	25	
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux arrière		3*74+2*25+2*14+6*4	
Pression de déplacement des rouleaux arrière	HY10-M7	100	
Pression de maintien haute	HY10-M8	30	
Pression de maintien basse	HY10-M9	25	

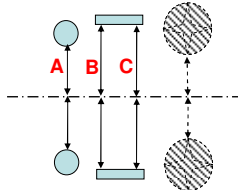
Amenage fraises



Description/Fonction : Deux couples de rouleaux et une plaque de guidage qui maintiennent le bois à son entrée dans F2.
Type machine: [-]



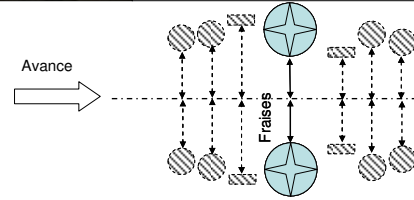
Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale des rouleaux presseurs (P)			
Pression de serrage des rouleaux presseurs	HY10-M11	20	
Valeur nominale des rouleaux de guidage (G)		3*74+2*25+2*14+6*4	
Pression de déplacement	HY10-M10	20	
Position des plaques/rouleaux G	B-A		
Ouverture des plaques	C-B	0	



Fraises



Description/Fonction : Deux têtes qui vont déchiqueter les flaches en plaquettes, réglable en hauteur pour chaque billon entrant.
Type machine:

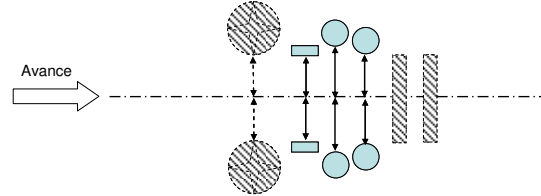


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Longueur nominale de plaquettes		18 mm	
Hauteur fraises du bas		W (dépend de Me8)	
Hauteur fraises du haut		W+150 mm	
Profondeur de fraisage		25 mm	
Pression fraise droite	HY10-M14	100	
Pression fraise gauche	HY10-M15	100	

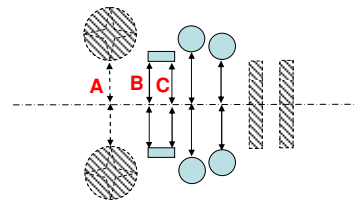
Extraction fraises



Description/Fonction : Deux couples de rouleaux et deux plaques de guidage qui maintiennent le bois à sa sortie de F1.
Type machine: [-]



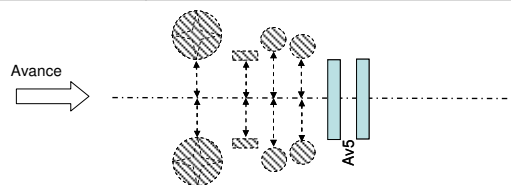
Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale des rouleaux presseurs (P)			
Pression de serrage des rouleaux presseurs	HY10-M13	20	
Valeur nominale des rouleaux de guidage (G)		3*74+2*25+2*14+6*4	
Pression de déplacement	HY10-M12	20	
Position des plaques/Fraises	B-A		
Ouverture des plaques	C-B		



AV5

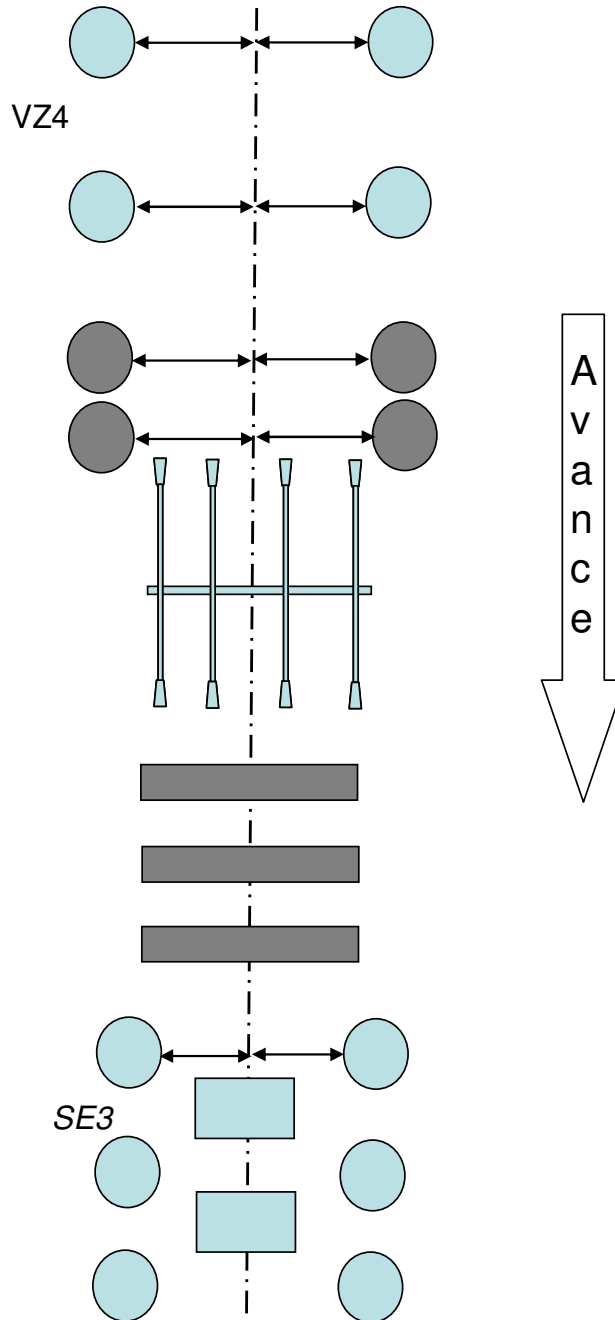
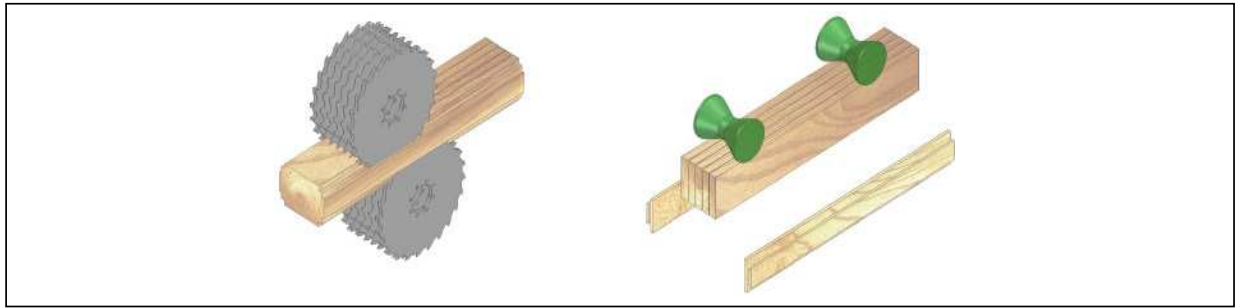


Description/Fonction : Deux couples de rouleaux presseurs qui extraient le bois de F1.
Type machine:



Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux		224	
Pression dessus	HY10-M19	90	
Pression dessous	HY10-M20	30	

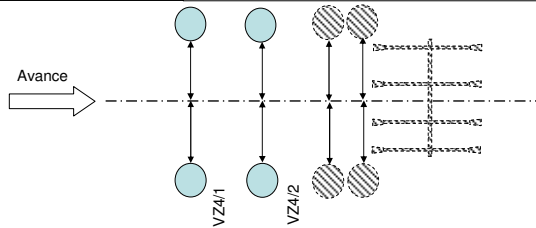
MKV



VZ4



Description/Fonction : Deux couples de rouleaux qui vont permettre d'orienter le bois suivant la courbe dans KV1.
Type machine: VZS45

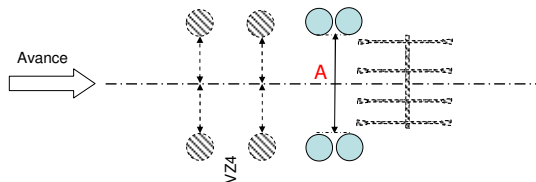


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux avant (1)		3*74+2*25+2*14+6*4	
Valeur de déplacement (1)	Pos 79		
Pression de déplacement des rouleaux avant	HY12-M4	100	
Pression de maintien haute	HY12-M5	30	
Pression de maintien basse	HY12-M6	25	
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux arrière (2)		3*74+2*25+2*14+6*4	
Valeur de déplacement (2)	Pos 80		
Pression de déplacement des rouleaux arrière	HY12-M7	100	
Pression de maintien haute	HY12-M8	30	
Pression de maintien basse	HY12-M9	25	

Amenage MKV



Description/Fonction : Deux couples de rouleaux qui maintiennent le bois à son entrée dans MKV.
Type machine: [-]

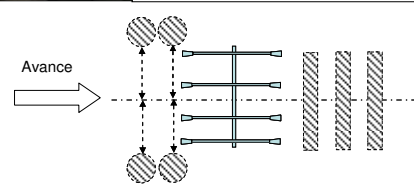


Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale des rouleaux	A (pos 81)	3*74+2*25+2*14+6*4	
Référence des rouleaux	MKV-04-E29 93		

Scies



Description/Fonction : Deux arbres sur lesquels sont montés les manchons de scie circulaire.
Type machine:



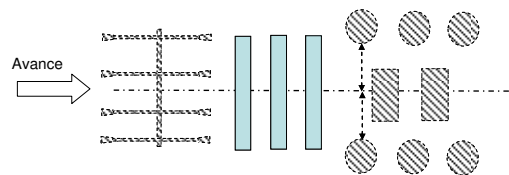
Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Rapport Hauteur scie du bas/Total		=224/2	
Recouvrement des scies		10 mm	

Hauteur de sciage (mm)	Diamètre lame (mm)	épaisseur lame (mm)	Nombre de dent (-)
< 122	520	3,4	42
< 152	520	3,6	44
< 175	520	3,8	40
< 225	520	4	30
< 305	540	4,2	24

Extraction MKV



Description/Fonction : Trois rouleaux inférieurs et trois supérieurs qui extraient les produits sciés de la machine;
Type machine: [-]



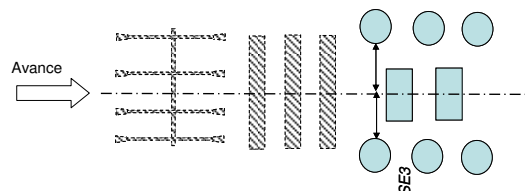
Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de la hauteur des rouleaux	Pos 82	224	
Pression nominale rouleaux supérieurs	HY12- M11	110	
Pression nominale rouleaux inférieurs	HY12- M12	30	

HY12-M11	AD Obere Walzen Auszug MKV: auf
HY12-M12	AD Obere Walzen Auszug MKV: ab

SE3

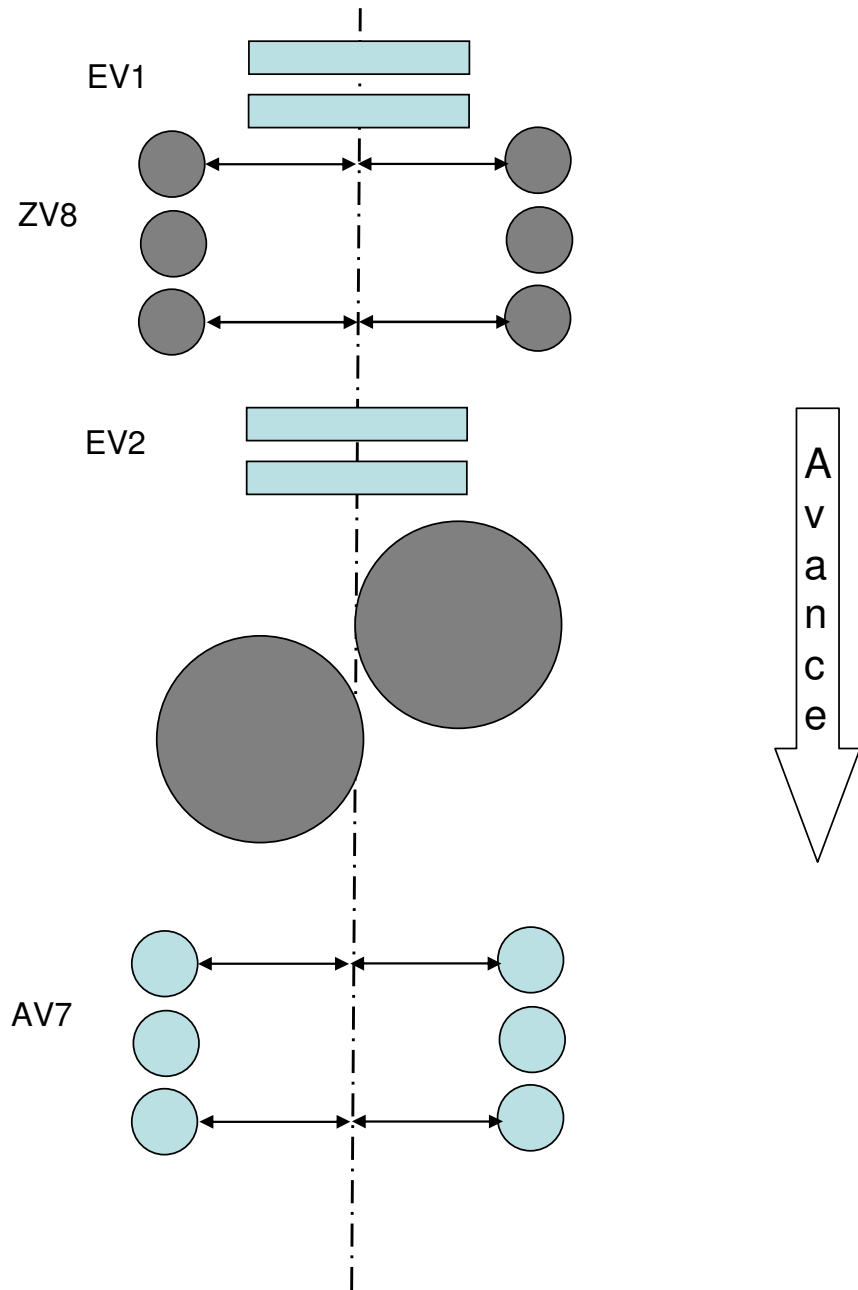
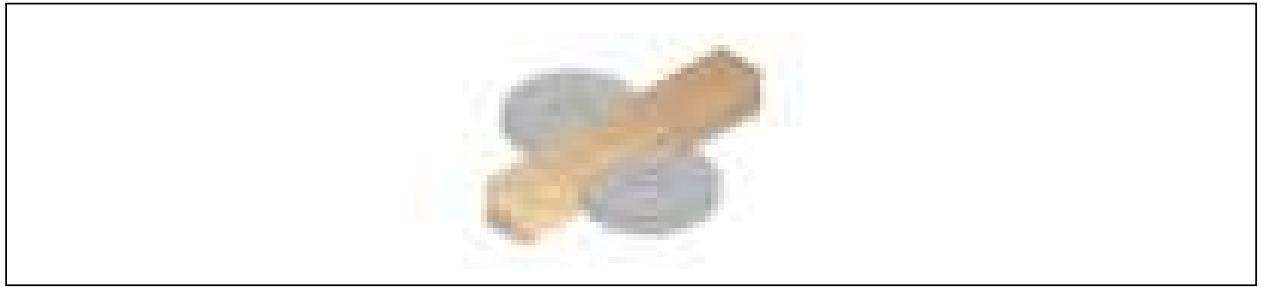


Description/Fonction : Jeu de rouleaux permettant de séparer les produits principaux des sous-produits de fraisage
Type machine : Sea




Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux		3*74+2*25+2*14 Bois	
Synchronisation / pression		Voir fiche	

HKM

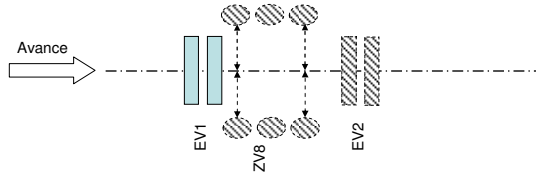


EV1




Description/Fonction : Deux couples de rouleaux qui entraînent le bois dans le système d'alimentation de HKM: ZV8.

Type machine:



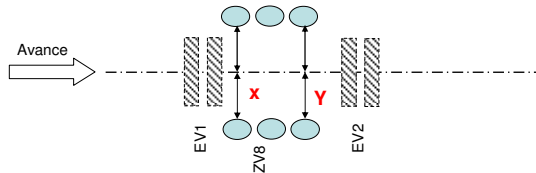
Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux	Pos 88	224	
Pression des rouleaux supérieurs	HY13-M7	90 bars	
Pression des rouleaux inférieurs	HY13-M8	30 bars	

ZV8




Description/Fonction : Deux couples de rouleaux qui entraînent le bois dans le système d'alimentation de HKM: ZV8.

Type machine:



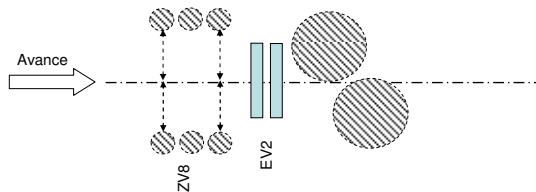
Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux	Pos 89	3 x 74	
Pression nominale des rouleaux	HY13-M4	35 bars	
Ouverture par rapport à l'axe [mm/m] = angle	Y-X	0	
Cellule de serrage ZV8			
Cellule d'ouverture ZV8			

EV2




Description/Fonction : Deux couples de rouleaux qui entraînent le bois dans le système d'alimentation de HKM: ZV8.

Type machine:



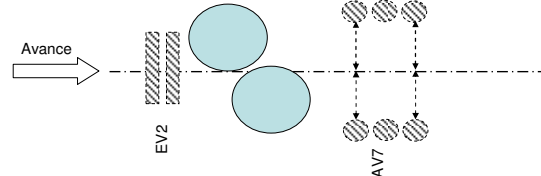
Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux	Pos 90	224	
Pression des rouleaux supérieurs	HY13-M9	90 bars	
Pression des rouleaux inférieurs	HY13-M10	30 bars	

HKM



Description/Fonction : Deux scies (ou couples de scie) qui permettent de refendre les produits principaux.


Type machine:



Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck

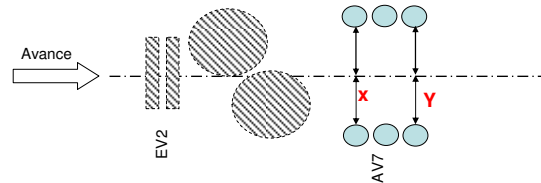
Hauteur de sciage (mm)	épaisseur lame (mm)
<200	4,9
200-240	5,7
>240	6

AV7



Description/Fonction : Système d'extraction de HKM.

Type machine:



Désignation	Référence	Valeur estimée	Valeur Linck
Valeur nominale de l'ouverture des rouleaux	Pos 94	3 x 74	
Pression nominale	HY13-M6	35 bars	
Ouverture par rapport à l'axe [mm/m] = angle	Y-X	0	
Cellule de serrage AV7			
Cellule d'ouverture AV7			

Méthodes de travail pour l'entretien des lames

Objet :

Ce document vise à uniformiser la méthode de travail de tous les affûteurs, pour la bonne marche de l'atelier, et avec la prise en compte des nouvelles machines.

16. Nouvelle méthode de travail - Explication

Actuellement, nous travaillons uniquement avec la voie de la lame, pour décider ou non du repastillage. Pour bon nombre de lames, surtout celle de CSMK, à cause de l'usure, le corps de la lame est affûté en même temps que la pastille. Cela a plusieurs inconvénients :

- Le temps d'affûtage est augmenté, à cause de la longueur qui l'est aussi ;
- L'acier du corps encrasse la meule diamant ;
- Le diamètre de la lame diminue.

Les investissements réalisés par l'entreprise doivent avoir un juste retour : la rentabilité de l'atelier. Nous ne devons donc plus travailler uniquement avec la voie, mais aussi avec la marge d'affûtage du dos des lames, afin de ne plus les diminuer à l'excès, et améliorer la capacité d'affûtage de l'atelier.

A titre d'exemple, une lame de MKV couté environ 170€ et le total des pastilles brasées 8€.

La braseuse et la nouvelle affûteuse ne seront pas des machines surchargées. A partir de maintenant, les lames seront retirées lorsque :

- La voie est trop faible ;
- La marge d'affûtage sur le dos est trop faible (même si la voie l'est), et un affûtage sur cette partie doit être opéré.

17. Repastillage complet d'une lame

17.1. Débrasage des pastilles

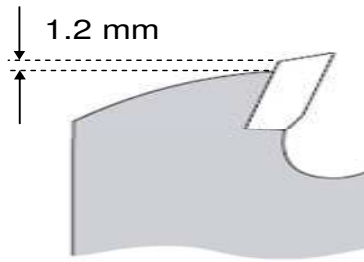
L'opération de brasage est suivie d'un recuit du support de dent. Cette opération évite la trempe à l'air de la dent, et sa fragilité lors de la rencontre d'un corps étranger.

Afin de ne pas créer de trempe à l'air lors du débrasage, il faut aussi laisser cette opération de recuit active.--> Il n'est pas possible d'activer le revenu avec le débrasage.

Le débrasage de la totalité des pastilles est l'occasion de vérifier minutieusement et de corriger le planage des corps des lames.

17.2. Nettoyage du corps de lame

Les dents des lames neuves que nous recevons ont cet aspect de départ :



La cote de 1.2mm est très importante, et doit être l'objectif à atteindre lors de la finition d'une lame repastillée :

- Si la cote est supérieure, il y a un risque de débrasage des pastilles en production ;
- Si la cote est inférieure, la faible marge d'affûtage sur la dépouille nous contraindra à changer plus souvent de pastilles.

Pour atteindre cette valeur cible après la mise à rond, il faut que la pastille fraîchement brasée donne une cote de 1.3mm (l'angle de la pastille n'étant pas celui donné lors de l'affûtage, il n'est pas possible de le mesurer sur la lame).

Cette cote dépend de la longueur et largeur de la pastille, ainsi que la prise de passe donnée lors du creusage du corps de lame.

La valeur de creusage se calcule comme suit :

$$l_{\text{creusage}} = l_{\text{pastille}} - 1.3 - Ep_{\text{pastille}} \tan(\alpha + \gamma)$$

Dans notre cas, γ est généralement de 24° , et α de 12° (lames MKV+CSMK).

Pour des pastilles de **10.5x3.5** mm, il faut que la profondeur creusée soit de **6.6mm**.

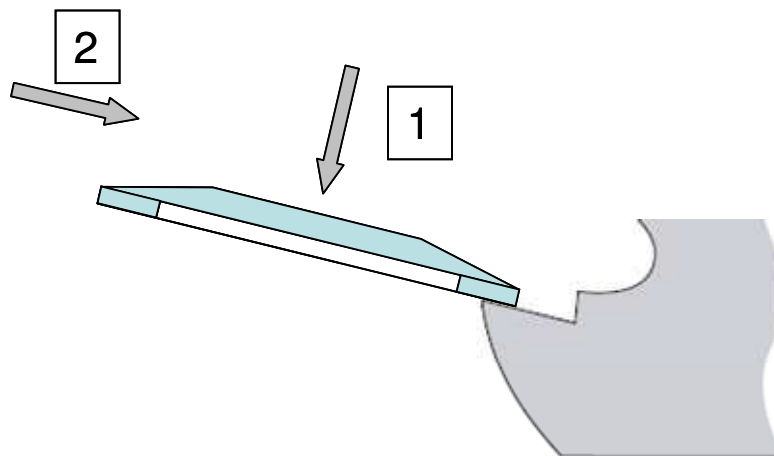
Pour des pastilles de **13x3.5** mm, il faut que la profondeur creusée soit de **9.1mm**.

Si ces longueurs de tenue de brasure ne sont pas suffisantes, nous passerons à des dimensions supérieures de pastille, afin d'augmenter la longueur des logements.

Si la longueur du logement d'origine n'est supérieure à cette cote, il faut éviter de modifier cette cote.

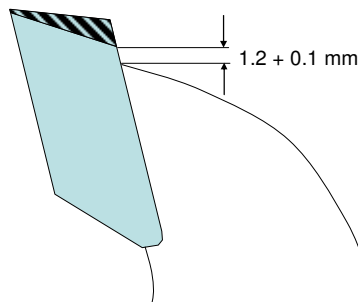
En attendant la résolution des problèmes de tenue des dents, on laissera une cote de 1 mm sur le dos des dents. Il faut donc creuser à 6.9mm les lames de MKV et à 9.4 mm celles de CSKM.

Pour le réglage de la Finimat, il faut :



- Venir tangenter avec la meule, en respectant l'angle de coupe et sans toucher le fond de dent ;
- Approcher la meule, jusqu'à effleurer le fond de dent. En dégageant la meule, on peut vérifier avec une jauge de profondeur que la cote est bonne ;
- Régler une passe de 0.1mm, qui doit être suffisante pour un nettoyage du logement, effectuer le nettoyage de la dent de réglage et vérifier le travail effectué ;
- Programmer la lame avec ces réglages pour Z-1 dents, en dégageant la dent qui vient d'être recreusée.

Si cette règle est respectée, l'affûteur qui effectue la mise à rond aura une marge de 0.1 mm (voir figure) pour rattraper les éventuels défauts obtenus lors du creusage, ou de dispersions entre les affûteuses.



17.3. Réparation

Le réglage de la braseuse prenant assez de temps, il ne faut pas faire de la réparation au cas par cas, mais attendre d'avoir un stock de lames à réparer de cinq lames (les lames à refaire entièrement seront bien sûr traitées en même temps).

Pour éviter les problèmes de diamètre et de nettoyage de la lame au prochain ré-affûtage, il faut nettoyer les logements uniquement avec une lime, tout en sachant que l'idéal au niveau cotes est de ne pas nettoyer le logement pour ces opérations.

18. Rectification

Toutes les lames fonctionnant en double-arbres sur CMK et MKV, il faut que les différences de voie (lame du haut-lame du bas) soient les plus petites possibles.

Certaines scies ont une voie bien étudiée, alors qu'il est nécessaire de « gonfler » certaines autres. Le tableau suivant indique quelle doit être la voie après rectification ; la précision de la rectifieuse étant de 0.05mm, les valeurs seront sur une plage de 0,1 mm.

MKV			
Type de lame	Epaisseur Corps (mm)	Epaisseur après rectification (mm)	Dimensions pastilles brutes
3,4 AKE	2,1	3,35 - 3,45	50208 - 10,5x3,9x3,5 HC10-20
3,4 Leuco	2,2	3,4 - 3,5	
3,4 Onci	2	3,3 - 3,4	
3,6 AKE	2,2	3,6 - 3,7	
3,6 Leuco	2,4	3,6 - 3,7	50208 - 10,5x4,1x3,5
3,8 AKE	2,4	3,8 - 3,9	
3,8 Leuco	2,6	3,8 - 3,9	50208 - 10,5x4,3x3,5
4 AKE	2,6	4 - 4,1	
4 Leuco	2,8	4,05 - 4,15	50208 - 10,5x5,1x3,5
4,7 Leuco	3,4	4,7-4,8	

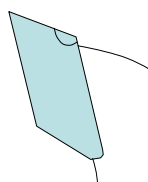
Type de lame	Epaisseur Corps (mm)	Epaisseur après rectification (mm)	Dimensions pastilles brutes
4,4 AKE	2,8	4,45-4,55	50212 - 13x4,8x4 HC10-20
4,6 Felde	3	4,7 - 4,8	50212 - 13x5x4 HC10-20
5,5 AKE	3,6	5,5 - 5,6	50212 - 13x6x4 HC10-20
5,5 ONCI	3,6	5,5 - 5,6	
5,7 AKE	3,8	5,7 - 5,8	

19. Reprise des dos de dents sur meule manuelle

Dans les cas d'une ou deux dents abîmées sur le dos, il est possible de les reprendre sur l'affûteuse manuelle.

Ces dents seront plus courtes et n'auront pas exactement le même angle que les autres. Ces dents prendront donc moins de copeau, tout en pouvant talonner. Pour une opération future de réparation, il ne faudra pas s'indexer sur ces lames, sinon on peut bloquer la meule ou la casser dans une dent plus haute.

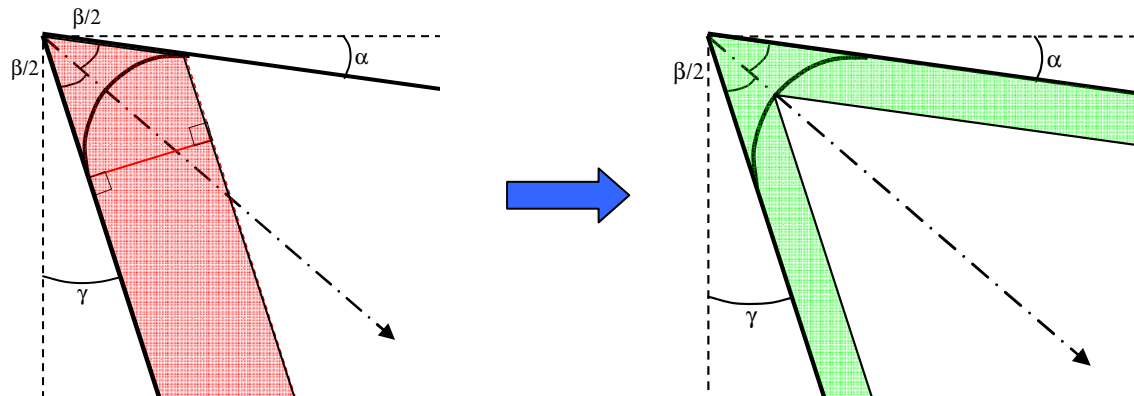
Il faudrait donc marquer les dents qui ont été affûtées manuellement, en réalisant par exemple un chanfrein sur les flancs de la dent, à l'arrière.



20. Marges d'affûtage

On considère que toutes les lames ont une marge d'affûtage de 0.2mm sur la voie. Si on n'affûte que la face des dents, on peut enlever 1.6mm sur l'épaisseur de la pastille. Par contre, si on affûte que sur le dos, cet enlèvement passe à 3.8mm (les angles de rectification étant différents), bien que l'on ne dispose pas de ce dépassement par rapport au corps.

Pour enlever le chanfrein d'usure, il vaut mieux affûter sur la face et le dos plutôt que sur la face uniquement. Cela a de plus l'avantage de refaire la mise au rond de la lame.



L'enlèvement sur les deux faces permet d'atteindre plus facilement un nouveau tranchant (dans le cas d'une usure régulière). Ci-dessous le tableau des correspondances :

total sur une face (mm)	réparti entre deux faces (mm)
0,04	0,01
0,07	0,02
0,10	0,03
0,13	0,04
0,15	0,05
0,18	0,06
0,20	0,07

Compte tenu des imprécisions des affûteuses, de l'usure des meules et du temps machine, on se fixe comme objectif un enlèvement de 0.05mm sur la face et sur le dos, lorsque le temps le permet (en programme de nuit principalement).

Il est nécessaire, dans ce cas, de laisser la compensation sur chaque lame. Sinon, il est nécessaire de réaliser une compensation toutes les 10 lames environ.

Erratum provisoire

Etant donné que nous ne disposons pas actuellement du matériel nécessaire au reconditionnement des lames repastillées, il vaut mieux continuer à affûter uniquement la face des pastilles. Le gain en temps machine sur la journée permettra de positionner quelques lames sur le manchon de la Walter. Il vaudrait mieux que ces lames aient été dégrossies sur le dos, et ralentir les vitesses d'avance des meules.

21. Montage des lames sur le manchon

Pour éviter toutes les imprécisions dues au diamètre de la lame, faux rond, etc. Il vaut mieux monter toutes les lames à la même position sur le manchon. La position correspond sur le laser à la dent située à droite d'un racleur externe, celui qui est marqué d'un point (réalisé au pointeau sur chaque lame) à sa base.



22. Suivi du travail des assistants de ligne

Certaines lames peuvent ne pas fonctionner, bien qu'elles soient bien affûtées, suivant leur positionnement sur le manchon.

Il est important que les lames situées entre les produits principaux et les sous-produits de fraisage (deuxième lame) aient une voie maximale, parce qu'elles ne prennent pas la même quantité de matière de chaque côté.

De même, il est important que les assistants de ligne utilisent les chariots, **pour le montage et le démontage** des lames des manchons. Des lames prises par 5 dans les mains peuvent avoir des chocs au niveau des pointes de dents.

A noter que cette opération peut devenir dans un avenir proche le travail des affûteurs.