Deroulage du peuplier : effets cultivars et stataions sur la qualite des produits derives

Hafida El Haouazali

▶ **To cite this version:**

Hafida El Haouazali. Deroulage du peuplier : effets cultivars et stataions sur la qualite des produits derives. Sciences de l'ingénieur [physics]. Arts et Métiers ParisTech, 2009. Français. NNT : 2009ENAM0025 . pastel-00005567

HAL Id: pastel-00005567
https://pastel.hal.science/pastel-00005567

Submitted on 6 Apr 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

N°: 2009 ENAM 0025

Ecole doctorale n° 432 : Sciences des Métiers de l'Ingénieur

T H È S E

pour obtenir le grade de

Docteur
de
l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Spécialité "Procédés de Fabrication"

présentée et soutenue publiquement
par

Hafida EL HAOUZALI

le 23 septembre 2009

DEROULAGE DU PEUPLIER : EFFETS CULTIVARS ET STATAIONS SUR LA QUALITE DES PRODUITS DERIVES

Directeur de thèse : ***Rémy MARCHAL***

Co-encadrement de la thèse : ***Laurent BLERON***

Jury :

Roberto ZANUTTINI, Professeur, AGROSELVITER Dept University of Torino	Examinateur
Joris VAN ACKER, Professeur, Ghent University Laboratory of Wood Technology	Rapporteur
Abdessadek SESBOU, Professeur, Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Maroc	Rapporteur
Gaetano CASTRO, Chargé de recherche, C.R.A. Italie	Examinateur
Frédéric MOTHE, Chargé de recherche, INRA – LERFOB, Champenoux	Examinateur
Laurent BLERON, Maître de conférences, LABOMAP Arts et Métiers ParisTech, Cluny	Examinateur
Rémy MARCHAL, Professeur, LABOMAP Arts et Métiers ParisTech, Cluny	Examinateur
Alain BERTHELOT, Ingénieur, Institut Technologique FCBA, Charrey	Invité
Eric PAILLASSA, Ingénieur, Institut de Développement Forestier, Bordeaux	Invité

Laboratoire Bourguignon des Matériaux et des Procédés
Arts et Métiers ParisTech, centre de Cluny

Arts et Métiers ParisTech (Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers) est un Grand Etablissement dépendant du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, composé de huit centres : AIX-EN-PROVENCE ANGERS BORDEAUX CHÂLONS-EN-CHAMPAGNE CLUNY LILLE METZ PARIS

Remerciements

Ce travail n'aurait pas pu se faire sans le projet Référentiel "Qualités des Bois des Cultivars de Peuplier" dont il est partie intégrante. Je remercie les coordinateurs et les partenaires financiers du projet :

- *l'Institut Technologique, Forêts Cellulose Bois-Construction et Ameublement (FCBA) ;*
- *l'Institut pour le Développement Forestier (IDF) ;*
- *le Conseil Régional de la Bourgogne (CRB) ;*
- *Fonds Social Européen (FSE) ;*
- *le Ministère de l'Agriculture de la Pêche et des Affaires Rurales (DGFAR) ;*
- *France Bois Forêt ;*
- *la Chambre Syndicale du Peuplier de France.*

Je tiens à remercier tous les membres de l'équipe de pilotage du projet : M. Daniel ALEON, M. Didier REULING et particulièrement M. Eric PAILLASSA et M. Alain BERTHELOT qui ont parfaitement organisé le déroulement de ce projet et qui ont accepté de siéger parmi les membres du jury.

Je remercie aussi : M. Jean Michel VINCENT du groupe LACROIX de nous avoir ouvert ses portes pour le déroulage en conditions industrielles. M. Eric METZ de la société KLEIBERIT et M. Jean MICHELER de la société ICABOIS qui nous ont fourni gracieusement les quantités de colles nécessaires pour la fabrication des panneaux.

Je tiens à témoigner toute ma gratitude et mon respect le plus profond à mon directeur de thèse M. Rémy MARCHAL qui m'a marquée avec sa modestie et qui a su m'apporter un soutien scientifique et humain sans réserve. Je le remercie d'avoir cru en moi, d'être toujours à l'écoute et de m'avoir toujours réservé le meilleur accueil malgré ses occupations multiples, j'espère ne pas l'avoir déçu.

Ma reconnaissance à mon co-directeur de thèse M. Laurent BLERON qui a fait plus que m'encadrer et qui était à tout moment disposé à aider de son mieux. Je le remercie pour ses précieux conseils et pour les discussions, toujours enrichissantes, que nous avions eues au cours de ces trois années.

Ma reconnaissance va aussi à M. Abdessadek SESBOU pour qui j'ai une profonde admiration. Je le remercie de m'avoir fait découvrir la variabilité du bois et pour tout ce qui l'a fait de près ou de loin, depuis mon encadrement au DESA Sciences du Bois jusqu'à sa participation au jury en temps que rapporteur.

J'exprime mes sincères remerciements aux autres membres du jury qui m'ont honorée en acceptant de juger ce travail : M. Joris VAN ACKER, M. Frédéric MOTHE, M. Roberto ZANUTTINI et M.Gaetano CASTRO.

Je voudrais également remercier les membres de l'équipe bois pour qui j'ai une réelle sympathie, en particulier messieurs : Jean-Claude BUTAUD, Robert COLLET, Fabrice COTTIN, Jean DIOCHON, Jean-Louis LIMARD et Mickael KREBS. Je les remercie d'avoir été toujours disponibles, impliqués et surtout patients avec moi. Je ne manque pas à remercier l'ensemble du personnel d'Arts et Métiers Paris Tech de Cluny, et spécialement mesdames : Françoise DARNAUD, Christine CHEVIGNARD, Christine LOUDOT et Nathalie LAROCHE, pour leur accueil et leur encouragement.

Enfin, je porte toute ma gratitude à M. André VERJAT ainsi que mes amis Sofia et Michel qui ont partagé avec moi les moments les plus difficiles au cours de ces trois années et qui étaient toujours là pour me réconforter.

À mes parents,

À mes sœurs et frères,

Que ce mémoire soit le témoignage de toute ma reconnaissance et ma gratitude.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION 7

I. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE 11

1. PRESENTATION GENERALE DU PEUPLIER 11
1.1. Biologie du peuplier 11
1.1.1. Taxonomie et chorologie 11
1.1.1.1. Section Turanga 11
1.1.1.2. Section Leuce 11
1.1.1.3. Section Aigeiros 12
1.1.1.4. Section Tacamahaca 12
1.1.1.5. Section Leucoïdes 12
1.1.1.6. Section Abaso 12
1.1.2. Description botanique 13
1.1.3. Ecologie 17
1.1.4. Le peuplier et la génétique 20
1.1.5. La populiculture en France 23
1.2. La qualité du bois de peuplier 24
1.2.1. Aspect macroscopique 24
1.2.2. Aspect microscopique 25
1.2.3. Propriétés physiques 26
1.1.1.1. Densité 26
1.1.1.2. Humidité 27
1.1.1.3. Rétractibilité 27
1.2.4. Propriétés chimiques 28
1.2.5. Propriétés mécaniques 29
1.1.1.4. Classement des bois 29
1.2.6. Durabilité 31
1.2.7. Les singularités 31
1.2.7.1. Les anomalies de forme 31
1.2.7.2. Le faux-cœur 32
1.2.7.3. Le bois de tension 32
1.2.7.4. Le bois juvénile 34
2. VALORISATION INDUSTRIELLE DU BOIS DE PEUPLIER 35
2.1. Transformation par sciage 36
2.2. Transformation par déchiquetage 37
2.2.1. Pâte à papier 37
2.2.2. Panneaux 38
2.3. Transformation par déroulage 39
2.3.1 . Géométrie du déroulage 39
2.3.2 . Qualité des placages 42
2.3.2.1. Critères de qualité 42
2.3.2.1.1. Variations d'épaisseur 42
2.3.2.1.2. Rugosité 43
2.3.2.1.3. Fissuration cyclique 45
2.3.2.1.4. Tuilage 46
2.3.2.1.5. Couleur 47
2.3.2.2. Facteurs d'influence du procédé 48
2.3.2.2.1. Température d'étuvage 48
2.3.2.2.2. Type et réglage de la barre de pression 48
2.3.2.2.3. Réglage de l'angle de dépouille de l'outil 49
2.3.2.2.4. Passe d'usinage 49
2.3.2.2.5. Vitesse de déroulage 49
2.3.2.3. Facteurs d'influence du bois 49
2.3.2.3.1. Les défauts de forme 49
2.3.2.3.2. La densité 50
2.3.2.3.3. La nodosité 50
2.3.2.3.4. Le bois de tension 51
2.3.2.3.5. Le faux-cœur 52
2.3.2.3.6. Le Bois juvénile 52
2.3.3 . Les produits du déroulage 53
2.3.3.1. Les emballages légers 53
2.3.3.2. Les contreplaqués 54

2.3.3.2.1. Les usages 54
2.3.3.2.2. Caractéristiques mécaniques 55
2.3.3.3. Les Laminated Veneer Lumber 56
2.3.3.3.1. Les usages 56
2.3.3.3.2. Caractéristiques mécaniques 57
3. CONCLUSION 62

II-MATERIELS ET METHODES 64

1. MATERIEL VEGETAL 64
2.1. Choix des cultivars 64
2.2. Choix des sites 68
2.3. Choix des arbres et billonnage 70
2. CARTOGRAPHIE D'HUMIDITE 72
3. DEROULAGE SEMI-INDUSTRIEL 74
3.1. Bouillottage 74
3.2. Caractéristiques de la dérouleuse utilisée 74
3.3. Paramètres de déroulage 75
3.4. Mesure des efforts 76
3.5. Caractérisation industrielle des placages 76
3.5.1. Tendance au tuilage 77
3.5.2. Aspect pelucheux 78
3.5.3. Irrégularité d'épaisseur 78
3.5.4. Rugosité et fissuration 79
4. DEROULAGE INDUSTRIEL 81
4.1. Présentation de l'entreprise 81
4.2. Procédé de fabrication 82
4.3. Classement et contrôle de qualité 83
4.4. Déroulage 84
5. CARACTERISATION MECANIQUE DES PANNEAUX LVL ET CONTREPLAQUES 86
5.1. Fabrication des panneaux 86
5.1.1. Sélection des placages 86
5.1.2. Séchage 86
5.1.3. Choix des colles 86
5.1.4. Encollage 87
5.2. Préparation des éprouvettes 88
5.3. Flexion dynamique par la méthode vibratoire BING 89
5.4. Flexion statique 4 points 93
5.5. Essais de cisaillement 95
6. ENQUETE INDUSTRIELLE 96
7. TRAVAUX COMPLEMENTAIRES 96
7.1. Evaluation de la qualité des grumes et des bois 97
7.1.1. Proportion du bois de tension 97
7.1.2. Taux du faux cœur 97
7.1.3. Infradensité 97
7.2. Evaluation des caractéristiques mécaniques des sciages 98
7.2.1. Essais de flexion 4 points 98
8. OUTIL D'ANALYSE STATISTIQUE 98

III-RESULTATS ET DISCUSSION 99

1. DEROULAGE SEMI INDUSTRIEL 99
1.1. Humidité des billons avant déroulage 99
1.1.1 Analyse des cartographies 99
1.2. Efforts du déroulage 106
1.3. Qualité du placage 111
1.3.1. Tuilage 111
2.3.3.4. Amplitude du tuilage 111
2.3.3.5. Fréquence du tuilage 112
1.3.2. Aspect pelucheux 114
1.3.3. Irrégularité d'épaisseur 118
1.3.4. Rugosité 122
1.3.5. Fissuration 124
2. DEROULAGE INDUSTRIEL 125

2.1. Rendement quantitatif ... *125*
2.2. Rendements qualitatifs ... *128*
3. CARACTERISATION MECANIQUE DES PANNEAUX ... 130
3.1 Panneaux contreplaqués ... *130*
3.1.1 Module d'élasticité statique ... 131
3.1.2 Module d'élasticité dynamique ... 133
3.1.3 Contrainte de rupture en flexion ... 135
3.1.4 Contrainte de rupture en cisaillement ... 136
3.1.5 Masse volumique ... 138
3.2 Panneaux LVL ... *140*
3.2.1. Module d'élasticité statique ... 141
3.2.2 Module d'élasticité dynamique ... 143
3.2.3 Contrainte de rupture en flexion ... 144
3.2.4 Contrainte de rupture en cisaillement ... 146
3.2.5 Masse volumique ... 147
4. RESULTATS DE L'ENQUETE INDUSTRIELLE ... 150
4.1. Choix des grumes et classement des cultivars ... *150*
4.2. Caractéristiques du déroulage ... *151*
4.3. Qualité des placages ... *151*
4.4 Qualité des panneaux ... *151*
IV- CONCLUSION ET PERSPECTIVES ... 153
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ... 156
ANNEXES ... 167

INTRODUCTION

Essence de production par excellence, le peuplier revêt une importance économique non négligeable. L'intérêt du peuplier est de plus en plus révélé au niveau mondial. En effet il s'agit d'une essence à croissance rapide, qui peut contribuer à combler le déficit mondial en bois. Cet intérêt est clairement manifesté par le simple fait qu'à l'heure actuelle 37 pays différents, représentant les cinq continents, sont devenus membres de la Commission Internationale du peuplier (Breton, 2000 ; Steenackers, 1994).

On note deux géants dans le peuplier planté à vocation de production du bois: la Chine avec 2 M ha et l'Inde avec 1 M ha. Viennent ensuite la France (220 000 ha), la Hongrie (160 000 ha), la Roumanie (160 000 ha), la Turquie (130 000 ha) et l'Italie (120 000 ha) puis dans l'ordre décroissant : l'Espagne, l'Argentine, l'Allemagne, la Belgique, la Russie, et le Canada. Les principaux pays exportateurs sont: la France, la Belgique, la Roumanie et l'Espagne (FAO, 2004).

En France, le peuplier occupe une surface morcelée totalisant 220 000 ha (Thivolle, 2003). Il joue un rôle novateur dans l'économie forestière française. C'est la deuxième essence feuillue, en termes de volume récolté en France après le chêne. Il produit un volume de bois de 2 M m^3/an, soit environ 25% de la récolte totale de bois d'œuvre feuillu (Le Net et Berthelot, 2001).

Le marché français absorbe 80% de la récolte annuelle (Le Net et Berthelot, 2001). Les exportations de bois ronds sont essentiellement à destination de l'Italie (332 507 tonnes, FAO, 2000), le Maroc (10.000 m^3) et dans une moindre mesure l'Espagne (Sbay et Taroq, 2003). Les importations ne représentent que moins de 10% de la récolte. Elles proviennent de la Belgique et du Luxembourg (Le Net et Berthelot, 2001).

La France bénéficie d'une expérience unique en la matière, tant en termes d'expérience de la populiculture qu'en termes d'importance économique du secteur. Toutefois la ressource en bois de peuplier demeure un sujet d'inquiétude permanent, car il s'agissait de surfaces relativement restreintes et d'un cycle de production court (Le Floch et Terrasson, 1999) et l'approvisionnement peut donc varier considérablement et rapidement suivant les changements économiques, climatiques et biologiques.

Dans le but d'assurer une gestion durable et optimisée des peupleraies, on a opté pour la diversification des cultivars plantés. En effet la production de bois de peuplier s'appuie sur l'utilisation d'un grand nombre de cultivars différents. Cette diversification implique une grande variabilité de la qualité du bois qui peut engendrer des aptitudes d'utilisation différentes et / ou des limites d'utilisation.

Cependant l'évaluation de la qualité du bois issu de ces cultivars n'a pas été suffisamment prise en compte lors de la mise en place de nouveaux cultivars. Les études entreprises à ce sujet n'ont porté dans une très large mesure que sur la vigueur, la forme et l'adaptation au milieu. Ces études restent insuffisantes, dans la mesure où elles ne prennent pas en considération la complexité de la qualité du bois. Celle-ci est sous la dépendance de différents facteurs dont le génotype, les effets environnementaux et les effets de maturation, sans oublier leurs interactions.

L'adéquation entre la qualité du bois de ces cultivars et les qualités requises pour l'élaboration des différents produits (contreplaqué, emballage, …) demeurant imprécise, une évaluation complète de la qualité du bois de ces cultivars s'avère nécessaire.

La présente étude est née de cette logique. Elle s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche intitulé "Référentiel qualité des cultivars de peuplier". Ce programme est coordonné par l'IDF[1] et conduit avec l'Institut Technologique FCBA[2], le Syndicat du Peuplier de France et l'ENSAM. Il vise à évaluer les qualités du bois des 10 principaux cultivars présents actuellement sur le marché ou y arrivant bientôt avec des volumes conséquents. Il s'agit des cultivars : I 214, Dorskamp, Beaupré, Blanc du Poitou, Robusta, I45/51, Ghoy, Flevo, Raspalje et Fritzi Pauley. Il s'agit d'élaborer un référentiel qui vise à permettre aux autres cultivars de se positionner en comparaison à ces 10 premiers jugés à divers titres de grand intérêt populicole, et/ou industriel.

Dans ce cadre et sur le même dispositif, le FCBA a mené une recherche axée sur :

- Le classement des grumes;
- L'estimation du taux de faux cœur;
- L'évaluation de la présence de bois de tension;
- La mesure de l'infradensité;
- L'appréciation de la couleur;
- La caractérisation mécanique des sciages;
- Le comportement au séchage des sciages;
- L'évaluation des qualités papetières.

L'évaluation de la qualité de ces cultivars permettra d'identifier des critères qualitatifs discriminants en vue d'orienter la populiculture. Par ailleurs les informations sur la qualité du bois sont actuellement indispensables pour pouvoir définir de nouvelles utilisations, passant éventuellement par de nouveaux procédés de transformation, afin d'assurer la pérennité de la filière peuplier française dans le cadre des changements économiques actuels.

Aujourd'hui cette filière est rentable, demandant peu d'investissements et peu de main d'œuvre.

[1] L'Institut pour le Développement Forestier.
[2] L'Institut Technologique Forêt Cellulose Bois et Ameublement.

Les débouchés majeurs sont l'emballage léger, la palette et le contreplaqué. La production est transformée environ pour 67% en déroulage (Chambre syndicale de peuplier, 2001) et cette part est en progression. C'est le secteur utilisateur le plus rémunérateur actuellement.

Suite à la stratégie de diversification des cultivars, l'industrie du déroulage se retrouve face à une complexité dans le choix des matières premières. En effet, la disparition de certains cultivars, tel que le Robusta, et l'arrivée de nouveaux, comme le Flevo, obligent les industriels à s'adapter. L'existence de références techniques précises sur la déroulabilité de ces cultivars et la qualité des produits obtenus constituent des points de repère qui permettront cette adaptation.

A partir de ce contexte, cette thèse porte sur l'étude de la variabilité de la qualité des placages et de produits dérivés de 10 cultivars de peuplier issus de 4 types de stations forestières différentes. Cette étude suscite une question principale : ***la qualité des placages de peuplier et les propriétés des matériaux dérivés dépendent ils du cultivar et de la station forestière?***

Cette question se trouve stimulée par d'autres questionnements qui complètent la trame constitutive de cette problématique:

- Quel est le comportement de chaque cultivar au déroulage?
- Y-a-t-il lieu d'adapter les paramètres de coupe à chaque cultivar?
- Comment se présente l'état de surface des placages issus de chaque cultivar?
- Pour un même cultivar, la qualité de placage est elle la même dans les quatre stations étudiées?
- Quels sont les tests les plus fiables pour une caractérisation objective et d'intérêt industriel de l'état de surface des placages ?
- Quels sont les cultivars les plus aptes à donner un placage de qualité satisfaisante ?
- Quelle est la station la plus propice pour produire des cultivars dont les placages présentent la meilleure qualité ?
- Quelle serait l'aptitude du peuplier à être utilisé pour la fabrication des panneaux LVL pour une diversification vers la construction ?
- la qualité des produits dérivés, notamment les panneaux contre plaqué et LVL, serait elle influencée par les effets cultivar et station?
- La qualité des placages, aurait elle un effet sur la qualité des produits dérivés notamment les panneaux contre plaqué et LVL?

De ce fait, ce travail vise à atteindre plusieurs objectifs:

- Etablir un référentiel de qualité des placages de peuplier;
- Avancer sur une définition industrielle de critères simples et faciles à mesurer pour une évaluation objective des qualités de placage;
- Etablir un référentiel de qualité des produits lamellés issus du déroulage (contreplaqué et LVL) ;

- Cerner les aptitudes technologiques du bois de peuplier;
- Contribuer à la détermination de nouvelles utilisations du bois de peuplier ;
- Proposer des adaptations dans le procédé pour améliorer la qualité des produits obtenus.

En aboutissant à ces objectifs, cette étude pourrait participer à orienter la populiculture pour les années à venir. En effet elle conduirait le producteur à fournir une matière première dont la qualité répondra aux exigences des futurs acheteurs dans les 15 à 20 ans. Ainsi, toutes les informations sur les qualités du bois des cultivars plantés seraient autant d'indications positives ou négatives sur les potentialités de commercialisation à terme.

Les industriels aussi seraient intéressés il s'agit pour eux de connaître des critères discriminants simples à mesurer pour identifier les caractéristiques techniques précises de la matière première qu'ils utilisent.

Ce travail serait aussi utile aux programmes d'amélioration génétique du peuplier, dans la mesure où il serait un moyen pour déceler les cultivars prometteurs. Étudier le peuplier dans cette optique adoptera ce genre à une nouvelle conjoncture économique et écologique.

I. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Présentation générale du peuplier

1.1. Biologie du peuplier

1.1.1. Taxonomie et chorologie

Les peupliers, genre Populus, appartiennent à la famille des Salicacées, qui fait partie de l'ordre des Salicales du groupe des Amentiflores. Ce groupe se range dans la sous classe des Monochlamidae, classe des Dicotylidonae, sous division des Angiospermae, et division des Phanerogamae (Gaussen et al., 1982). Le genre Populus renferme 39 espèces (Chardenon, 1980) groupées en 6 sections dont la répartition et l'intérêt économique sont inégaux.

1.1.1.1. Section Turanga

Cette section ne comprend qu'une seule espèce, *Populus euphratica.* Son aire est très vaste, de la méditerranée occidentale au centre de l'Asie : Espagne (mais il n'y serait pas spontané), Afrique du Nord, Egypte, Syrie, Irak, Iran, Turquie, Sud de la Sibérie centrale, Pakistan, Afghanistan, Mongolie, Chine, plus un îlot au sud de l'équateur, en Afrique orientale (FAO, 1980). Cette espèce n'a qu'une faible importance économique, son bois est souvent utilisé comme combustible (Barnéoud et al, 1983).

1.1.1.2. Section Leuce

Les praticiens et les botanistes distinguent deux sous sections, les trembles (Trepidae) et les peupliers blancs proprement dits (Albidae).

a. Sous section Trepidae

Les trembles sont des espèces montagnardes et boréales. Trois espèces principales sont reconnues, *Populus tremula*, *Populus tremuloides* et *Populus grandidentata*. *P. tremula* occupe une aire immense qui couvre la plus grande partie de l'Europe, l'Asie occidentale et le nord de l'Afrique. *P. tremuloides* s'étend sur une aire qui couvre une grande partie de l'Amérique du Nord à l'exception des plaines centrales et du Sud-Est. *P. grandidentata* a une aire beaucoup plus restreinte qui s'inscrit dans la partie Nord-Est de celle de *P. tremuloides* et englobe la région des Grands Lacs, la vallée du St-Laurent et la zone comprise entre celle ci et la côte.

b. Sous section Albidae

La majorité des botanistes englobent tous les peupliers blancs dans la grande espèce *Populus alba.* Ces peupliers, généralement originaires de régions chaudes et sèches, sont liés à la présence de l'eau bien qu'ils puissent être plantés hors de ces stations. De nombreuses formes

de peupliers blancs existent. Ils sont classés en deux groupes distincts, un groupe centre-oriental et un groupe occidental.

- Peupliers blancs du groupe centre-oriental : très largement répandus à l'état spontané en Europe centrale et méridionale ainsi qu'en Asie occidentale, des peupliers de ce groupe sont cultivés pour l'ornement dans le monde entier ; certains font l'objet d'une culture dont l'importance économique est grande au Proche-Orient.
- Peupliers blancs du groupe occidental : ils ont une aire de répartition limitée au bassin occidental de la Méditerranée (Sardaigne, Espagne, Maroc et Algérie).

1.1.1.3. Section Aigeiros

L'aire des peupliers de cette section est limitée au Nord par le 60e parallèle. Il n'en existe pas en Asie Orientale. Deux espèces principales sont reconnues, l'une eurasiatique *Populus nigra*, l'autre nord-américaine *Populus deltoïdes*.

- *Populus nigra* : appelé peuplier noir, son aire comprend la partie eurasiatique de celle de la section, il est abondant en particulier au Moyen-Orient. En France les peupliers noirs sont très variés, se multiplient spontanément, en particulier sur le Rhône la Garonne, la Loire et leurs affluents.
- *Populus deltoïdes* : son aire très vaste s'étend de l'Atlantique aux grandes plaines et de la région des grands lacs au golfe du Mexique.

1.1.1.4. Section Tacamahaca

Cette section groupant tous les peupliers baumiers est représentée en Amérique du Nord, où elle constitue des peuplements naturels, et en Asie où leur aire est fort étendue depuis l'Est de la Turquie jusqu'en Extrême-Orient. Les espèces américaines les plus répandues sont : *Populus trichocarpa* et *Populus tacamahaca* qui jouent un rôle économique indiscutable aux Etats-Unis. Celui de *Populus candicans* et *P. angustifolia* est plus restreint.

1.1.1.5. Section Leucoïdes

Regroupe toutes les espèces de l'Extrême-Orient, à l'exception d'une espèce américaine *P. heterophylla*. Cette section est très mal connue et semble n'avoir aucune importance économique.

1.1.1.6. Section Abaso

Elle n'est représentée que par une essence fossile *Populus mexicana*, qui a été identifiée en Amérique du Nord (Mertens et al., 2003).

Le territoire occupé par les peupliers (figure I.1) s'étend du cercle polaire au 25ème parallèle

Nord, avec un îlot en Afrique orientale au sud de l'équateur. En Asie les limites ne sont pas connues avec précision, au nord de la Sibérie d'une part, au sud de la Chine d'autre part (Barnéoud et al., 1983).

La limite sud passe de l'est à l'ouest, au nord du Vietnam et de l'Inde, légèrement au nord de la frange côtière iranienne sur le Golfe Persique, au sud de l'Irak et des pays du Jourdain. L'aire comprend le nord de l'Egypte et de la Libye, les pays du Maghreb, les Etats Unis en totalité, une frange du territoire mexicain du nord ouest, ainsi que des étendues assez vastes au Canada.

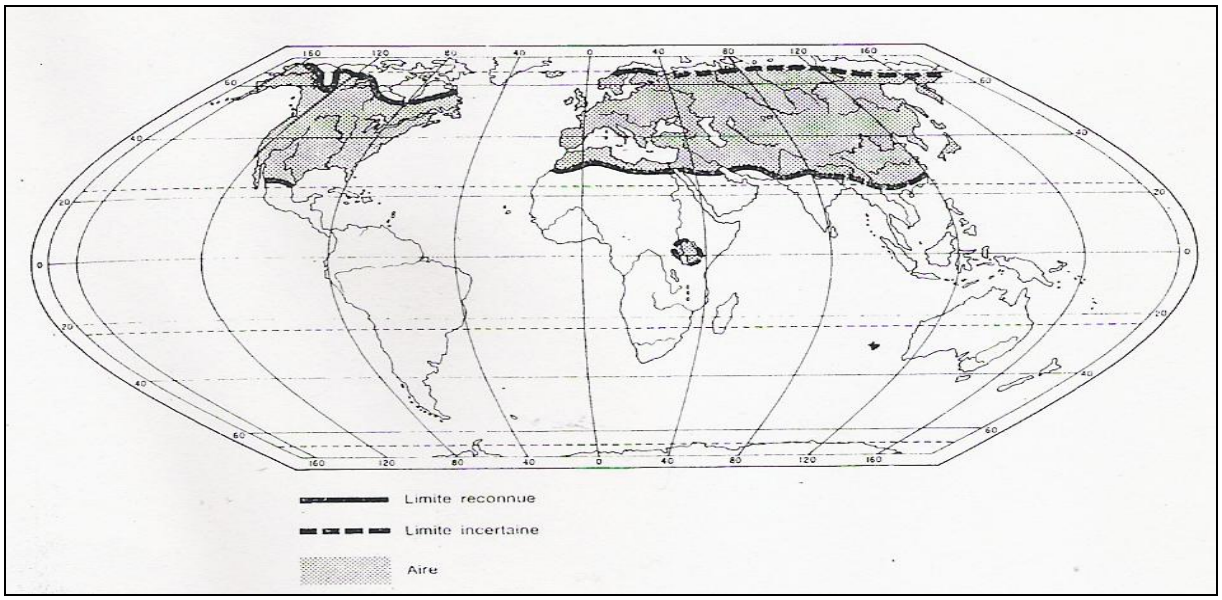


Figure I.1- Aire naturelle du genre Populus (FAO, 1980).

L'extension de l'aire paraît conditionnée par la durée du jour et la température puisque dans l'hémisphère Nord elle s'arrête à deux parallèles. Le peuplier n'existe pas dans l'hémisphère Sud mais la culture et possible aux latitudes symétriques de celle du Nord. Elle est pratiquée en particulier en Argentine, en Afrique du Sud, en Australie et en nouvelle Zélande (Le Floch, 1996).

En France, il est toujours possible de trouver des peupliers pouvant donner en sol favorable, une bonne croissance, exception faite cependant pour les zones montagneuses à plus de 1200 m d'altitude où l'introduction du peuplier est risquée (Chardenon, 1982).

1.1.2. Description botanique

La tige peut être rectiligne verticale ou légèrement inclinée, peut être flexueuse et dans ce cas présenter un seul arc de grand rayon ou au contraire plusieurs courbures successives (Chardenon, 1982). Dans la plus part des cas ces fluctuations sont dues au fait que le peuplier est très sensible au phototropisme (Barnéoud et al., 1983).

Lorsqu'elles sont situées à l'extrémité supérieure du peuplier, les branches sont vigoureuses et à élongation rapide. Plus bas elles sont en générale plus fines, moins rectilignes, leur croissance

est lente et limitée (Dupré, 2004). La section des rameaux vigoureux est selon les espèces et cultivars, ronde, ailée ou cannelée. Les faibles branches ont toujours une section circulaire ou légèrement anguleuse (Chardenon, 1982).

L'écorce varie considérablement d'un cultivar à l'autre et selon les milieux. La forme des lenticelles est en général ovoïde plus au moins élargie avec quelques fois un aspect de parenthèses. Dans la partie inférieure du tronc les lenticelles sont plus larges suite à la croissance en diamètre. Chez certains cultivars on rencontre des formations punctiformes ou ressemblant à des tirets verticaux, elles donnent à l'écorce une couleur blanchâtre (Barnéoud et al., 1979).

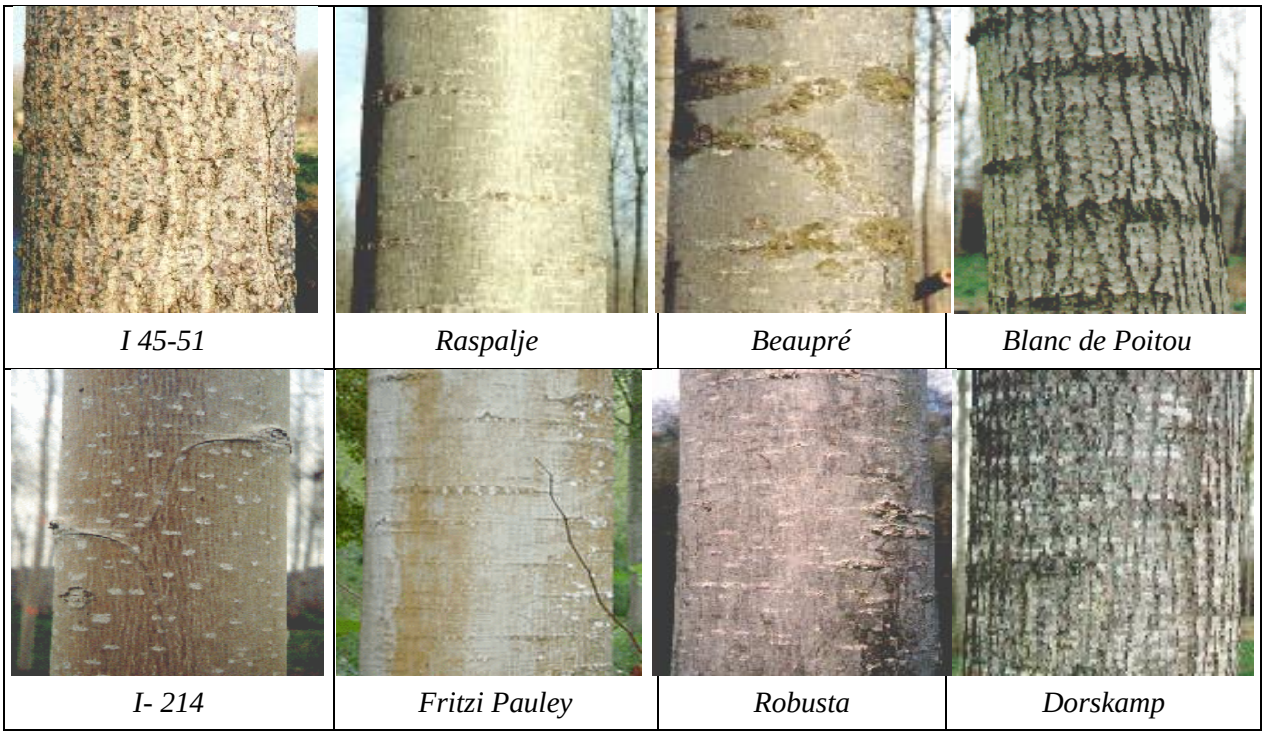


Figure I.2- Ecorces de quelques cultivars de peuplier (Paillassa, 1999).

Le développement des racines des peupliers dépend essentiellement de la nature du sol et de la profondeur de la nappe d'eau. Dans les sols limoneux des plateaux, la plus grande part des racines se trouve entre 20 à 40 cm de profondeur. Dans un sol profond les divers peupliers disposent leurs racines sur plusieurs étages. Dans un terrain où la nappe d'eau est loin de la surface du sol (2 m et plus), il se forme alors deux types de racines horizontales et verticales (Gama et Dumas, 1995).

La feuille est caduque, simple est longuement pétiolée avec des marges souvent dentées. Sa forme est très variable, elle peut être ovoïde étroite ou lancéolée, ovoïde large, orbiculaire, deltoïde losangique, cordiforme. La longueur totale de la feuille peut aller de 5 à 35cm, sa largeur de 3 à 30 cm, la longueur du pétiole de quelques millimètres à 15 cm (Gaussen et al., 1982). L'observation des feuilles est le meilleur outil pour la distinction entre les différents cultivars et clones. Les critères les plus étudiés sont la largeur et la section du pétiole, la base et

les joues du limbe, la nervation, les stomates et la date d'apparition et de chute (Chardenon, 1982).

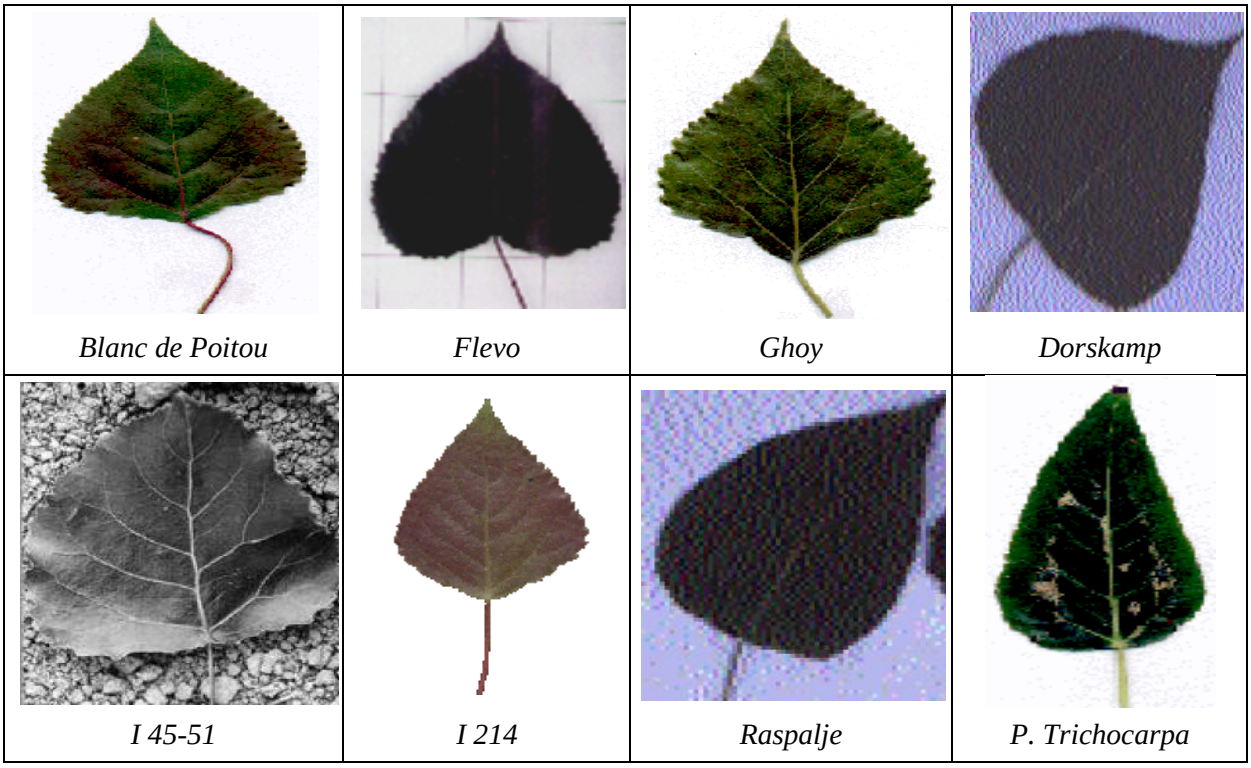
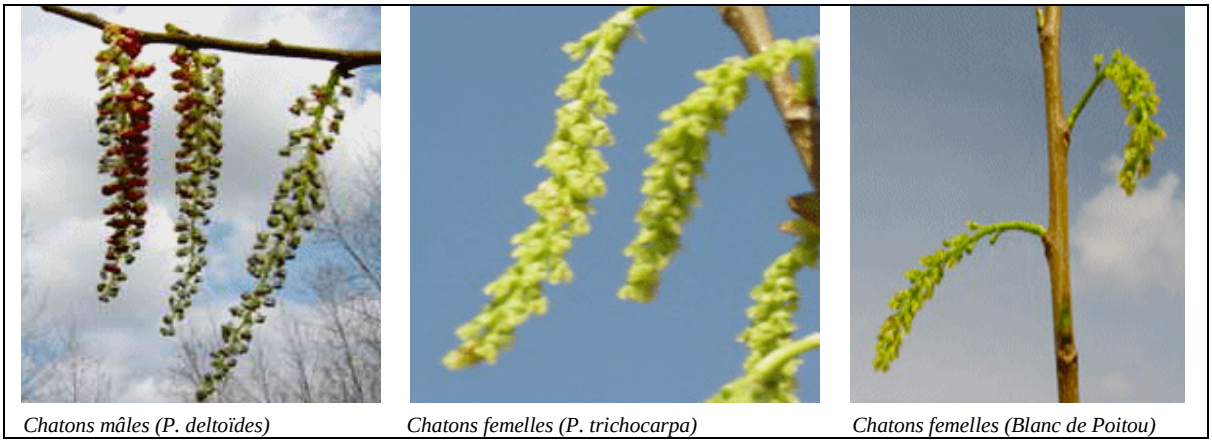


Figure I.3- Exemples de différentes formes de feuilles chez le peuplier (www.peupliersdefrance.org ; Paillassa, 1999).

Organes floraux: les salicacées sont normalement dioïques, les fleurs mâles et les fleurs femelles sont portées par des arbres différents. Les fleurs sont groupées en chatons. Les chatons mâles sont rouges plus au moins foncés et pendants. La fleur est constituée d'un disque où sont insérées des étamines en nombre variable suivant les espèces.

La pollinisation est anémophile. Les chatons femelles sont le plus souvent vert clair ou vert blanchâtre, la forme du réceptacle est la même que chez la fleur mâle. Les stigmates sont globuleux en forme d'aile (Barnéoud et al., 1983). La date d'apparition des fleurs est un caractère distinctif des clones. Il s'agit toujours de dates relatives (Legionnet et al., 1997).

Les fruits: le fruit est une capsule loculicide qui dérive de deux carpelles ouverts soudés par leur bord et contenant de nombreuses graines poilues (Barnéoud et al., 1983). Le nombre des valves par les quelles s'ouvrent les fruits a une valeur de classification. Il peut y avoir 2, 3 ou 4 valves. les capsules sont à 2 et 3 valves ou bien à 3 et 4 ou encore, à 2, 3 et 4 (Chardenon, 1982).



Chatons mâles (P. deltoïdes) *Chatons femelles (P. trichocarpa)* *Chatons femelles (Blanc de Poitou)*

Figure I.4- Les organes floraux chez le peuplier (www.peupliersdefrance.org).

Comme les cultivars de peupliers sont apparentés étroitement entre eux, il n'est pas facile de les distinguer. Et pourtant cette distinction est nécessaire. Les principaux caractères retenus pour l'identification des clones, sont pour les arbres adultes: le sexe, le nombre d'étamines ou de valves, La longueur des chatons, les dimensions des feuilles, la forme de leur base et de leur sommet, la date relative du débourrement ; la forme du fût. Pour les arbres jeunes en pépinière les critères d'identification sont: la forme de la section de la tige ; l'angle d'insertion des rameaux et enfin les lenticelles (Chardenon, 1982).

Tableau I.1- Caractéristiques botaniques de dix cultivars de peuplier.

	Sexe	***Défeuillaison***	***Tronc***	***Ecorce***	***Cime***	***Branches***
Fritzi Pauley	femelle	tardive	cylindrique ; droit ; courbures disparaissant avec l'âge.	lisse	nette dominance apicale	ramure légère horizontale
Blanc du Poitou	mâle	assez tardive	un peu flexueux	rugueuse	large ; branches reparties irrégulièrement	assez redressées fortes
Dorskamp	mâle	assez tardive	assez flexueux	lisse puis rugueuse	bonne dominance apicale, demi-étalée.	fines
Flevo	mâle	date moyenne	droit en bonne station si non flexueux	rugueuse	dominance apicale peu nette	moyennement fortes
Ghoy	femelle	assez précoce	assez droit	rugueuse	large régulière et élancée	fines
I 214	femelle	date moyenne	flexueux mais modifiable par la taille	fines sauf en mauvaise station	assez ouverte dominance apicale faible	fortes à développement rapide.
I 45-51	mâle	assez tardive	droit	rugueuse à crêtes marquées	bien dressée assez étroite	peu fortes
Robusta	mâle	précoce	rectitude parfaite	épaisse	étroite pyramidale	branches fines insérées à 45°
Beaupré	femelle	tardive	droit	lisse	équilibrée symétrique	verticilles bien marqués, fines
Raspalje	femelle	tardive	droit	lisse	équilibrée symétrique	fines

1.1.3. Ecologie

Sol : La production du bois de peuplier est fortement liée au sol. 90% des échecs sont dus à un mauvais choix de sol (Chardenon, 1982). Les sols les plus favorables sont légers, profonds, assez riches chimiquement, bien alimentés en eau. Ils doivent être équilibrés (50 à 70% de sables ; 30 à 50% de limon plus argile), avec une richesse suffisante en azote, en phosphore et en potassium. Ajoutons à cela un pH compris entre 6,5 et 7,5 (Duchaufour, 1965).

Eau : Le peuplier est une essence hygrophile, donc très exigeante en eau. La quantité d'eau conditionne l'extension des peuplements naturels. En culture, il est possible de produire du bois de peuplier si la pluviosité est suffisante ou s'il existe une nappe d'eau accessible aux racines. Les quantités annuelles nécessaires au peuplier varient entre 500 et 1000 mm (Piegay et al., 2003). Dans certaines régions la populiculture n'est possible qu'avec irrigation. Dans ce cas il faut que le peuplement soit alimenté à raison de 600 à 1000 m^3 d'eau par hectare et par mois (Duchaufour, 1965).

Lumière : Les peupliers sont des essences héliophiles, ils se développent souvent en plein découvert. Leur activité photosynthétique est très intense : l'assimilation du gaz carbonique peut atteindre jusqu'à 25 milligrammes par heure et par décimètre carré de feuilles développées en pleine lumière (Roussel, 1972). Ils manifestent à des degrés divers, selon les espèces et les cultivars, une sensibilité au phototropisme. En effet les individus sensibles se courbent en direction de la lumière la plus intense. Parmi les cultivars les plus sensibles on trouve le I-214. Parfois le rayonnement solaire peut provoquer des brûlures de cambium surtout sur des peupliers à écorce fine (Mertens et al., 2003).

Température : Selon Chardenon (1982), on constate que pour les pays où le peuplier est cultivé ou exploité, la gamme des températures moyennes annuelles est très étendue, de 6°C dans le nord des Etats Unis ou l'est de la Turquie par exemple, à 18° C dans le sud de l'Espagne et de la Turquie ainsi qu'en Syrie, et même plus de 20°C dans l'Arizona, les pays d'Europe occidentale et le centre des Etats-Unis ont des températures comprises entre 9° et 15°C. Le froid intense et les variations de température brutales en périodes de gelées hivernales induisent des gélivures (Mertens et al., 2003).

Vent: Généralement les peupliers sont sensibles au vent. Une pression ou une orientation constante du vent peut entrainer une courbure du tronc qui se traduit par une forme ovale et une grande proportion de bois de tension.

Tableau I.2 - Autoécologie de quelques cultivars de peuplier.

	Phototropisme	**Sensibilité au vent**	**Sensibilité au froid**	**Plasticité**	**Croissance**
Fritzi Pauley	Peu sensible	Sensible	Ne convient pas sous le climat méditerranéen et dans les zones côtières	Peut pousser normalement sur les sols tourbeux. Développe fréquemment la chlorose en sol calcaire	Généralement bonne ; tolère la concurrence
Blanc du Poitou	Assez sensible	Assez sensible	Faible sensibilité au froid	S'adapte aux terrains hydromorphes	Bonne dans les stations chaudes peu ventées et sur les sols à texture légère.
Dorskamp	Très sensible	Assez sensible	Faible sensibilité au froid	Très plastique	Bonne
Flevo	Sensible	Assez sensible	Tolère le froid	S'adapte à des sols variés	Rapide et de moindres exigences
Ghoy	Faible	Résistant	Faible	Assez plastique mais croît mieux sur des sols à pH élevé	Lente durant les premières années
I-214	Sensible	Sensible	Sensible aux gelées précoces et préfère les climats chauds	Plastique mais redoute les excès d'eau	Très bonne sur des terrains fertiles et bien travaillés
I 45-51	Peu sensible	Assez fragile	Préfère les stations chaudes mais supporte mal les années froides	Très plastique, il croît même sur des sols filtrants et argileux	Très bonne
Robusta	Insensible	Sensible	Peu sensible	Plastique mais redoute les excès d'eau	lente
Beaupré	Peu sensible	Assez résistant	Faible	Plastique mais craint les sols calcaires	Très bonne, supporte bien la concurrence
Raspalje	Peu sensible	Résistant	Peu sensible aux gelées tardives	Très plastique mais ne supporte pas les sols asphyxiants	Très bonne même en cas de plantation dense

1.1.4. Le peuplier et la génétique

Comme toutes les essences à large aire de répartition, les peupliers présentent un important polymorphisme génétique illustré par des variations de morphologie, d'anatomie de croissance et de réponses aux stress biotiques et abiotiques. Ces caractères fortement liés à la qualité du bois sont en grande partie sous un contrôle génétique qui peut être modéré par les conditions de croissance. Les généticiens et les forestiers ont su tirer profit de cette diversité en faveur de l'amélioration génétique du peuplier.

Depuis plusieurs années au niveau international, le peuplier est considéré comme espèce modèle dans le domaine du génie génétique forestier. Entre 1994 et 2004, *Populus* a été le deuxième genre le plus utilisé, après *Pinus*, dans les études de biotechnologie en général (Marchadier et Sigaud, 2005), et de loin la première essence forestière modifiée génétiquement (figure I.5).

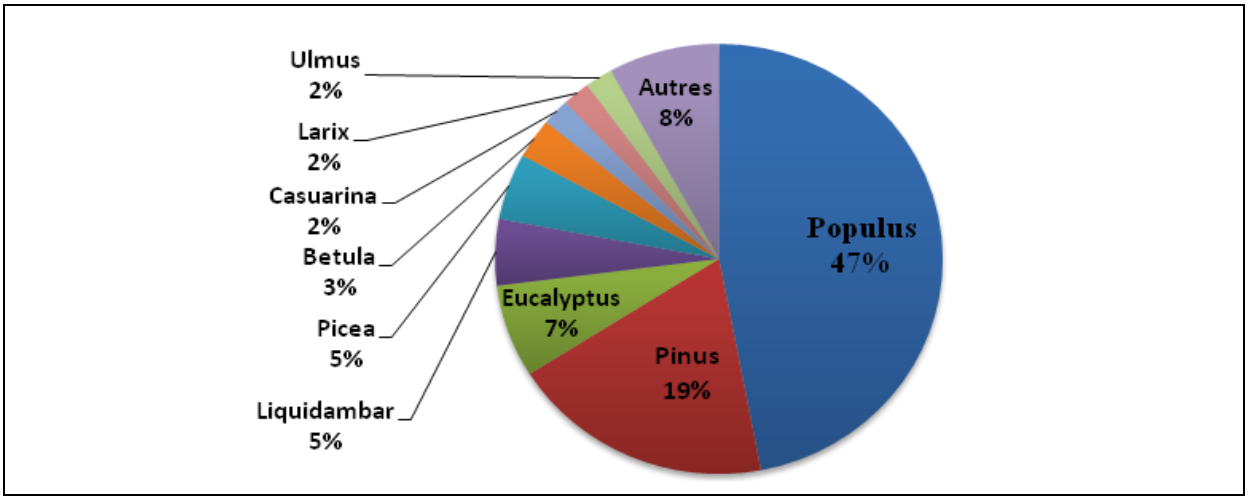


Figure I.5- Recherches relevant de modifications génétiques, par principaux genres d'arbres (Marchadier et Sigaud, 2005).

La domestication du peuplier dépend de la multiplication végétative, un processus naturel fréquent chez cette essence. Il produit naturellement des copies conformes ou clones en se propageant de manière végétative principalement par des phénomènes de drageonnage. Ce clonage permet la reproduction à l'identique du génotype et donc la fixation et la diffusion rapide de nouvelles variétés.

Le peuplier répond aussi très bien aux techniques de multiplication végétative in vitro (Lafarguette, 2003). Ceci assure la conservation et la manipulation du matériel végétal dans les laboratoires tout au long de l'année. Il permet aussi de réaliser des échantillonnages destructeurs non limités dans le temps et dans l'espace, notamment pour l'amélioration de la qualité du bois, sans perdre le génotype.

Les peupliers sont dioïques. Par suite de cette dioïcité, la fécondation croisée est possible et des graines formées naissent des hybrides. L'hybridation interspécifique se produit spontanément

entre espèces de même section ou de sections différentes (Eckenwalder, 1996). Il existe cependant des exceptions. Ainsi les espèces de la section Leuce ne s'hybrident avec aucune des sections Aigeiros et Tacamahaca (FAO, 1980). L'hybridation peut parfois être unidirectionnelle. En effet le croisement entre P. nigra et P. deltoïdes n'est réalisable que dans le sens P. nigra mâle x P. deltoïdes femelle (FAO, 1980).

Les atouts du peuplier en termes de reproduction ont permis depuis longtemps de multiplier des phénotypes intéressants. Les premières variétés : "Serotina" - "Regenerata" ont été cultivées dès le 18ème siècle. Ce sont des hybrides euraméricains issus de croisement entre P. nigra et P. deltoïdes (FAO, 1980). Très vite l'intérêt de la multiplication végétative s'impose et les premiers véritables clones identifiés ont vu le jour, en France, au 19ème siècle : Blanc du Poitou (1875) et le Robusta (1885) (Chardenon, 1982). Par la suite sont apparues des sélections et des hybridations contrôlées par les instituts de Recherche.

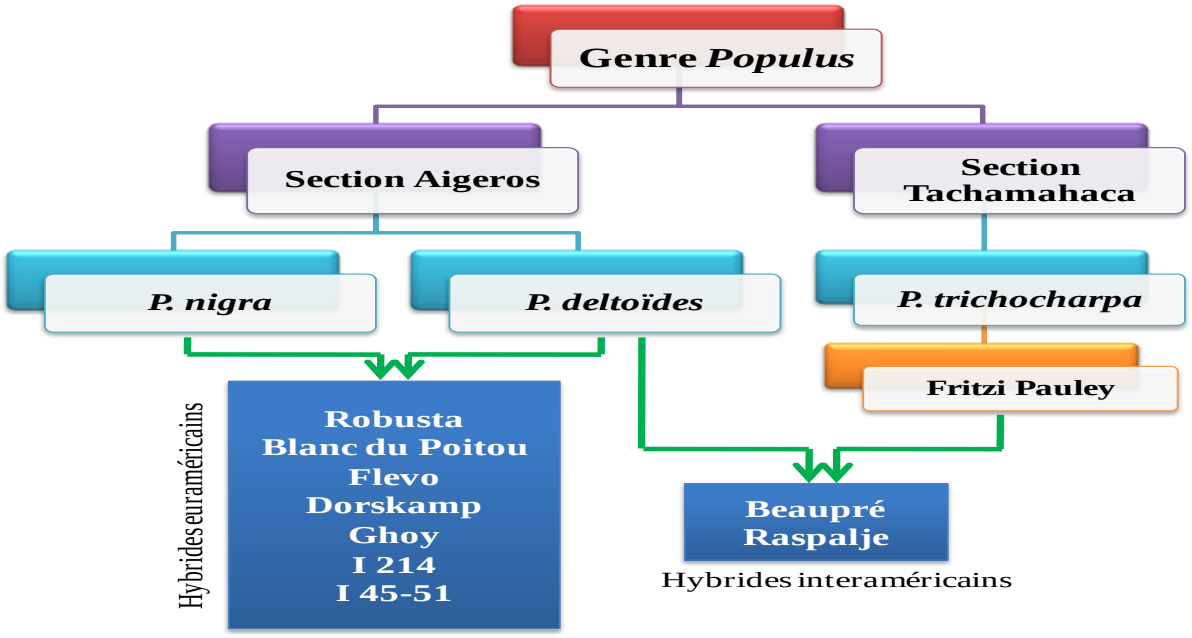


Figure I.6- Pédigrée de quelques cultivars interaméricains et euraméricains.

En Italie c'est L'Instituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura qui a entrepris les premiers travaux d'amélioration du peuplier, depuis 1937. Ces travaux ont donné naissance aux cultivars : I 214 - I 45/51 et Luisa Avanzo. En 1952 l'Institut de Wageningen (Hollande) selectionne le Dorskamp et le Flevo. Neuf ans plus tard, en Belgique, la station de Grammont obtient les hybrides : Beaupré - Boelare - Raspalje - Unal et Hunnegen, en croisant Fritzi Pauley (P. trichocarpa) avec un P. deltoides. Pendant la même époque, la station crée les hybrides euraméricains : Ghoy - Ogy et Isières (Nanson, 2004).

Aujourd'hui le peuplier est le genre le plus largement utilisé dans les modifications génétiques, partout dans le monde. Sa transformation génétique se fait en transférant l'ADN exogène via un vecteur biologique (Leplé et al., 1999). Les gènes introduits sont résistants aux insectes

défoliateurs et aux herbicides, mais aussi impliqués dans la biosynthèse des lignines, qui sont une limitation pour la fabrication de la pâte à papier. Les résultats les plus spectaculaires ont été obtenus aux Etats-Unis par la production de peupliers transgéniques avec une réduction de lignification de 45% et une augmentation de 15% de cellulose, tout en bénéficiant d'une croissance plus vigoureuse (Lafarguette, 2003).

D'après, Marchadier et Sigaud (2005), au moins 33 pays et territoires ont des recherches biotechnologiques en cours sur les peupliers, les Etats-Unis et la Chine dominant la scène (figure 4) La majorité des recherches sont effectuées dans les pays développés, mais sans négliger les activités dans 13 pays en phase de transition économique. 24% de ces activités concernent des modifications génétiques, quasiment toutes pratiquées en Chine. En 2002 la Chine a approuvé la plantation commerciale de 1,4 million de peupliers génétiquement modifiés résistant aux insectes (Sigaud, 2004).

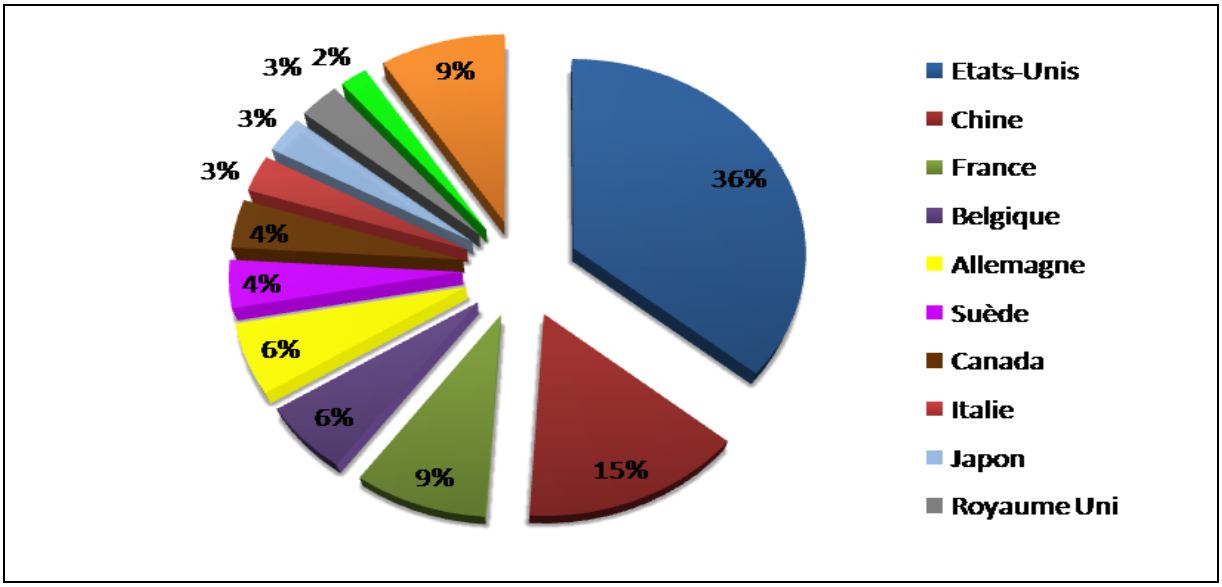


Figure I.7- Recherches biotechnologiques sur les peupliers, par pays (Marchadier et Sigaud, 2005).

Concernant la France, les travaux d'amélioration génétique sont gérés par les trois organismes FCBA, Cemagref et INRA, membres du Groupement d'Intérêt Scientifique "Génétique, Amélioration et Protection du Peuplier" (GIS Peuplier). Les premières sorties variétales issues des travaux du GIS sont attendues en 2010, il s'agira de cultivars de *P. deltoides* (Berthelot et al., 2005). En outre, d'importantes recherches sont faites sur les hybrides interaméricains et euraméricains. Le défi du GIS peuplier sera de pouvoir proposer à la filière, continuellement, des cultivars répondant à la fois aux exigences des populiculteurs et des industriels utilisateurs.

Les autres instituts européens (principalement belges, italiens et néerlandais) présentent régulièrement de nouvelles variétés à l'homologation évaluées dans le cadre du GIS. Il s'agit principalement de cultivars euraméricains. Notons que si 1es instituts italiens et belges maintiennent chacun un programme d'amélioration, le programme néerlandais est presque complètement abandonné (FAO, 2004).

1.1.5. La populiculture en France

La populiculture française existe depuis au moins le 18ème siècle, mais a pris un essor considérable à la suite de la première guerre mondiale. Devant l'utilisation et la destruction massive des forêts, la populiculture a pu reconstituer rapidement les stocks de bois. Aujourd'hui La culture du peuplier tient une place originale et importante dans l'économie forestière française. Rappelons que la France se classe au troisième rang mondial après la Chine et l'Inde quant aux superficies boisées en peuplier.

Sur une surface réduite de 220 000 ha qui n'occupe que 1,6 % du territoire forestier, les peupliers assurent la production d'un gros volume de bois d'œuvre de plus de 2 M de m^3/an, ce qui représente 4% de la récolte totale du bois en France et 25 % du bois d'œuvre feuillu, après le chêne mais avant le hêtre (figure I.5).

La productivité annuelle moyenne à l'hectare de cette essence est de 12 à 15 m^3 selon les stations (Bigué et al., 2006). Compte tenu de leur qualité, de leur productivité à l'hectare et de leur courte rotation, les peupliers hybrides constituent l'essence la plus rentable en France. Les volumes disponibles vont passer de 1,6 à 2,6 M de m^3 dans les prochaines années (Thivolle, 2003).

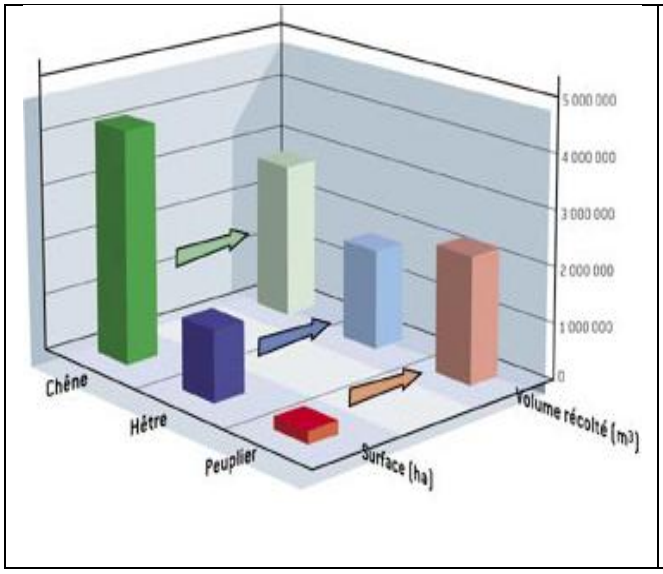


Figure I.8-Productivité et surfaces des trois principaux feuillus en France (Le net et Berthelot, 2001).

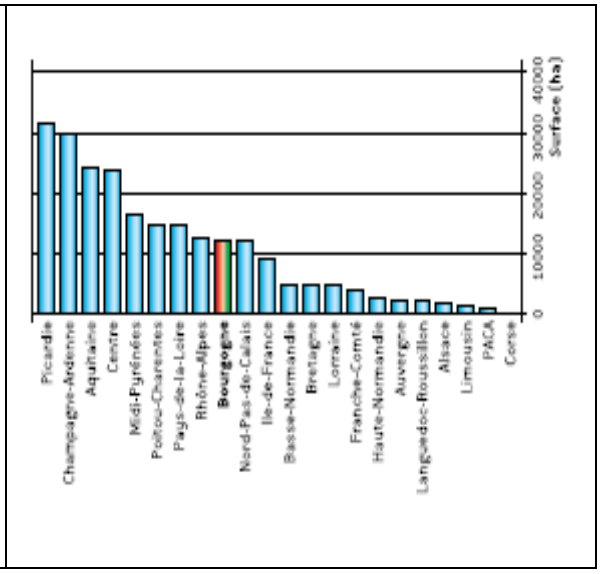


Figure I.9- Surfaces régionales des peupleraies (Le net et Berthelot, 2001).

La populiculture s'exerce généralement sur des blocs de petites superficies concentrées dans le Nord Est et l'Ouest du pays, dans les plaines alluviales riches en éléments nutritifs et bien drainées (figure I.9). Les peupleraies sont souvent des petites propriétés privées d'en moyenne 1 ha par propriétaire, et seul 1,5% des propriétaires ont plus de 10 ha plantés de peupliers (Berthelot, 2004).

La « futaie sur courte rotation » est la principale méthode exercée en France pour la culture du peuplier. Elle est caractérisée par une succession continue de traitements sylvicoles sur une courte rotation (18 ans), celle-ci visant à produire, avec le support de l'amélioration génétique, des arbres de haute qualité dont les débouchés sont axés sur les produits de déroulage.

La recette éprouvée pour produire un peuplement de qualité exige une préparation mécanique intensive du terrain suivie de la plantation au printemps. À la première année un épamprage peut être pratiqué. On pratique l'élagage dès la deuxième année après la plantation et ensuite, on répète l'exercice tous les deux ans et ce, jusqu'à l'âge de six ans afin de produire un bois sans nœud sur les premiers six à huit mètres de la tige.

Le hersage est privilégié pour favoriser l'ameublissement du sol et la pénétration de l'eau. Cette opération peut être réalisée deux fois par an jusqu'à l'âge de six ans, puis une fois par an de 6 à 8 ans et finalement une fois tous les deux ans jusqu'à la récolte finale. Toutefois ces traitements sylvicoles changent selon les stations et surtout suivant l'alimentation hydrique. Pendant la culture, les suivis phytosanitaires demeurent importants.

Les espacements peuvent varier de 7 m x 7 m, à 8 m x 8 m selon la qualité des sols et le produit recherché. Cependant, la tendance à diminuer le volume Individuel des tiges (de 2 m^3 à 1 m^3) compte tenu de l'amélioration des techniques de déroulage en usine et de la nécessité de produire des bois plus blancs oriente les forestiers vers des espacements de 7 m x 7 m. Les spécialistes français en matière de peuplier rappellent régulièrement que le peuplier hybride est une essence "stationnelle" et que selon le cultivar utilisé, des besoins différents sont requis en matière d'eau, de profondeur de nappe phréatique, de richesse chimique du sol, de texture et d'acidité. La tendance actuelle est à la diversification des cultivars utilisés afin d'assurer la viabilité à long terme des peupleraies.

Les techniques culturales sont bien au point et, de la pépinière à l'usine, il existe une filière structurée. Il s'agit d'une culture économiquement viable. La populiculture dégage un excédent dans la balance commerciale française, sans subventions (moins de 5 % des plantations de peuplier sont subventionnées). Notons 80 000 emplois sont induits au sein la filière peuplier (FAO, 2003). Ainsi La France est devenue le premier pays producteur et exportateur d'Europe.

1.2. La qualité du bois de peuplier

1.2.1. Aspect macroscopique

A l'œil nu, le bois de peuplier est de couleur claire, de nuance ivoire chez *P. alba, P. tremula* et leurs hybrides euraméricains, tout à fait blanc chez *P.deltoïdes, P. tacamahaca, P.*

heterophylla, de nuance grisâtre chez *P.ciliata* et enfin rose ou rougeâtre chez *P.euphratica.* En général l'aspect du bois de peuplier varie assez peu selon les espèces et les cultivars.

L'aubier est non distinct. Le duramen est absent mais un faux-cœur est très souvent présent et identifié par sa couleur brune à gris-verdâtre avec des veines noirâtres dans la partie centrale. Assez souvent, cette coloration est plus marquée à l'état frais mais s'atténue avec le séchage.

A l'état frais le bois de peuplier a une odeur fade, particulièrement prononcée chez certains hybrides euraméricains. Après séchage, cette odeur disparaît entièrement. Le bois de peuplier n'a pas de saveur ce qui en fait un bois très apprécié dans l'industrie de l'emballage alimentaire.

La texture est généralement fine avec un grain régulier et un fil assez droit. Les cernes d'accroissement sont assez visibles à l'œil nu en section transversale mais pas en section longitudinale, leur largeur varie dans de larges proportions : chez les trembles nordiques elle ne dépasse pas 1 à 2 mm, tandis que chez les cultivars euraméricains elle peut atteindre 30 à 32 mm.

1.2.2. Aspect microscopique

Le peuplier est un bois homogène à pores diffus. Les cernes sont bien distincts séparés par une couche mince de cellules du parenchyme, bien visible à la fin de la période de végétation. Les vaisseaux sont fins à section ovale, régulièrement répartis, assez droit. Les parois portent des ponctuations aréolées ovales ou hexagonales, à orifice rétréci de forme non constante.

Les rayons ligneux sont unisériés homogènes. En hauteur le nombre de cellules varie entre 3 et 12 cellules. Celles ci sont homogènes et allongées dans la direction du rayon. Les ponctuations dans le champ de croisement sont simples. A l'intérieur on observe souvent des granules d'amidon ou encore des accumulations de gomme chez *P. alba.*

Le tissu conducteur représente 20 à 33 % des tissus ligneux avec un minimum de 42% dans le bois initial et 15 % dans le bois final. Les fibres du tissu mécanique représentent 56 à 79% des tissus ligneux. Le tissu parenchymateux représente 3 à 10 % du tissu ligneux. A l'intérieur des cavités cellulaires on observe fréquemment une couche non adhérente à la paroi où prédomine la cellulose, il s'agit du bois de tension qui se traduit par un grand nombre d'inconvénients diminuant la valeur technologique du bois notamment les retraits et les surfaces pelucheuses.

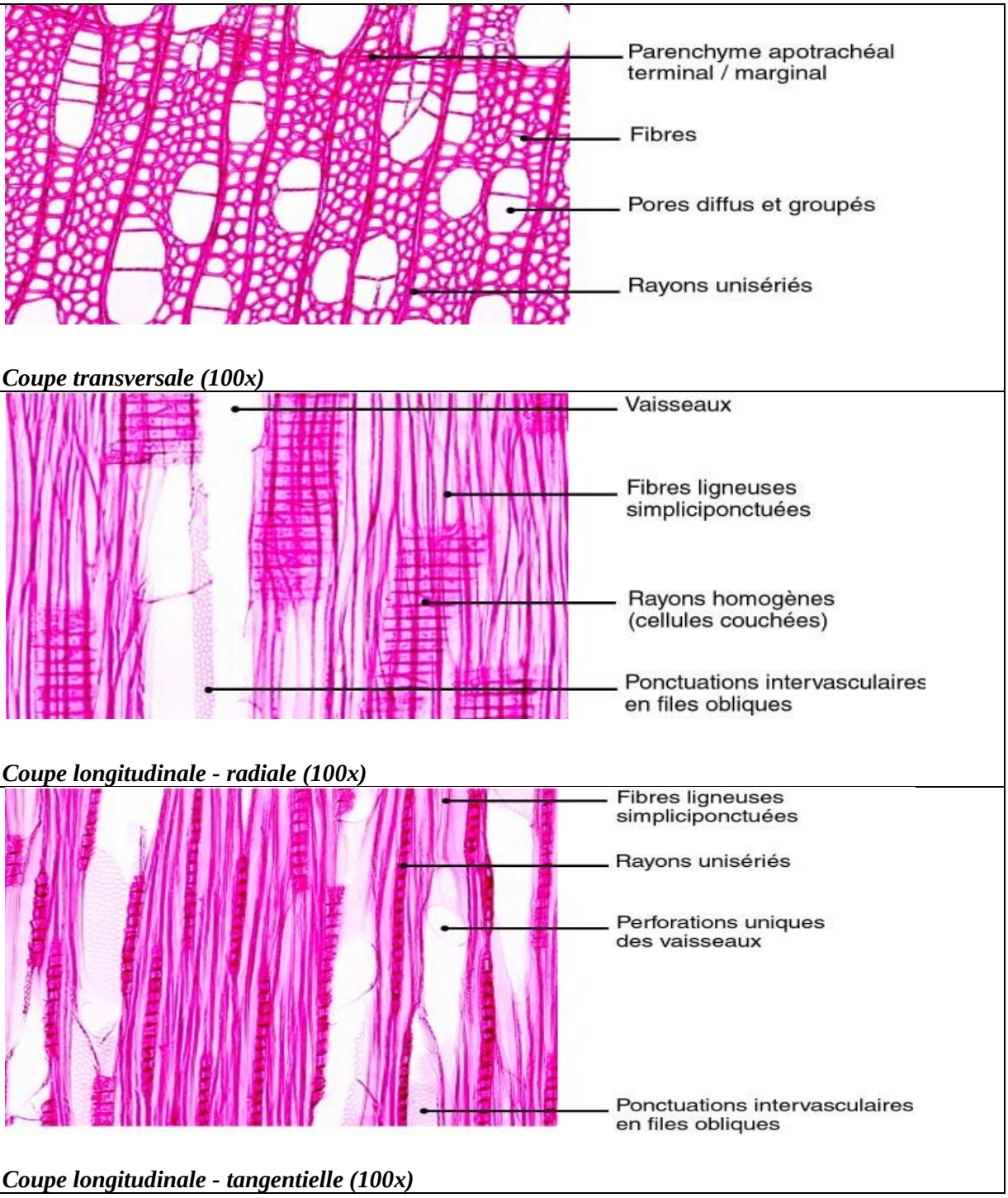


Figure I.10- Vues microscopiques des coupes : transversale, radiale et tangentielle.

1.2.3. Propriétés physiques

1.1.1.1. Densité

Le bois de peuplier est classé parmi les bois les plus légers. La connaissance de cette caractéristique est indispensable compte tenu de ses relations avec la rétractabilité et les résistances mécaniques du bois. La masse volumique du peuplier est habituellement comprise entre 300 et 520 kg/m^3 selon l'espèce, le cultivar et plus encore selon les conditions de croissance.

La moyenne se situant aux alentours de 430 à 450 Kg/m^3, mais le I-214, l'un des bois les moins denses, a une densité de 290 kg/m^3 et le I 45-51 a une densité de 370 kg/m^3 (Paillassa, 1999). Parfois la présence abondante d'oxalate de calcium peut influencer la densité du bois, bien que leur répartition ne soit pas homogène dans un même arbre ni d'un cultivar à l'autre (Mertens et al., 2003).

Senac (1994) a mesuré l'infradensité de quatre cultivars : I-214, Robusta, Alcinde et Dorskamp. Il a noté un effet cultivar très significatif, les cultivars ont été classés dans l'ordre décroissant d'infradensité comme suit : Alcinde, Robusta, Dorskamp et I-214, les valeurs s'échelonnant entre 410 et 300 kg/m^3. Leclercq (1989) a également mis en évidence une grande variabilité de la densité entre plusieurs cultivars, cette étude affichant le Robusta comme le plus dense et le I-214 comme le moins dense. Les mêmes tendances ont été mises en évidence par Nepveu et al (1995) en faisant la synthèse de plusieurs résultats, ils ont établi un classement de différents cultivars selon leurs densités (figure I.11).

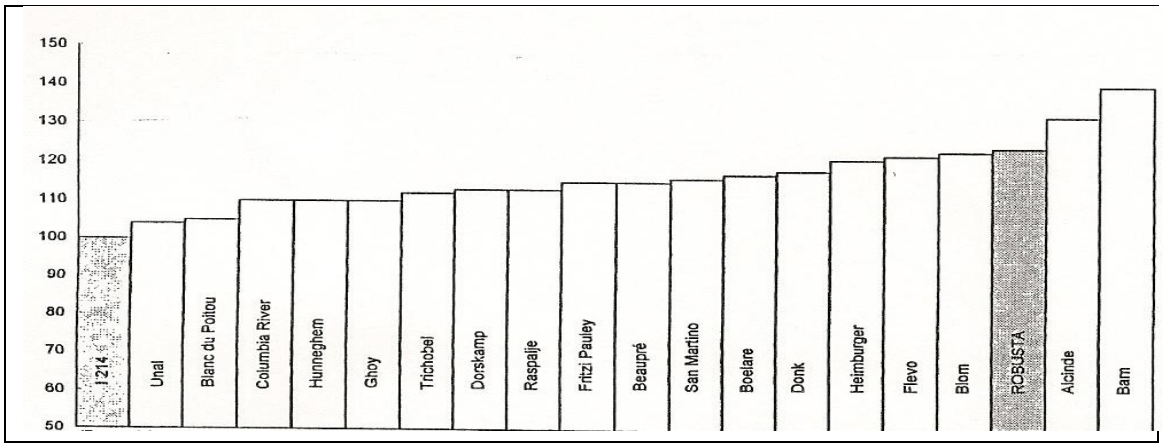


Figure I.11- Différences observées entre des cultivars de peuplier pour la densité (base 100 pour I-214) d'après (Nepveu et al 1995).

1.1.1.2. Humidité

La teneur en eau du bois à l'abattage a des répercussions sur les opérations de billonnage, de transport et de manutention. Elle influence aussi les propriétés physiques, mécaniques et technologiques. Les chiffres proposés par les chercheurs n'ont en commun que la valeur élevée de la teneur en eau qui peut dépasser largement 200 %.

La distribution de l'humidité à l'intérieur de l'arbre suit en moyenne une loi selon la quelle le maximum se trouve près de la moelle. Disposant naturellement d'une forte teneur en eau et une faible densité le bois de peuplier est prédisposé au déroulage sans conditionnement préalable, ce qui constitue un atout majeur par rapport à d'autres espèces ligneuses.

1.1.1.3. Rétractibilité

Chez le peuplier le retrait total est moyen et de l'ordre de 14%. Les retraits tangentiel et radial

sont en moyenne respectivement de 9 % et de 5%. Le rapport entre ces deux rétractabilités varie de 1,6 à 2,3. Le retrait axial est de l'ordre de 0,2 % à 0,3 % mais il peut atteindre 1 % en présence du bois de tension (Sell et Kropf, 1990).

Selon Nepveu (1984) il est difficile de se faire une opinion sur le classement des cultivars de peupliers selon leur rétractibilité. Par contre il a noté que le I-214 est parmi les cultivars les plus stables et que le Serotina de Poitou, le Robusta et le Dorskamp sont relativement mal placés. Senac (1994) n'a pu mettre en évidence aucun effet cultivar sur les retraits (tangentiel, radial et longitudinale), mais a observé une forte variabilité inter-arbre pour les trois retraits, les valeurs moyennes variant de 2,71% à 7,63% pour le retrait tangentiel, de 0,85% à 4,41% pour le retrait radial et 0,11% à 0,74 pour le retrait longitudinal. Leclercq (1989) a signalé que chez le peuplier le retrait volumétrique est relativement bien lié à la densité du bois (figure I.12).

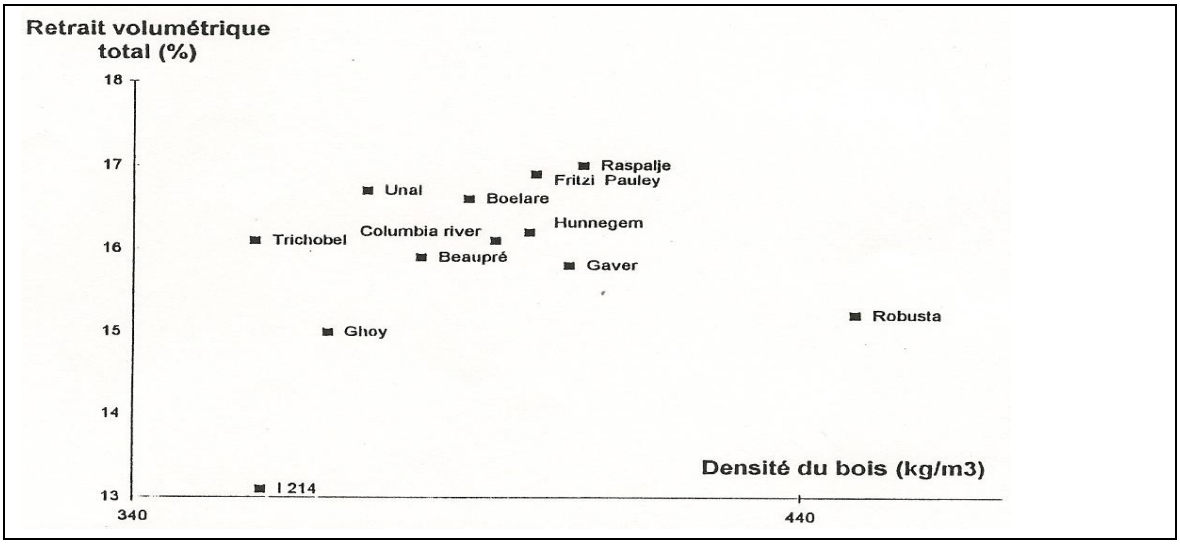


Figure I.12- Relation entre la densité et le retrait volumétrique total chez le peuplier (Leclercq, 1989).

1.2.4. Propriétés chimiques

Le peuplier a une teneur en cendres qui varie de 0, 5 à 1 %, il renferme 45 à 51 % de cellulose et 20 à 27 % de lignine. Le peuplier a un bois peu acide son pH est de 5,8 cette acidité ne produit pas de phénomène de corrosion avec les métaux, ni de réaction avec les colles ou les produits de finition et de préservation.

Le peuplier possède une qualité antibactérienne qui lui confère l'aptitude au contact avec les produits alimentaires (Revol et al., 2005). Ce bois est le garant de la tradition avec les emballages des différents produits alimentaires. Ces emballages peuvent être facilement recyclés.

1.2.5. Propriétés mécaniques

Le peuplier est parmi les bois les plus légers et tendres des feuillus tempérés et en conséquence de ceux dont les caractéristiques mécaniques sont les plus faibles en valeur absolue. Mais par rapport aux autres essences de faible densité (saules et aulnes) les résistances axiales sont élevées eu égard au poids. La synthèse de plusieurs travaux (CTBA, 1984 ; Langbour, 1989 ; Sell et Kropf, 1990 ; Benoit et Dirol, 2000) dégage les caractéristiques suivantes :

- Dureté : le bois de peuplier se caractérise par sa faible dureté, il est très tendre. La dureté Brinell est de 10 à 15 MPa. Ceci est dû à sa structure anatomique qui lui confère une bonne facilité de travail mais ne lui permet pas l'usage en revêtement de sol.
- Résistance à la compression axiale: est de l'ordre de 30 MPa, souvent les cultivars les plus lourds sont aussi les plus résistants.
- Résistance à la flexion statique : relativement faible elle s'échelonne entre 45 à 76 MPa, elle est très variable suivant les cultivars.
- Module d'élasticité en flexion statique : ses valeurs oscillent entre 6500 et 11300 MPa en fonction du cultivar et de la vitesse de croissance.
- Résistance à la flexion dynamique : varie considérablement selon les cultivars. Elle est de 3,8 à 4,9 Nm/cm^2. ainsi le bois de peuplier est considéré comme fragile à résilient.
- Résistance au cisaillement longitudinal : sa valeur est comprise entre 5 à 7 MPa, le peuplier est donc un bois moyennement résistant au cisaillement.
- Résistance à la traction perpendiculaire : le peuplier présente une bonne cohésion transversale, il se révèle très adhérent, avec des valeurs variables entre 1,8 et 2,4 MPa.
- Résistance au fendage : le peuplier est peu fissile, sa fissilité est de 10 à 15 N/mm, ce qui en fait un bois facile à clouer et à agrafer surtout dans le cas de produits fins.

1.1.1.4. Classement des bois

Dans le but de permettre l'emploi du peuplier en structure et d'ouvrir un nouveau débouché à ce bois, le CTBA s'est appliqué à établir un classement associant la densité et les contraintes admissibles aux critères visuels. Ce classement a été réalisé en se basant sur des mesures faites sur des peupliers cultivés en France : I-214, Virginie, blanc du Poitou, I 45-51, Fritzy Pauley, Tardif de Champagne, Carolin et Robusta.

Tableau I.3- Classement structurel du bois de peuplier (CTBA, 1984)

	Classe de base B	**Classe supérieure S**
Contraintes admissibles		
▪ de flexion et de compression parallèle	7,5 MPa	10 MPa
▪ de traction axiale	5,0 MPa	5,5 MPa
▪ de cisaillement longitudinal	1,3 MPa	1,3 MPa

▪ de compression transversale ▪ de traction transversale	2,2 MPa 0,7 MPa	2,2 MPa 0,7 MPa
Modules conventionnels de déformation ▪ de cisaillement ▪ d'élasticité longitudinale en flexion pure	 310 MPa 7000 MPa	 310 MPa 11000 MPa
Densité	_	Masse volumique supérieure à 400 Kg/m^3 à 15% d'humidité.
Cernes d'accroissement	Leur largeur moyenne ne doit pas dépasser 18 mm	
Diamètre maximal des nœuds (s'ils ont groupés il faut considérer l'ensemble des nœuds comme un seul nœud)	Le diamètre maximal doit être inférieur à : ▪ la moitié de la largeur de la face (et au plus à 70 mm), ▪ la moitié de l'épaisseur de la rive.	
Toutes les pièces atteintes d'altérations biologiques réduisant la résistance sont écartées. Des raisons pratiques diverses peuvent conduire à l'application d'autres critères concernant la conformation géométrique (flache, gauche, tuilage) ou les gerces et fentes. Ces critères n'ont qu'une faible incidence sur les caractéristiques mécaniques, il en a été tenu compte dans les valeurs retenues.		

Face à la mondialisation du marché de peuplier, le classement qualitatif des bois ronds a été régi en 1997 par la norme européenne « NBN EN 1316-2 ». Ce classement se base sur la présence, la dimension et la répartition de singularités et d'altérations ainsi que sur les dimensions minimales des billons. La norme distingue 3 classes répondants à des valeurs particulières et résumées dans le tableau ci dessous.

Tableau I.4- Classement des bois ronds de peuplier selon la norme « NBN EN 1316-2 »

Classes	Po - A	Po - B	Po - C
Dimensions minimales	.	.	.
Longueur (m)	3	2	2
Diamètre fin bout	30	25	20
Nœud	.	.	.
Sain découvert	(1)	(2)	admis
Mort	exclu	(2)	admis
Vicieux ou pourri	exclu	exclu	admis
Recouvert	.	.	.
diam < 60 mm	(1)	admis	admis
diam = 60 mm	exclu	exclu	admis
Moelle excentrée >10%	exclu	admis	admis
Courbure (cm/m)	< 2	< 5	admis
Arbre méplat (%)	< 10%	admis	admis
Fente de cœur	(3)	non traversante	admis
Roulure	exclu	exclu	admis
Gélivure	exclu	exclu	admis
Coup de foudre	exclu	exclu	admis
Fentes, Gerces de retrait	exclu	admis	admis
Taches brunes	exclu	exclu	admis
Trou de vers	exclu	exclu	admis

1.2.6. Durabilité

Le bois de peuplier est peu durable naturellement (classe 5 de durabilité naturelle). Il bleuit et s'échauffe facilement s'il est exposé à l'humidité et pourrit rapidement dans le cas d'exposition permanente à des conditions de milieu défavorables. Certaines de ces altérations peuvent réduire la résilience du bois, dont la cassure « sèche » sans esquilles typique de l'échauffure avancée (Mertens et al, 2003). Cependant ce défaut de durabilité est non limitant dans les usages où l'air ambiant est ventilé (charpente) ou sec (intérieur). Le peuplier a l'avantage de s'imprégner facilement avec les produits de préservation du bois, lui conférant ainsi une bonne durabilité dans toutes les conditions de milieu.

1.2.7. Les singularités

Les transformations du bois de peuplier peuvent être parfois limitées par certaines singularités de forme, de structure.

1.2.7.1. Les anomalies de forme

Les défauts de forme font obstacle à une transformation par déroulage. Il s'agit de l'ovalisation de la section transversale (méplat) et la courbure des grumes. Certains cultivars sont connus

pour leur tendance à former un tronc sinueux notamment le I-214 et le Dorskamp. D'autres défauts, tels que les fentes dues au gel et les roulures, sont aussi rédhibitoires. La présence des perforations dues aux insectes et les blessures cicatrisées ainsi que les nœuds, n'empêchent pas le déroulage mais limitent l'emploi des feuilles ainsi obtenues à l'âme des panneaux contreplaqué ou aux emballages légers.

Figure I.13: la roulure.

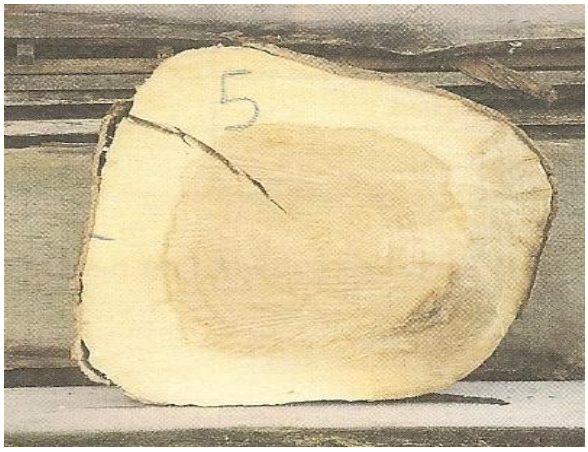


Figure I.14 : le méplat défaut rédhibitoire pour les billons destinés au déroulage.

Si ces défauts sont fréquents chez le peuplier, ils ne sont pas plus abondants que chez les autres essences, au contraire la spécificité des plantations de peuplier et le respect des règles de sylviculture permettent de minimiser l'impact de ces défauts. Ceci contribue à l'utilisation rationnelle et valorisante du bois.

1.2.7.2. Le faux-cœur

Le faux-cœur correspond à la partie interne de la grume, à coloration plus ou moins prononcée et généralement de forme irrégulière. Il peut être présent chez presque toutes les espèces de peuplier, quel que soit leur âge (Scott, 1984). Son développement est lié à la nature du sol et sa teneur en humidité, plus le sol est humide, plus la proportion du faux-cœur est importante (Zheng et al., 2006). Selon Scott (1984), la cause de la formation du faux-cœur est la modification de la composition chimique du bois due à une activité bactérienne. En effet le faux-cœur contient bien plus de cendres et d'élément inorganiques comme le potassium, le calcium et le sodium. Il comprend des acides polyphénoliques et des esters, ces caractéristiques chimiques affectent la couleur et le taux d'humidité du faux-cœur qui est plus élevé que dans l'aubier. Toutefois ces particularités du faux-cœur semblent très dépendantes du génotype des cultivars (Zhuge et al., 1997).

1.2.7.3. Le bois de tension

Le bois de tension est un bois typiquement formé à la partie tendue des branches et tiges recourbées des arbres feuillus en réponse à un stress intervenu durant la croissance de l'arbre suite à des contraintes environnementales et sylvicoles (vents, éclaircies, élagages). Il assure un rôle de réorientation de l'axe par le biais d'une contrainte longitudinale asymétrique.

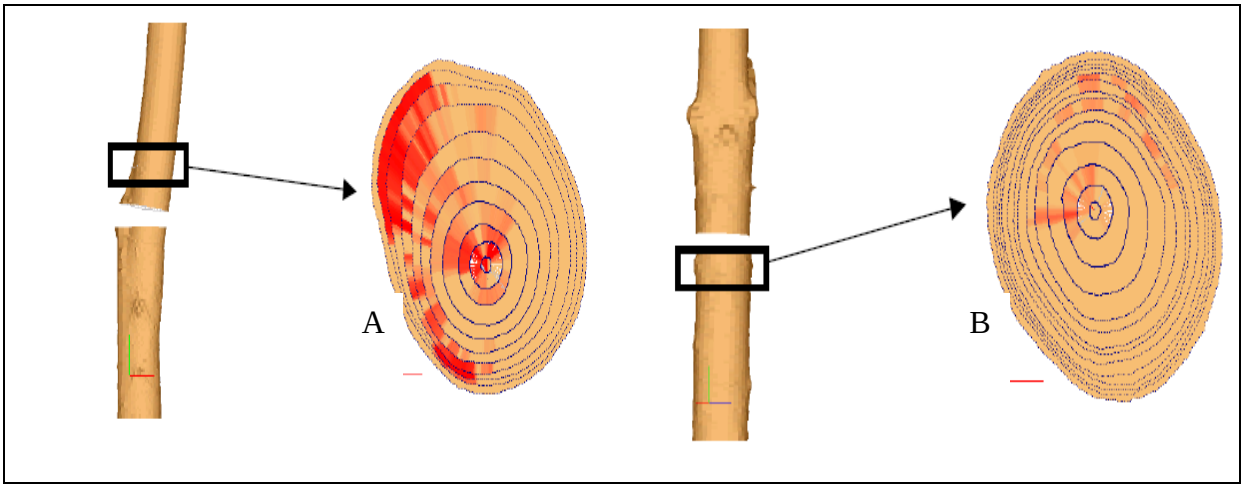


Figure I.15- Cartographie du bois de tension sur deux rondelles avec (A) la rondelle issue d'un tronc flexueux du cultivar I-214 et (B) celle issue d'un tronc droit du cultivar Luisa Avanzo (Badia, 2003).

La présence de ce bois est donc souvent corrélée avec une excentricité de croissance, le plus fort rayon étant du coté de la face en tension. En revanche cette excentricité n'est pas un indice suffisant pour déceler la présence du bois de tension puisque des arbres droits ne présentant pas d'excentricité peuvent renfermer une grande proportion de bois de tension. En effet parfois la rectitude n'est que le résultat d'un redressement efficace dû à la formation du bois de tension.

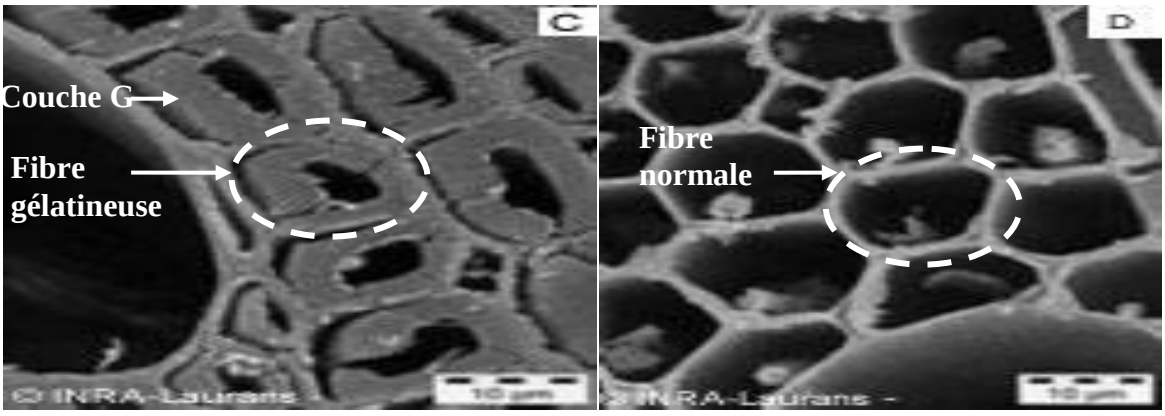


Figure I.16-Parois des fibres du bois de tension (C) et de bois normal (D) chez le peuplier (www.orleans.inra.fr).

La principale caractéristique anatomique du bois de tension concerne la paroi secondaire des fibres. En effet une nouvelle couche gélatineuse appelée couche G, vient en remplacement de la strate S2 ou S3 ou bien en supplément des trois strates de la paroi secondaire. En coupe transversale, cette couche semble peu adhérente au reste de la paroi, elle apparaît décrochée et forme des circonvolutions. La couche gélatineuse G est exclusivement constituée de microfibrilles de cellulose parallèles à l'axe de la fibre (Chaffey, 2000). Dans les parois gélatineuses du peuplier "Robusta" la teneur en cellulose est près de 63% alors que celle de la lignine ne constitue que 15%, Alors que les fibres du bois normal renferment 23 % de lignine et seulement 45% de cellulose (Timell, 1969 in Lafarguette, 2003). Chez le peuplier Ghoy les fibres de bois de tension sont significativement plus longues (+4,5%) mais ont un diamètre externe plus faible que des fibres de bois normal (Jourez et al., 2001).

Figure I.17-Grumes de peuplier présentant des fentes d'abattage (www.peupliersdefrance.org)

Le bois de tension est considéré comme le plus grave défaut présenté par le peuplier puisque il peut provoquer de grandes pertes économiques. Sa présence provoque une multitude de problèmes à tous les niveaux de la chaîne forêt bois. À l'abattage, les arbres à forte teneur en bois de tension s'éclatent et présentent des fentes radiales profondes. Le peuplier est très sensible à ce genre de dommages qui peuvent entrainer la perte totale de la grume surtout pour une transformation en déroulage. Les conséquences de la présence du bois de tension sont d'autant plus marquées que sa proportion dans l'arbre est importante, toutefois cette proportion varie sensiblement entre les différents cultivars du peuplier comme on peut le voir sur le tableau I.5.

Tableau I.5 - Proportion moyenne de bois de tension de quelques cultivars de peuplier.

Cultivar	Proportion de bois de tension (%)	Référence
I-214	7,6	Badia (2003)
Luiza Avanzo	8,2	
I-MC	15,3	
Fritzi Pauley	14	Leclercq (1989)
Ghoy	7,6	
Raspalje	13,3	
I 45-51	42	Sachsse et Mohrdiek, 1980 in Nepveu (1984)
I-214	16	Sacré (1977)
Gelrica	19	
Robusta	40	

1.2.7.4. Le bois juvénile

Le bois juvénile est celui qui se forme dans le houppier vivant de l'arbre. Sa structure particulière s'expliquerait par la proximité des méristèmes primaires dans la production d'hormones (auxines) ne pourrait affecter que le fonctionnement du méristème secondaire situé à leur proximité immédiate. Le bois juvénile présente des caractéristiques particulières notamment des fibres plus courtes, un angle des microfibrilles plus fort et une teneur en cellulose plus faible que le bois adulte. Chez les feuillus, la limite bois juvénile / bois adulte se définit en se basant sur des critères anatomiques et physiques, il s'agit de la longueur des fibres,

l'angle de microfibrilles, le retrait longitudinal et le diamètre des vaisseaux. Les différences bois juvénile / bois adulte sont moins accentués chez les feuillus que chez les résineux pour la longueur des fibres, l'angle des microfibrilles et le retrait longitudinal (Nepveu, 1994).

Le peuplier étant une essence à croissance rapide, il développe une grande proportion de bois juvénile, ajoutons à cela que les traitements sylvicoles intensifs adoptés dans la populiculture ainsi que la courte rotation ne font qu'amplifier cette proportion. L'âge de transition bois juvénile / bois adulte chez le peuplier varie selon les cultivars et les conditions de croissance. En effet, cela a été mis en évidence par plusieurs travaux. Huang et al (2005) ont noté que chez deux cultivars de peuplier la disponibilité en eau influe sur la précocité de la transition J/A, en cas de non irrigation, l'âge de transition est de 6-10 ans pour l'un des deux cultivars et de 13-15 ans pour l'autre, en cas d'irrigation l'âge de transition pour ce dernier est de 24-29 ans. Mátyás et Peszlen (1997) ont également mis en évidence chez trois cultivars euraméricains, un effet site non négligeable sur l'âge de transition bois juvénile / bois adulte.

2. Valorisation industrielle du bois de peuplier

Le bois de peuplier est un matériau polyvalent, ce qui autorise son emploi dans des débouchés très diversifiés. Ses débouchés majeurs sont l'emballage léger, la palette et le contreplaqué. Le déroulage est la valorisation la plus rémunératrice de la production du peuplier, les applications issues du déroulage concernent près de 67% des volumes récoltés en France.

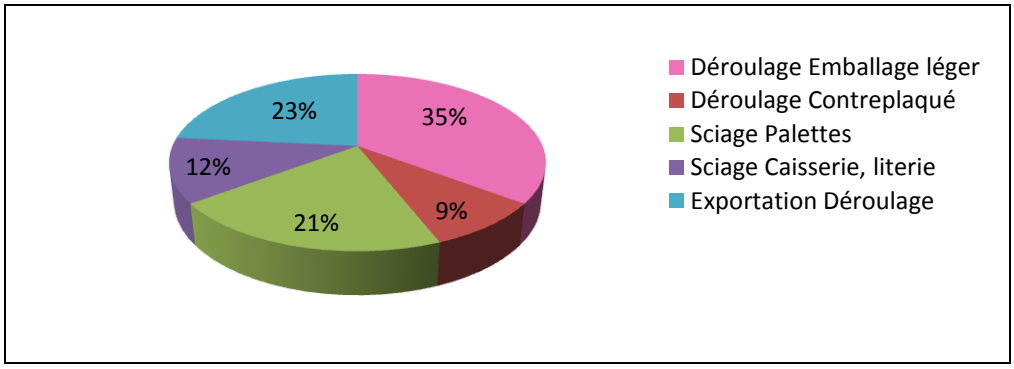


Figure I.18-Utilisation de la récolte annuelle du peuplier en France en 2001 d'après la chambre syndicale du peuplier de France.

2.1. Transformation par sciage

Etant tendre, le bois de peuplier est toujours assez facile à scier à des degrés de facilité divers selon les espèces et les variétés. L'existence fréquente du bois de tension conduit souvent à l'obtention de surfaces pelucheuses. La réduction de cet effet nécessite l'utilisation de lames avec un angle d'attaque assez ouvert. Les copeaux formés ont un fort coefficient de foisonnement, ce qui rend difficile l'évacuation de la sciure. Le creux de dents doit être prévu en conséquence pour minimiser ce problème (Collardet et Besset, 1992).

Pour éviter les déviations de la lame dues à la libération des contraintes de croissances, il est recommandé d'utiliser des lames à large voie. La nervosité de certains cultivars peut également entraîner des déformations brutales des pièces débitées. Pour réduire cet inconvénient il ne faut pas retenir les méthodes de débit en traits parallèles (débits en plot et en dosse) mais plutôt retenir une méthode de débit sur noyau par retournements successifs (CTBA, 1985) cette méthode est par ailleurs parfaitement adaptée au débit de pièces de structure. La fréquence et le moment des retournements dépendent de la répartition des contraintes dans la grume, répartition qui n'est presque jamais symétrique.

Les sciages du peuplier sont relativement faciles à sécher. Le séchage est pratiqué pour les débouchés les plus valorisants. En séchage artificiel il est conseillé d'utiliser des températures initiales assez basses pour éviter l'apparition des fentes (Collardet et Besset, 1992). D'autre part une hygrométrie assez importante de l'air au début du séchage est indispensable pour éviter la formation des poches d'eau. Toutefois on augmente ainsi le risque de bleuissement du bois (Aléon, 2003).

Le séchage naturel peut être réalisé en 2 à 5 mois (Collardet et Besset, 1992). Etant donnée la forte teneur en eau du peuplier, surtout quand il renferme du bois de tension, le séchage des placages est souvent plus long que pour les autres essences déroulables. Après séchage Il peut exister des risques de déformation et d'ondulations qui ont tendance à s'amplifier en présence du bois de tension **(**Grzeskowiak et al., 1996).

Le peuplier présente une grande sensibilité au collapse qui peut non seulement aboutir à des effondrements des parois cellulaires mais aussi à des "fractures" de ces parois. Il en résulte alors des fentes dans la masse des sciages qui les déprécient. Le peuplier est aussi sensible aux poches d'eau dont l'humidité peut atteindre 30% à 80% (Aléon, 2003). Ces poches rendent le collage extrêmement difficile, voire impossible.

Les sciages du peuplier sont usuellement répartis en trois grandes classes non normalisées :

"Les choix" : Ce sont les parties sans défaut sciées en avivés utilisés pour l'ameublement ou

la menuiserie d'intérieur. L'utilisation en literie a longtemps été un débouché qui se marginalise, car ce créneau est désormais ouvert aux résineux d'importation. Pour l'ameublement, les tentatives de certains fabricants de meubles ou de portes intérieures ont du mal à aboutir, alors que chez nos voisins italiens, le bois de peuplier est abondamment utilisé en menuiserie ébénisterie.

"La caisserie": Les sciages servent surtout à la fabrication des caisses industrielles en concurrence permanente avec le résineux.

"La palette" : C'est le bas de gamme, en concurrence rude avec d'autres bois : pins, trembles et bouleaux, souvent plus avantageux sur le plan mécanique.

Sous forme de bois scié le peuplier est soumis à une forte concurrence, surtout dans les emplois traditionnels de la caisserie et de la palette, en effet ses propriétés ne lui permettent pas de se distinguer des autres essences telles que le pin maritime, l'épicéa et le douglas. En caisserie industrielle, il est en concurrence directe avec les panneaux OSB.

Les palettes et les caisses représentent un débouché important. Près de 82% de production totale de sciage peuplier est utilisée pour la fabrication des palettes et des caisses. En France 22% du volume destiné annuellement aux caisses et aux palettes proviennent du bois de peuplier (Moncel et Chanrion, 2004).

2.2. Transformation par déchiquetage

2.2.1. Pâte à papier

Le bois de peuplier utilisé dans la fabrication de la pâte à papier provient soit de produits issus de la première transformation soit de la trituration des bois issus de taillis à courte rotation. Le peuplier est reconnu pour les avantages suivants :

- Délignification facile ;
- Un rendement élevé de 50 % (Mertens et al., 2003);
- Le blanchiment de la pâte n'exige pas beaucoup de réactifs ;
- Bonne résistance à la rupture ;
- Papier souple opaque et ayant un bon état de surface.

Le peuplier se place assez bien parmi les feuillus pour la longueur de ses fibres il donne une pâte mécanique (souvent TMP[3]) claire et de bonne opacité. Il présente cependant l'inconvénient de la présence de bois de tension. En effet bien qu'il favorise le rendement en

[3] Pâte thermomécanique.

cellulose (plus de 17%) et qu‘il donne des fibres plus longues et plus épaisses, il produit une pâte hétérogène et de qualité médiocre.

Il est aussi utilisable pour la pâte mi-chimique par le procédé au sulfite neutre de sodium avec des rendements supérieurs à 80% (Nepveu, 1984). La pâte chimique au bisulfite est claire et utilisable directement sans aucun blanchiment, mais elle est moins résistante que celle obtenue par le procédé Kraft.

Généralement les peupliers sont moins préférés que les résineux, car ces derniers présentent des fibres plus longues et plus larges. Des mélanges peuplier et résineux sont souvent effectués dans une proportion de 20 à 25% pour améliorer l'opacité et la souplesse du papier (Nepveu, 1984). Chantre et al (1994) ont constaté que les qualités papetières du bois de peuplier sont sous contrôle génétique, en particulier la longueur moyenne pondérée des fibres et le rendement papetier.

Figure I.19 - De gauche à droite : Kraft écrue de réf. / Kraft écrue peuplier / TMP peuplier-épicéa non blanchie / TMP peuplier-épicéa blanchie (FCBA).

2.2.2. Panneaux

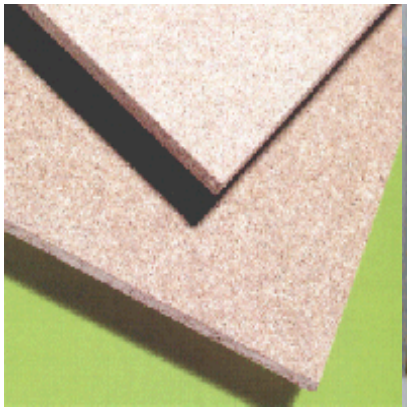


Figure I.20-Panneau de particule de peuplier.

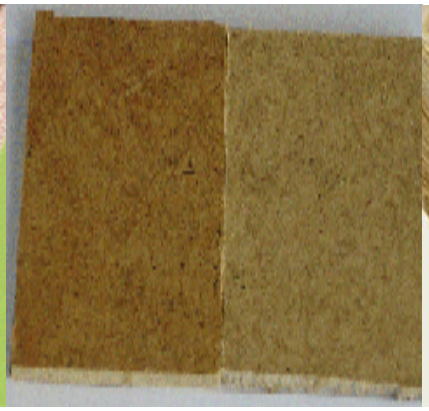


Figure I.21- Panneau de fibres de peuplier.

Figure I.22- Panneau Intrallam.

Panneaux de particules : Les cimes, les branches, les billons et même les grumes entières conviennent à la fabrication de panneau de bonne qualité. Ce type de panneau est destiné à la menuiserie dans le Bâtiment et dans le meuble.

Panneaux de fibres : le peuplier est une excellente essence pour la fabrication de ces panneaux en raison de sa teinte claire et ses fibres qui favorisent la souplesse.

L'intrallam : C'est un produit destiné à des applications en structures (poutres, linteaux). Il est fabriqué aux Etats Unis, à partir de lamelles issus de "tranchage" de peuplier. Les lamelles ont une longueur de 20 à 25 cm, une largeur de 20 à 40 mm et 1 mm d'épaisseur. Elles sont encollées puis disposés en matelas et pressés. Les panneaux obtenus ont une épaisseur variante entre 32 et 100 mm. Pour une largeur de 2,4 m et une longueur de 10, 7 m. Ce type de panneau est plus homogène et résistant que le bois massif, sa densité est de l'ordre de 660 Kg/m3.

2.3. Transformation par déroulage

Toutes les études faites, jusqu'à présent, sur le déroulage du peuplier confirment que le bois de peuplier constitue une matière première intéressante pour le déroulage. Des études menées par le Centre Technique du Bois (CTB, 1971 ; 1973) ont attesté que tous les cultivars étudiés4 présentent une bonne aptitude au déroulage. Chantre (1994) a étudié le comportement en déroulage de 11 cultivars de peuplier issus d'une même parcelle. Il apparaît un très fort effet clonal sur les caractéristiques mesurées sur les placages. Le même auteur (1996) a comparé l'aptitude au déroulage de 7 cultivars sur deux types de sol (tourbe et limons). A cette occasion il a pu montrer que l'aptitude au déroulage est meilleure lorsque, la vitesse de croissance est forte et que le bois est peu nerveux. L'effet cultivar est bien mis en évidence, tandis que l'effet site paraît négligeable. Une interaction âge x site intervient pour certains cultivars de l'étude. Si le cultivar et les conditions de croissance influent sur l'aptitude au déroulage du peuplier, ils ne sont pas les seuls facteurs à définir la qualité du placage.

2.3.1. Géométrie du déroulage

Pour une essence donnée et/ou un type de placage donné, les paramètres du procédé de déroulage à optimiser sont essentiellement, pour un matériau usinant et une passe d'usinage donnés, les paramètres géométriques rappelés dans la figure I.23. Il convient d'y ajouter : la vitesse V de coupe, la température et la durée d'étuvage.

[4] SP 126, I-214, Blanc du Poitou, I-154, Chautagne, Batard de Hauterive, Regenere de l'Ourcq, Culasso, Noir de de Seilh, Crolin, I-455 et Noir de Moissac.

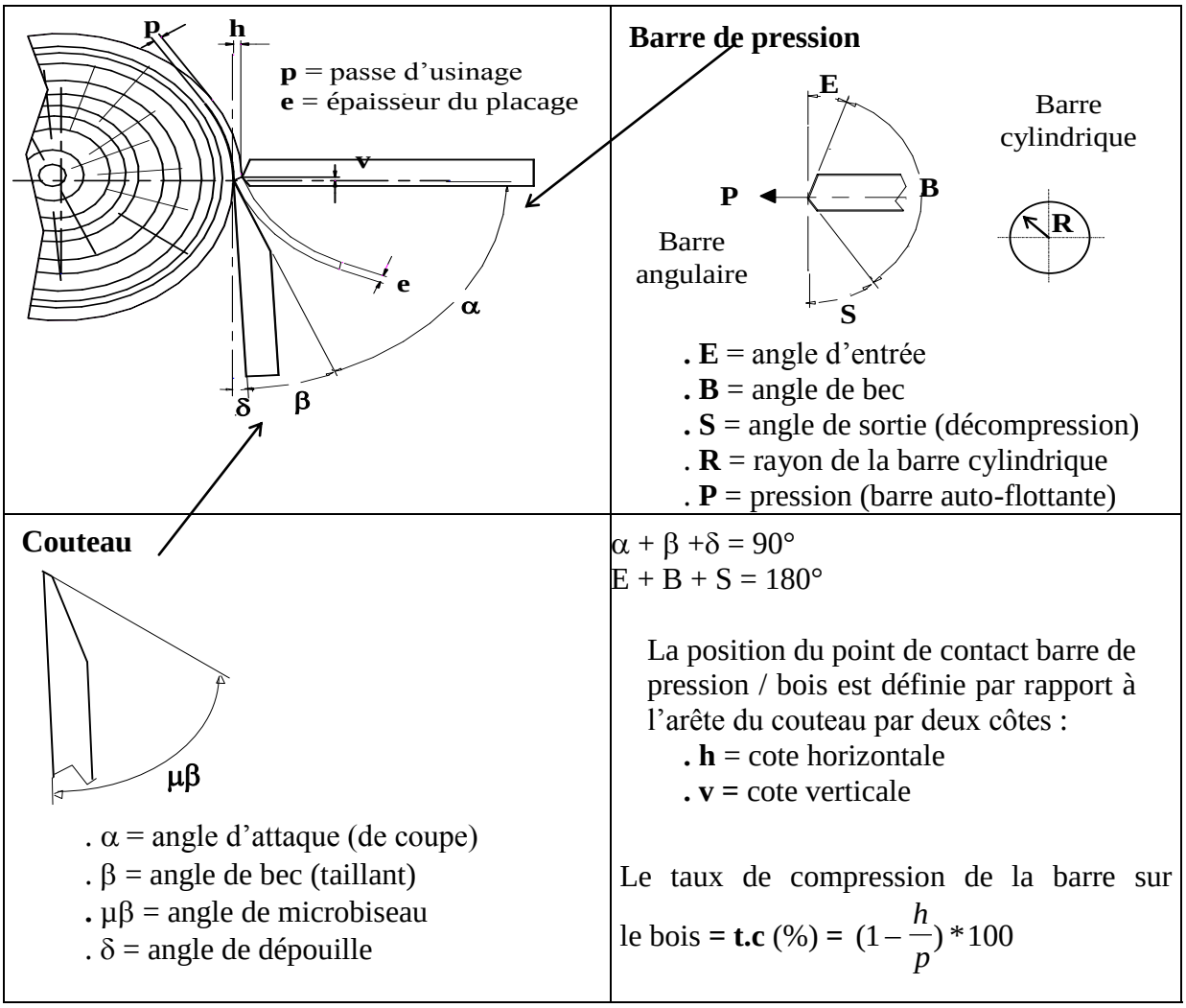


Figure I.23 : Géométrie du déroulage.

L'outil présente toujours un angle de taillant compris entre 18 et 22°, plage optimale démontrée par le CTBA (Fondronnier et Guillerm, 1979). Son arête peut être localement renforcée pour éviter un endommagement trop rapide en pratiquant un microbiseau ou un "arrondi" de l'arête par "honnig". Le réglage principal au niveau de l'outil est celui de son angle de dépouille qui varie tout au cour du déroulage en passant d'une valeur positive et très forte au début ("piquage" de l'outil pour former au plus vite un copeau continu), stable lors du régime établi et à nouveau abaissé jusqu'à parfois une valeur négative en fin de coupe pour provoquer un talonnage et ainsi déduire la vibration du billon (Marchal et Negri, 1997).

D'une manière générale, plus la passe d'usinage sera faible et plus il faudra porter un soin particulier à correctement piloter les variations d'angle de dépouille. En effet, les efforts de coupe seront d'autant plus faibles que la coupe sera mince et peu de choses suffisent à rompre l'équilibre entre la force sur la face d'attaque (Fa, a priori seulement dépendante de la valeur de la passe d'usinage – figure I.24) et la force sur la face de dépouille de l'outil (Fd, dépendant de caractéristiques mécaniques du billon usiné). Or tout déséquilibre générera des variations d'épaisseur du placage que l'on cherche toujours à minimiser.

La barre de pression est un auxiliaire de coupe créant un champ de contraintes en compression antagoniste du champ de contraintes en traction générateur du phénomène de fissuration cyclique (voir ci-après au niveau de la qualité des placages). Pour que ce champ de contraintes soit parfaitement localisé en amont de l'arête de l'outil, on préfère généralement une barre angulaire avec un angle de bec souvent supérieur à 90°. Ainsi la position de l'arête de la barre est repérée par deux cotes (i) la cote horizontale prise dans une plage allant de l'épaisseur du placage (taux de compression nul) à 70% de cette épaisseur (taux de compression de 30%), une valeur usuelle étant de l'ordre de 85 % de l'épaisseur du placage. (ii) la côte verticale située entre 20 et 30% de l'épaisseur du placage. Pour certaines essences hétérogènes, comme la plupart des résineux, on peut préférer l'emploi d'une barre circulaire, certes moins précise car générant un champ de compression plus diffus faisant un bon compromis pour contraindre le bois un minimum dans le plan de coupe, que l'outil se situe dans le bois de printemps ou dans le bois d'été. Enfin, sur certains bois homogènes mais de faible densité comme le peuplier, il peut être pertinent d'utiliser également une barre circulaire pour éviter un "usinage" parasite de la surface de bois faiblement cohérent par la barre angulaire, régulièrement affutée. Cela peut contribuer à réduire la génération de surfaces pelucheuses.

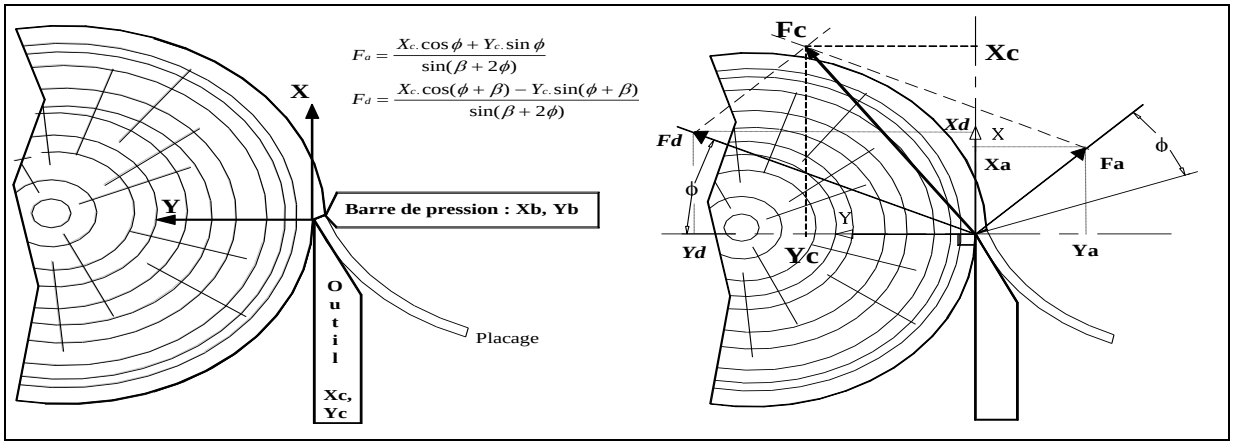


Figure I.24- Décompositions de l'effort résultant de coupe Fc (β = angle de bec du couteau ; ϕ = angle de frottement bois/métal – d'après Thibaut 1988))

Le déroulage étant une coupe en mode 0°/90°, de surcroît sur bois vert souvent chauffé au préalable, les efforts de coupe sont extrêmement faibles (Marchal et al., 2009). Certaines machines de laboratoire, dont la dérouleuse que nous avons utilisée, permettent de mesurer ces efforts. Généralement on mesure à la base les deux composantes orthogonales de l'effort résultant de coupe que l'on peut aussi décomposer en deux composantes faciales : les efforts Fa et Fd exercés respectivement sur la face d'attaque et sur la face de dépouille de l'outil (Figure I.24 – Thibaut, 1988). Même si cette dernière décomposition, nécessitant de connaître le coefficient de frottement du bois considéré avec le métal usinant, est plus riche car elle permet de modéliser les efforts en fonctions des caractéristiques mécaniques du matériau, la décomposition orthogonale est souvent suffisante dans le cadre d'une optimisation de

paramètres de coupe ou d'un travail comparatif comme celui que nous conduisons sur 10 cultivars de peuplier. Ainsi une analyse sur la composante tangentielle suivant X sur ses variations permet d'estimer la puissance de coupe et de donner une indication sur l'état de fissuration du placage en cours de formation. La composante radiale Y quant à elle est à surveiller plus particulièrement car elle peut changer de signe : une valeur négative signifie que l'outil tend à plonger dans la matière alors qu'une valeur positive traduit une tendance au refus de coupe. On sait empiriquement qu'un réglage stable est celui qui permet d'avoir un outil très faiblement plongeant, soit une valeur de Y proche de zéro mais légèrement négative.

Nous réglerons donc nos paramètres de coupe pour nous présenter dans ce cas de figure et ce réglage sera conservé pour tous les cultivars afin de pouvoir les comparer toutes choses égales par ailleurs.

2.3.2. Qualité des placages

2.3.2.1. Critères de qualité

2.3.2.1.1. Variations d'épaisseur

L'épaisseur du placage devrait être régulière, les grandes variations causent des problèmes dans le collage, le pressage, le ponçage et la finition. Mais il n'existe pas de norme définissant explicitement les variations d'épaisseur acceptables. Fondronnier et Guillerm (1979) distinguent une irrégularité d'épaisseur dans le sens perpendiculaire au fil du bois et une irrégularité dans le sens du fil.

L'irrégularité perpendiculaire au fil se manifeste sous forme d'ondulations de large amplitude et dont les sommets sont à 30 cm au moins les uns des autres, et s'étendent dans le sens du fil. Ils n'apparaissent pas toujours très nettement. Cette irrégularité résulte souvent d'un talonnage excessif du couteau entrainant une alternance de refus de coupe et d'engagement du couteau produisant une succession de sous épaisseur et de surépaisseurs du placage. L'irrégularité d'épaisseur dans le sens du fil peut être représentée par trois aspects, le tableau suivant décrit les trois aspects et leurs origines.

Tableau I.6- Aspects et causes de l'irrégularité d'épaisseur dans le sens du fil d'après Fondronnier et Guillerm (1979)

Aspect	***Causes***
Le placage sortant de la dérouleuse est gondolé, il présente des bords curvilignes. Le placage est plus mince d'un bord que l'autre.	L'arête du couteau n'est pas parallèle à la barre de pression. L'ouverture entre ces deux est irrégulière, elle est plus grande d'un coté que l'autre.
Le placage est bosselé au milieu, il	Lorsqu'il est réduit à un faible diamètre, le billon se

est plus épais au bord qu'au centre. Le noyau obtenu à la fin du déroulage prend une forme de tonneau biconique.	cintre et fléchit sous l'effet des efforts de coupe. L'épaisseur déroulée au milieu est inférieure à celle des bords.
Le placage est bosselé sur les bords, il 'est plus mince au centre qu'au milieu. Le noyau a une forme de sablier.	L'ouverture entre la barre et le couteau tend à se fermer aux bords. Suite de l'arcage du couteau et de la barre causé par la dilatation thermique qui apparaît souvent lors du déroulage de billes très chaudes.

2.3.2.1.2. Rugosité

La rugosité se présente sous forme d'une alternance de lunules en creux et de crêtes en saillie qui les limitent. Ce défaut est du aux légers arrachements de fibres, il est moins apercevable sur la face fermée du placage que sur la face ouverte, suite aux frictions que la face fermée subit par talonnage contre la face affuté de l'outil et puis par frottement contre la barre de pression. Plusieurs facteurs peuvent contribuer à la formation d'un placage rugueux.

Movassaghi (1985) relie ce défaut à la densité et son hétérogénéité. Plus la largeur de cerne est grande et meilleur et l'état de surface, en effet ceci diminue la probabilité d'avoir une ou plusieurs limites de cerne au sein d'un même placage. Pour les placages homogènes, la rugosité est plus importante dans le bois de printemps, ceci limite les arrachements des fibres et par conséquent la rugosité. Toutefois ceci peut déclencher la fissuration qui s'accampagne de rugosité élevée. La rugosité peut être aussi la conséquence d'un angle de dépouille très grand, car celui ci peut solliciter l'extrême pointe de l'arête l'extrême pointe de l'arête de l'outil à l'engagement dans le bois, dans ce cas la pointe vibre et donne lieu à des arrachements qui se traduisent par une surface rugueuse (Mothe, 1985). Une rugosité excessive réduit considérablement la surface de contact des feuilles de placages composant un panneau, entraine une surconsommation de colle plus grande, produit des collages de qualité médiocre, contraint à un ponçage des faces et entraine de grandes pertes au cours de cette opération. Dans le cas du peuplier la peluche est l'aspect de rugosité le plus fréquent.

C'est le défaut qui préoccupe le plus les industriels du déroulage de peuplier. Il est essentiellement du à la présence du bois de tension qui fait que lors de la coupe en déroulage les fibres s'effilochent au lieu d'être tranchées, elles donnent ainsi au placage un aspect laineux et chanvreux. Des observations au microscope électronique révèlent qu'il s'agit d'amas de fibres qui s'arrachent et qui restent accrochés à la surface (figure I.26). Plusieurs travaux confirment ce lien entre l'aspect pelucheux et le bois de tension. Boury (1993) a pu mettre en évidence chez le cultivar I-214 une corrélation positive entre la proportion du bois de tension et l'aspect pelucheux des placages.

Figure I.25- Placage pelucheux

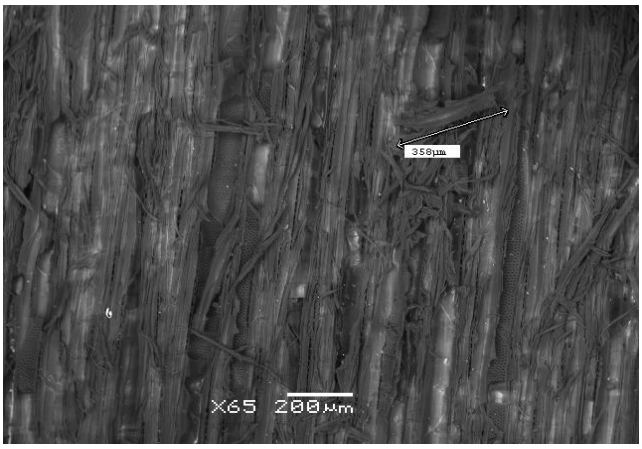


Figure I.26- Surface pelucheuse en vue microscopique.

Indépendamment de la nature et de la structure du bois, les placages peuvent acquérir un aspect pelucheux suite au déroulage de billons trop tièdes pour des bois déroulables à l'état vert sans étuvage. D'autres paramètres de déroulage peuvent aussi être à l'origine de ce défaut notamment un couteau émoussé, un angle de bec de la barre de compression très aigu ou encore une arête de la barre très vive (Fondronnier et Guillerm, 1979).

Quelle que soit la cause de ce défaut, il représente une problématique très compliquée pour les industriels car les surfaces pelucheuses sont plus difficiles à travailler, elles demandent d'avantage de colle et n'ont pas un aspect esthétique satisfaisant surtout pour les placages dédiés à la fabrication de l'emballage léger puisqu'ils gênent l'impression sur les produits finaux.

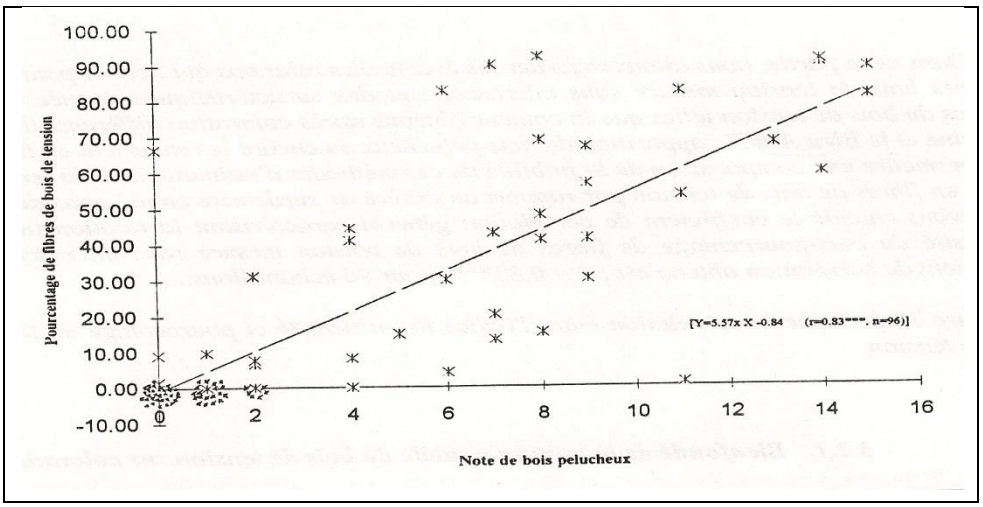


Figure I.27- Variation de l'aspect pelucheux en fonction de la proportion du bois de tension (Boury, 1993).

2.3.2.1.3. Fissuration cyclique

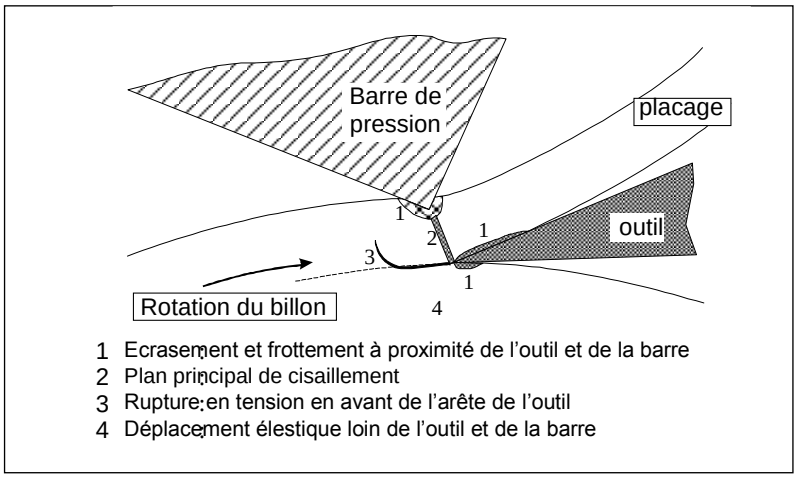


Figure I.28 : Phénomènes mécaniques de base intervenant dans le bois au cours du déroulage (d'après Beauchêne 1996).

En cours de déroulage le bois subit des sollicitations complexes de cisaillement, compression, traction, dans les deux directions transversales (figure I.29). Une fissure apparaît quand, sous l'effet des contraintes de traction, le facteur d'intensité de contraintes en mode I dépasse un seuil critique. Cette valeur dépend de la structure du matériau et donc de l'essence. La rupture instantanée se propage dans le sens de la coupe puis très vite après la libération des contraintes de traction se propage plus lentement, en s'orientant vers la face supérieure du placage, sous l'action combinée des contraintes de traction et de cisaillement induites par la flexion du copeau (figure I.29 a). Celui-ci peut ensuite fléchir autour de la charnière ainsi formée et la fissure termine sa propagation dans le sens radial sous l'effet de contraintes de traction tangentielles. La barre de pression par son action de compression permet de contrecarrer le champ en traction à l'origine de ce phénomène de fissuration qui se répète de façon périodique, fragilise le placage et peut ensuite provoquer une sur-consommation de colle. Au-delà d'une certaine passe d'usinage il devient difficile d'empêcher la fissuration, même avec un réglage correct de la barre. La chauffe du bois par bouillottage ou par étuvage à la vapeur améliore la déformabilité du bois, modifie l'équilibre entre les différentes contraintes et contribue ainsi à la lutte contre la rupture en mode I.

Sur des bois de faibles densités comme le peuplier ou le bois de printemps de certains résineux, il peut être difficile de couper proprement les cellules, même avec un outil très bien affuté. Le matériau se déforme, se fissure éventuellement puis rompt brutalement en libérant les contraintes accumulées. C'est l'"effet Horner" décrit par Mothe (1988) (figure I.29 b) et se traduisant par une double fissuration, de part et d'autre du plan de coupe. Les conséquences sont souvent mineures mais parfois s'accampagne d'arrachements de part et d'autre générant des surfaces pelucheuses (fibres arrachés restant accrochées aux surfaces) voire des arrachements plus importants. L'action de la barre de pression est dans ce cas assez peu

efficace, voire nuisible dans le cas de l'emploi d'une barre à faible angle de bec, l'"arête" de la barre pouvant participer à accentuer les arrachements amorcés par la coupe sur la face supérieure du placage, au tour de déroulage suivant.

Pour le cas du peuplier, il conviendra de vérifier l'existence d'un effet cultivar sur ce phénomène pouvant dégrader l'aptitude du placage à être imprimé (emballage léger) ou à être correctement encollé (production de panneaux).

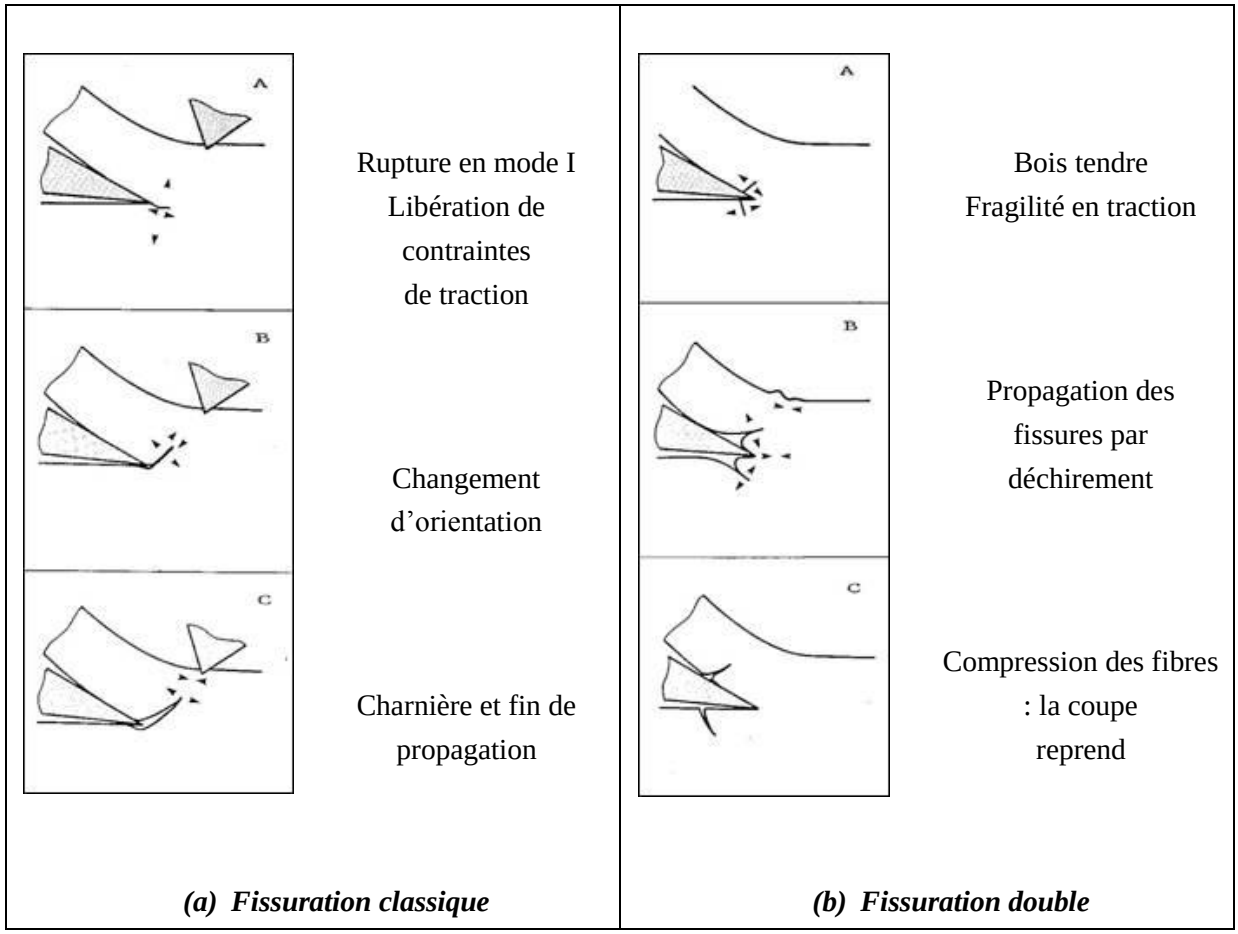


Figure I.29 : mécanisme de formation des fissurations cyclique en déroulage (d'après Mothe 1988).

2.3.2.1.4. Tuilage

Ce défaut se présente sous forme de courbures plus ou moins prononcées du placage de signe opposé à sa courbure initiale. Le tuilage résulte de fortes contraintes appliquées au placage lors du déroulage. Celles ci provoquent un raccourcissement de la face supérieure du placage, bien qu'une grande partie de ces déformations soient récupérées au bout de quelque temps.

Il subsiste un léger décalage entre les deux faces qui se manifeste par des courbures résiduelles du placage au sens inverse provoquant l'auto-enroulement du placage en fin de déroulage. Thibaut (1988) a constaté que l'utilisation de la barre de pression joue un rôle

important dans la valeur finale du tuilage. Il a aussi noté que ce dernier diminue avec l'augmentation du rayon comme le montre la figure I.30.

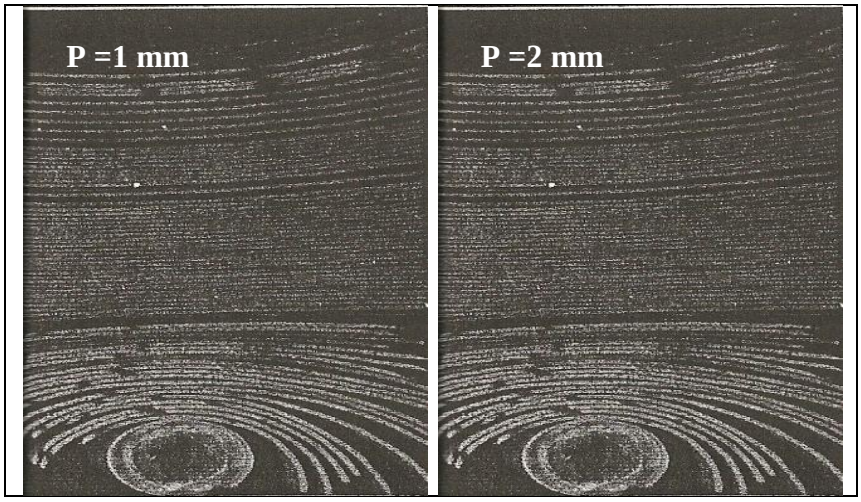


Figure I.30-Variation du tuilage suivant le rayon dans le cas de deux épaisseurs (Thibaut, 1988).

Un tuilage très prononcée se traduit après séchage par des déformations non négligeables créant des problèmes de planéité. Pour la production de placage destiné à la fabrication des panneaux, l'utilisation d'une barre de pression munie d'inciseur limite le tuilage, elle permet d'étirer et d'entailler le placage sur la face supérieure réduisant ainsi l'effet des contraintes de compression à l'origine du tuilage (Dai et al., 2003).

2.3.2.1.5. Couleur

La couleur du bois est un paramètre qualitatif essentiel dans la détermination de l'utilisation du placage. Dans le cas du peuplier, les industriels de l'emballage léger exigent un placage clair et homogène. Bien que le bois du peuplier soit réputé pour sa clarté, il présente un faux-cœur de coloration foncée dont les conséquences conduisent généralement à une dépréciation du placage pour des raisons esthétiques ou de non visibilité des impressions dans le cas de l'industrie de l'emballage léger.

La coloration du faux-cœur est liée au cultivar mais aussi à l'âge d'exploitation. Le cœur coloré est beaucoup plus fréquent chez les peupliers âgés, qui ont une croissance ralentie. De longues révolutions peuvent donner un cœur coloré chez des variétés dont le bois est habituellement bien blanc, c'est le cas du I-214. Selon Soulères (1992), une enquête menée en 1990 par le Syndicat National de l'Emballage Léger en Bois a montré que pour les utilisateurs de ce secteur, la première qualité est la couleur blanche des grumes. Les attaques fongiques peuvent aussi avoir un impact sur l'homogénéité de la couleur, elles provoquent des colorations anormales sous forme de taches ou encore un bleuissement.

D'après Chantre (1994), la couleur et son homogénéité varient considérablement suivant les cultivars (Tableau I.7), elle semble aussi varier selon la hauteur et la position radiale dans la grume. Le bas de la grume se distingue par une teinte plus saturée et plus hétérogène. Les placages sont plus sombres et plus hétérogènes au centre qu'en périphérie de l'arbre à cause de la présence du faux-cœur.

Tableau I.7 - Evaluation de la couleur de placage issu de onze cultivars de peuplier (Chantre, 1994).

Cultivar	Couleur en périphérie
Hunnegem	Très homogène et très blanche
Lux	Très homogène mais forte teinte
Flevo	Homogène
NL1524	Homogène
Alcinde	Homogène mais forte teinte
Boelare	Très blanche mais teinte hétérogène
Beaupré	Très blanche mais assez hétérogène
Trichobel	Très blanche mais teinte assez hétérogène
Dorskamp	Assez hétérogène
Rap	Teinte forte et hétérogène
I 214	Très clair mais teinte assez hétérogène

2.3.2.2. Facteurs d'influence du procédé

2.3.2.2.1. Température d'étuvage

Certaines essences ne peuvent être déroulées qu'après un traitement thermique. En revanche, d'autres sont naturellement aptes à être déroulées sans ce traitement particulier, c'est le cas du peuplier. Si le bois est trop froid, il donne des placages rugueux et profondément fissurés, mais s'il est trop chaud il produit souvent des placages pelucheux.

Pour chaque essence il y a une température recommandée qui donne la meilleure qualité de placage. Les billes dont le bois est tendre comme le peuplier se déroulent bien lorsqu'elles sont froides 4°C, tandis que les bois durs comme l'érable, le bouleau et le chêne doivent se dérouler à 70°C (Feihl, 1986). Thibaut (1988) et Marchal (1989) attestent que l'augmentation de la température peut favoriser l'obtention de placage épais non fissuré.

2.3.2.2.2. Type et réglage de la barre de pression

De nombreuses études ont démontré que le type de la barre de pression peut influencer la qualité du placage. Feihl (1986) a noté que pour le placage de 1,6 mm et plus la qualité du placage ne semble pas varier selon le type de barre, par contre en cas de placage plus mince la barre statique donne la meilleure qualité. Toutefois la barre statique peut provoquer l'arrachement des fibres de bois tendre ce qui crée des débris qui s'accumulent entre la barre et le billon et qui peuvent nuire à l'état de surface du placage.

La déformation du placage déroulé avec une barre ronde est le double de celle que produit une barre statique. La fissuration du placage augmente aussi dans le cas de barre ronde (Peters et al., 1969 in Movassaghi 1985). Quelque soit le type de barre, son utilisation n'est pas toujours un avantage en effet au-delà d'une certaine épaisseur ou pour des taux de compression trop élevés la barre de pression ne permet pas d'éviter la fissuration mais peut même la favoriser (Thibaut, 1988).

2.3.2.2.3. Réglage de l'angle de dépouille de l'outil

Un angle de dépouille positif élevé provoque la vibration excessive de l'outil qui accélère son usure et engendre la formation d'un placage de mauvais état de surface, fissuré et avec des irrégularités d'épaisseur ainsi que des déformations importantes (Palka et al., 1973 in Movassaghi, 1985). Une valeur négative très élevée de cet angle se traduit par des frottements importants entre le bois et l'outil provoquant un refus de coupe et des variations périodiques de l'épaisseur (Walser, 1974 in Movassaghi, 1985). Movassaghi (1985) a observé que l'augmentation de l'angle de dépouille s'accampagne d'une faible augmentation de la profondeur de fissures. Denaud (2006) n'a révélé aucune corrélation significative entre la valeur de cet angle et la fréquence moyenne de la fissuration.

2.3.2.2.4. Passe d'usinage

Pour les bois homogènes, Thibaut (1988) et Movassaghi (1985) ont noté que plus le placage est épais et plus les fissures sont profondes et espacées. Les variations de l'épaisseur du placage augmentent avec l'augmentation de l'épaisseur nominale (Lutz, 1973 in Movassaghi, 1985). Cependant les déformations du placage s'atténuent avec l'augmentation de l'épaisseur (Kivamaa, 1956 in Movassaghi, 1985).

2.3.2.2.5. Vitesse de déroulage

Movassaghi (1985) constate que la profondeur des fissurations et leur probabilité d'apparition sont nettement moins grandes à faible vitesse. Le même auteur a signalé que l'irrégularité d'épaisseur est deux fois plus importante à faible vitesse qu'à forte vitesse. D'après Lutz (1967 in Movassaghi, 1985) la rugosité du placage diminue légèrement avec l'augmentation de la vitesse.

2.3.2.3. Facteurs d'influence du bois

2.3.2.3.1. Les défauts de forme

La grume idéale pour le déroulage serait cylindrique sans courbure ni moelle excentrique. Les courbures s'accampagnent souvent du bois de réaction qui est souvent lié à l'apparition de surfaces pelucheuses. Les billons à moelle excentrique ont généralement une section ovale qui donne beaucoup de feuilles étroites au cours du déroulage et qui renferment du bois de réaction.

Parfois les billons de grand diamètre posent un problème lors de l'étuvage, les parties externe et interne du billon n'ayant pas la même température à la sortie de l'étuve.

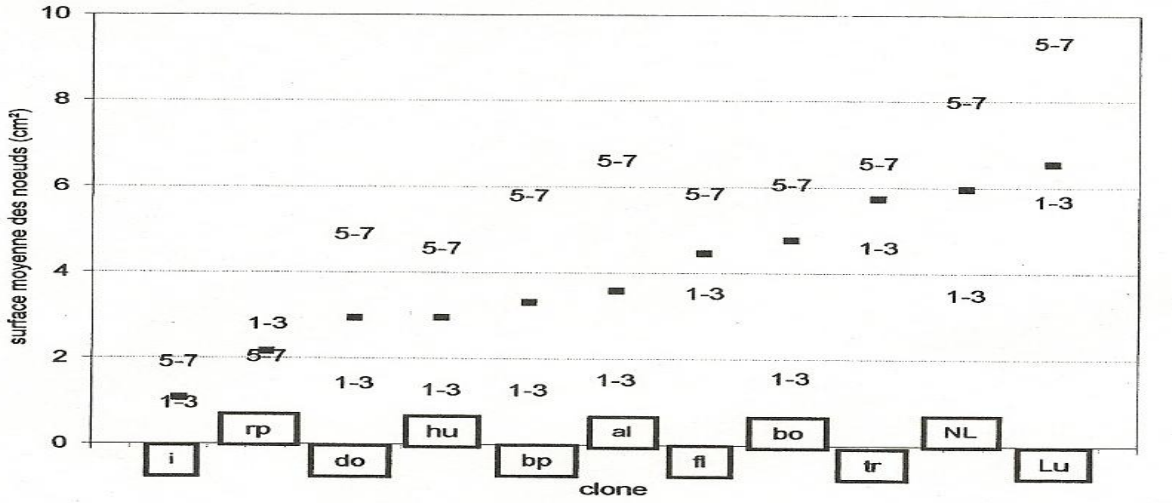
2.3.2.3.2. La densité

La densité est un facteur déterminant de la qualité du placage. Elle conditionne la "déroulabilité" du bois car les efforts exercés sur le couteau et la barre augmentent avec la densité, plusieurs études en témoignent (Movassaghi, 1985 ; Thibaut, 1988 ; Décés Petit, 1996). Movassaghi (1985) a noté que l'augmentation de la densité moyenne du placage du châtaignier entraine l'augmentation de la profondeur et l'angle des fissures mais réduit leur fréquence.

2.3.2.3.3. La nodosité

En général la présence de nœuds sur le placage est considérée comme un préjudice esthétique et mécanique et peut poser des problèmes lors du collage. Ce préjudice est d'autant plus prononcé lorsque les nœuds ne sont pas adhérents, car ceux ci finissent par tomber après séchage et laissent des trous sur la surface du placage. Les nœuds renferment des fibres plus denses perpendiculaires à la direction de coupe. Leur présence induit une augmentation locale des efforts de coupe qui peut favoriser l'usure de l'outil. Cette altération de l'outil de coupe peut engendrer des défauts en surface des placages, notamment des rayures sur les deux faces de placage. Au voisinage des nœuds la rugosité est plus importante, en effet les cernes adjacents apparaissent en relief. L'abondance des nœuds provoque aussi des variations importantes de retrait au niveau du placage, elles se traduisent par de grandes déformations entrainant des cassures et problèmes de planéité. La présence des nœuds entraîne un déclassement du placage qui sera utilisé pour confectionner les âmes des panneaux, au mieux les contre-parements.

En ce qui concerne le peuplier, la nodosité varie selon les cultivars. En comparant les surfaces cumulées des nœuds par m^2 de placage déroulé appartenant à 11 cultivars, Chantre (1994) a constaté que cinq cultivars présentent des écarts significatifs et importants par rapport à la moyenne : Trichobel et Boelare apparaissent particulièrement noueux, tandis que les cultivars Dorskamp, I-214 et Hunngem semblent très intéressant avec une nodosité de l'ordre de $15cm^2/m^2$.



Le carré noir indique la surface moyenne des nœuds.

i:I-214 ; rp :Raspalje ; do :Dorskamp; hu: Hunnegem ; bp: Beaupré; al: Alcinde ; fl: flévo; bo: Boelare; tr : Trichobel ; NL : NL 1524 ; Lu :Lux.

Figure I.31 - Variabilité clonale de la surface moyenne des nœuds sur les placages déroulés (Chantre, 1994).

2.3.2.3.4. Le bois de tension

Dans l'industrie du déroulage du peuplier, la présence du bois de tension s'avère être un problème majeur en effet les placages montrant des alternances de bois de tension et de bois normal se voilent et se fendent (Chantre, 1995), il en résulte alors des pertes de matière ainsi que des obstacles pour la fabrication de panneaux et d'emballage léger. L'inconvénient le plus rédhibitoire est l'apparition de surfaces pelucheuses. Ce bois peut aussi créer une hétérogénéité, de densité et de retrait, qui se traduit par des déformations importantes après séchage du placage (Fang, 2007).

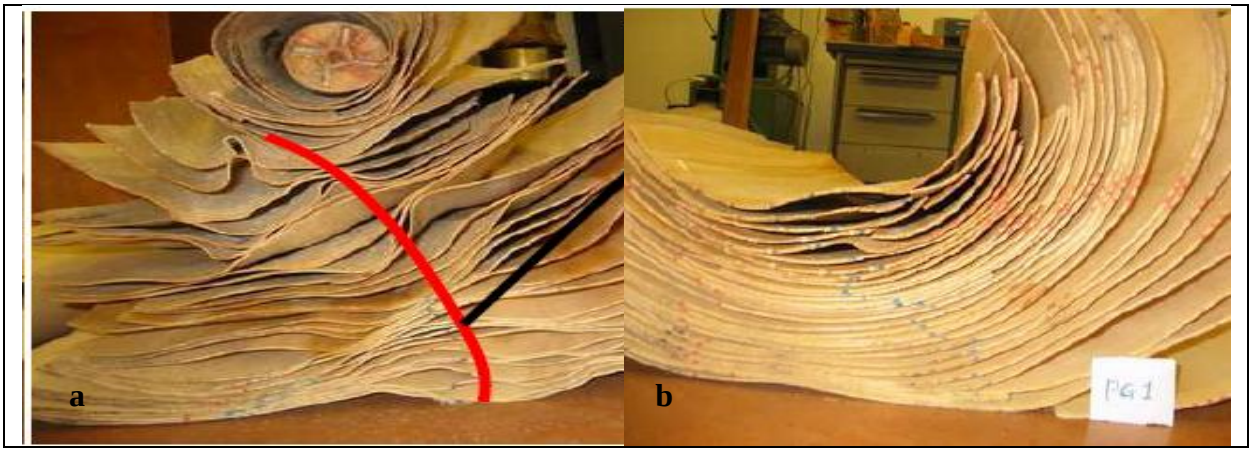


Figure I.32 – (a)Placage issu d'arbre à forte proportion de bois de tension,(b) placage issu de bois normal (Fang, 2007).

En effet, le bois de tension présente un retrait longitudinal plus élevé que celui du bois normal. Sassus et al (1995) ont mesuré sur des placages de peuplier I-214 un retrait longitudinal de 0,5% pour le bois de tension et un retrait de 0,1% pour le bois normal. Jourez et al (2001) ont

également mis en évidence chez des jeunes pousses de peuplier Ghoy un retrait quatre fois supérieur à celui du bois normal. Okuyama et al, (1990) relient cette augmentation de retrait longitudinal au faible angle de microfibrilles de la fibre gélatineuse.

Pour la densité la littérature s'accorde sur le fait que le bois de tension apparaît plus dense que le bois normal. Sacré (1959) a détecté chez le peuplier une augmentation de la densité du bois de tension par rapport au bois normal équivalente à 14%. Castéra et al (1994) ont relevé sur le bois de tension du peuplier I-214 une surdensité de 10 à 30%. Tsoumis (1991) explique cette surdensité par l'épaisseur supérieure des fibres gélatineuses. Boury (1993) a mis en évidence chez le cultivar I-214, une corrélation positive entre le pourcentage de fibres gélatineuses et la surdensité du bois (figure, 34).

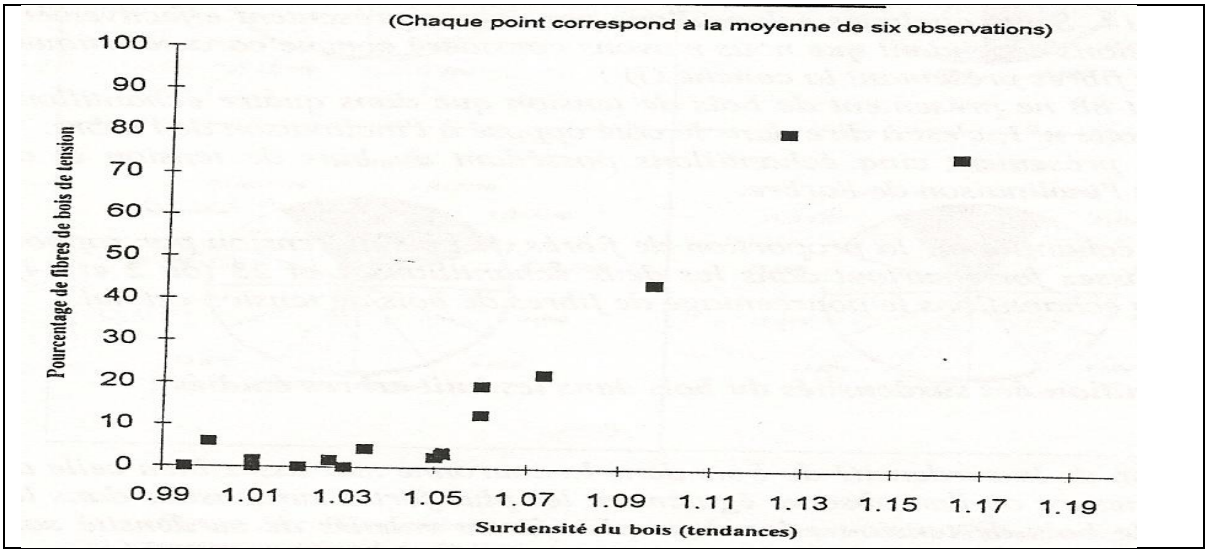


Figure I.33-Corrélation entre le pourcentage de fibres gélatineuses et la surdensité (Boury, 1993).

2.3.2.3.5. Le faux-cœur

La présence du faux-cœur en grande proportion conduit généralement à une dépréciation du placage pour des raisons esthétiques et de non-visibilité des impressions dans l'industrie des emballages léger. Le faux-cœur étant plus humide que l'aubier, il provoque des problèmes d'homogénéité de séchage. Wang et al (1998), ont observé, lors du séchage de placages (1 et 2 mm) issus de 7 cultivars de peuplier, que la présence du faux-cœur dans le placage le rend très difficile à sécher du fait de l'hétérogénéité de la répartition d'eau.

2.3.2.3.6. Le Bois juvénile

Le bois juvénile présente des caractéristiques particulières, qui influent sur la qualité du placage et ses produits dérivés. Selon Nepveu (1994), le bois présente un retrait longitudinal important qui peut dépasser 1% ce qui amplifie l'importance des déformations du placage après séchage. Nepveu et al (1978) ont noté que le bois juvénile de deux cultivars de peuplier (Robusta et Blanc de Garonne) présente une infradensité plus faible que celle du bois adulte. Gaborik et kacerova (2007) ont montré l'impact du bois juvénile sur la qualité mécanique des panneaux

LVL à base de peuplier. Ils ont comparé les propriétés mécaniques du bois juvénile à celles du bois adulte et ils ont constaté que la résistance et la rigidité des panneaux renfermant du bois juvénile sont plus faibles que celles du bois adulte.

2.3.3. Les produits du déroulage

Les premiers produits du déroulage sont les placages dont la qualité dépend fortement de tous les critères, traités précédemment, mais se répercute sur les caractéristiques des produits dérivés que nous décrivons dans ce qui suit.

2.3.3.1. Les emballages légers

Les emballages légers sont très liés aux produits agroalimentaires, ils regroupent les cagettes, les boites à fromage, les paniers à champignon, les barquettes, etc. La France est le deuxième producteur européen d'emballage léger après l'Italie.

La fabrication d'emballages légers constitue le second débouché de la production du bois de peuplier. Près de 35,3% de la production française de peuplier est destiné à l'emballage léger, environ 900.000 m^3 de grumes sont consommées par cette industrie en France (Moncel et Chanrion, 2004). Pour cette application, on recherche des bois de couleur homogène, claire, présentant un minimum de défauts notamment les nœuds qui perturbent l'agrafage. L'état de surface du bois constitue un critère très important, les surfaces pelucheuses étant non appréciées car empêchant une impression et un marquage de qualité.

La couleur et l'homogénéité du peuplier, sa facilité d'usinage et d'agrafage, sa légèreté, sa solidité et son absence d'odeur, en ont fait une essence d'emballage par excellence. Le rendement matière est de l'ordre de 60 %. Les emballages légers sont produits à partir de bois de 0,6 à 1,4 m de longueur déroulés en 0,7 à 1,4 mm. Le haut de gamme fait appel, pour certaines exigences à des parties en contreplaqués. C'est le cas notamment des bois destinés à fabriquer les boites de fromage ou des emballages dits fins dont les fonds sont constitués de contreplaqué de 2 à 3 plis. D'une manière générale, ces bois doivent avoir le minimum de nœuds et n'être ni nerveux ni fendifs. Toute une hiérarchie existe selon la destination du produit final, l'utilisation de bois blancs (emballage de fruits) ou de bois plus colorés (emballages de produits verts). Les prix varient aussi suivant les années et les conditions climatiques.

Tableau I.8- Production française d'emballages légers en bois de peuplier en 2002 d'après la chambre syndicale du peuplier de France.

	Fruits et Légumes	Fruits et Légumes	Fromage	Fromage	Autres	Autres	Autres
	Emballages neufs	Emballages recyclés	Boites	Caisses	Barquettes	Bourriches huîtres	Divers
Unités ***(x 1 million)***	350	120	350	30	25	12	10
Tonnage	260.000 T		11.000 T		173.000 T		
Facturation	160.000 Euros		26.000 Euros		145.000 Euros		

2.3.3.2. Les contreplaqués

2.3.3.2.1. Les usages

La norme NF EN 313-2 définit le contreplaqué comme un panneau à base de bois obtenu par collage de couches adjacentes à fils croisés habituellement à angle droit. Les couches (plis) sont le plus souvent des feuilles de bois obtenues par déroulage, d'environ 3 à 4 mm d'épaisseur. Le contreplaqué est généralement équilibré, ce qui signifie que les couches sont symétriques par rapport à la couche centrale, en ce qui concerne l'épaisseur, le sens du fil et l'essence.

Le contreplaqué peut être plan ou moulé, obtenu par pressage sur une forme. Le contreplaqué est un matériau homogène, léger, facile à mettre en œuvre. Il a des performances mécaniques élevées et résiste bien au fluage, aux chocs et aux vibrations. Sa stabilité dimensionnelle est meilleure que celle du bois massif.

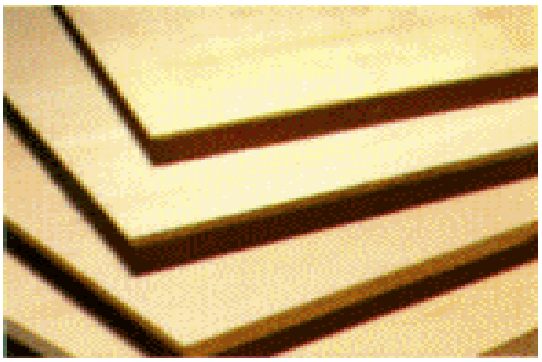


Figure I.34- Contreplaqué de peuplier.

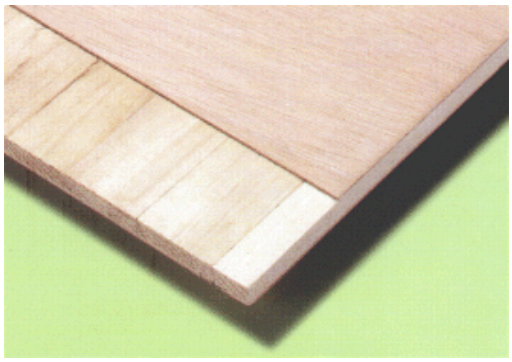


Figure I.35- Panneau latté de peuplier.

Il peut dans certains cas renfermer une âme (contreplaqué à âme), constituée par des lattes de bois massif de largeur comprise entre 7 et 30 mm, collées ou non entre elles (contreplaqué latté), ou par des lamelles de placage déroulé de 7 mm d'épaisseur au plus, disposées sur chant, toutes ou la plupart étant collées entre elles (contreplaqué lamellé). L'âme peut également contenir des matériaux autres que du bois (contreplaqué composite). Les contreplaqués lattés de peuplier sont plus résistants en flexion que ceux des résineux et sont très utilisés pour les portes, les rayonnages et la menuiserie intérieure.

L'industrie française du contreplaqué reste encore assez fortement marquée par l'utilisation de l'okoumé. Malgré cela le peuplier arrive à se positionner comme le premier substitut crédible de ce bois tropical. Le contreplaqué est l'utilisation la plus valorisante du peuplier à condition de se positionner sur le haut de gamme en valorisant ses atouts esthétiques tout en se démarquant des autres essences concurrentes. Les fabricants du contreplaqué à base de peuplier cherchent des variétés produisant des billons les plus parfaitement cylindriques possibles de couleur homogène et claire car facile à teinter en cas de besoin, et d'un diamètre suffisant pour assurer un bon rendement matière. Le I-214 répond bien à ces exigences contrairement à d'autres cultivars tel que le Robusta (Sales, 1995). Le contreplaqué du peuplier se destine aux emplois esthétiques et structuraux. Il est apprécié pour ses vertus tant décoratives que travaillantes. On l'utilise dans l'agencement, les meubles, l'emballage, le cloisonnement. Ayant un bon rapport poids/ résistance, il est aussi employé dans la structure des caravanes, camping-cars et planchers.

2.3.3.2.2. Caractéristiques mécaniques

Le contreplaqué du peuplier est généralement commercialisé pour ce qui est des épaisseurs de 4 à 40 mm (Plysorol, 2006). Il présente une densité de 400 à 500 kg/m^3 (Kim et al., 1998). Sa résistance en flexion est en moyenne de l'ordre de 30 à 50 MPa, sa rigidité peut atteindre 4000 à 5000 MPa suivant les cultivars.

Tableau I.9 – propriétés mécaniques du contreplaqué à base de peuplier.

	Type de colle	Epaisseur du placage (mm)	Nombre de plis	MOE (MPa)	MOR (MPa)	τ (MPa)	Référence
I-62 ; I-69 ; I-72	UF	2,5	5	3000	45	_	Kim et al (1998)
I-214	UF	3,5	3	_	50	_	Vassilou (1996)
	Non précisé	2,1	9	4439	24	2,4	Baldassino et al (1998)
(Populus x euramericana)	UF	2,2	3	_	77	9	Sensogut et al (2009)
	UF	2	3	4660	56	1,25	Aydin et al (2005)
	MUF	2	3	4843	57	1,86	

Plusieurs facteurs peuvent influencer ces caractéristiques mécaniques. Bao et Liu (1999) ont montré que la qualité mécanique du contreplaqué de peuplier (issu de plantations chinoises) dépend sensiblement de la structure anatomique du bois. En effet, ils ont démontré que la rigidité des panneaux est corrélée significativement au diamètre du lumen et que la résistance en cisaillement est statistiquement reliée à la largeur des fibres, à la proportion des rayons ligneux et à l'angle des microfibrilles. Les caractéristiques anatomiques étant dépendante du génotype, la qualité du contreplaqué peut donc varier suivant les cultivars. Selon une étude

menée par Bao et Liu (2001) sur trois cultivars[5] de peuplier la résistance au cisaillement varie significativement selon les cultivars. Aydin et al (2005) ont noté que le type de colle a également un effet sur la performance mécanique des contreplaqués, ils ont constaté que cette dernière tend à s'améliorer en cas d'utilisation de la Mélamine Urée Formaldéhyde (MUF) (tableau I.9).

Les différents facteurs d'influences analysés plus loin pour les LVL sont également pertinents pour les contreplaqués même si le croisement à 90° des placages atténue les effets des fissurations de déroulage. Sur du Douglas, Neese et al (2004) ont mis en évidence un important effet de la rugosité des placages sur les performances des joints de colles testées sur des panneaux trois plis, en faisant varier la position des faces ouvertes et fermées. La rugosité apparaît détériorer significativement la qualité des joints de colle ce qui semble conforme à l'abondante bibliographie citée par ces auteurs sur cet aspect. Devallance et al., 2007 complète l'expérimentation sur le Douglas en introduisant le facteur « fissuration » sur la qualité du collage. Il apparaît alors que le nombre de fissures détériore non pas réellement la qualité du joint de colle mais la valeur de la contrainte de rupture en cisaillement du fait de la fragilisation du bois par la présence de ces fissures cycliques.

2.3.3.3. Les Laminated Veneer Lumber

2.3.3.3.1. Les usages

Appelé aussi Lamibois ou bois lamellé de placages, Il s'agit d'un matériau composé de placages de forte épaisseur (de 1 à 12 mm) collés à fil parallèle. Cet assemblage lui confère les propriétés mécaniques longitudinales du bois massif, la lamellation le rend plus homogène que le bois massif grâce à la répartition aléatoire des défauts et légèrement plus performant que le bois massif du fait de la purge facilité par massicottage des plus gros défauts et par la légère densification induite par le procédé de fabrication (pressage). Il est utilisé pour la fabrication de madriers d'échafaudage et de semelles pour certaines solives en I en bois préfabriquées. On utilise également le LVL comme élément de poteaux de distribution d'énergie, poteau de panneau de signalisation et platelage de caisse de camion.

Le LVL est né aux États-Unis en 1944 mais son développement s'est vraiment fait dans les années 80 au Japon et en Europe, en Scandinavie et en Finlande. En France une seule expérience de production a été menée par le CTBA en 1980 à partir de chêne transformé en placage par la technique du "Tranchage circulaire à rayon constant" (Marchal, 1995), mais depuis aucune production industrielle n'a été signalée.

[5] *Populus x euramericana* cv.I-72/58, *Populus deltoides* cv.I-63/51 et *Populus deltoides* cv.I-69/55.

Figure I. 36- LVL de peuplier.

Figure I.37- Utilisation du LVL en éléments structuraux.

Figure I.38 - Poutre en I constituée de deux membrures en LVL.

Le protocole de fabrication est dérivé de celui des contreplaqués : il commence par le déroulage de placages de 1 à 12 mm d'épaisseur, les placages sont ensuite séchés dans un tunnel à air chaud ou sous presse jusqu'à une humidité de 3 à 12%. Le jointage des placages se fait en bout en biseau (scarfage). Les colles utilisées pour l'encollage changent selon la destination du panneau. Les colles résorcines, Urée Formol et Mélamine Urée Formol sont les plus couramment utilisées pour la fabrication des panneaux de structure. La colle Polyvinylique Acétate convient plus à un emploi en menuiserie ou ameublement.

L'objectif de tous les fabricants est de réduire les coûts de fabrication par une efficacité accrue et une utilisation maximale des ressources ligneuses, tout en maintenant et en améliorant la qualité et l'homogénéité des produits. Le LVL constitue une solution intéressante pour atteindre cet objectif, le procédé de fabrication permettant de convertir environ 75 % de l'arbre en éléments de structure (Masson et Trouy-Triboulot, 2003). La majorité des LVL produits à ce jour est fabriquée à partir de bois résineux. L'industrie canadienne des panneaux LVL montre un grand intérêt pour les essences à courte rotation comme le peuplier hybride elle voit la possibilité d'introduire le peuplier dans les procédés de fabrication du LVL, en effet le LVL à base de peuplier n'est fabriqué pour l'heure qu'en Amérique du Nord par la société canadienne TEMLAM Inc (Québec) (Lepistö et Massey, 2008).

2.3.3.3.2. Caractéristiques mécaniques

A fin de déterminer le potentiel d'utilisation du peuplier hybride dans la fabrication du LVL, le service Partenariat Innovation Forêt[6] a mené une étude comparative des propriétés

[3] Partenariat Innovation Forêt est un service conjoint du Service Canadien des Forêts et du Centre Canadien sur la Fibre de Bois de Ressources Naturelles.

mécaniques de deux clones de peuplier hybride soit le clone 131 (Populus deltoides x Populus nigra) et le clone 3230 (Populus trichocarpa x Populus nigra) en provenance de Saint-Ours au Québec. Cette étude a montré que la moyenne des modules d'élasticité des panneaux LVL des peupliers hybrides est d'environ 30 % inférieure à celle des modules du peuplier faux tremble et du douglas. La même étude a démontré qu'il est possible d'augmenter la résistance mécanique d'une poutre de LVL fabriquée à partir de peuplier hybride en remplaçant des plis avec une essence ayant une résistance mécanique plus élevée, comme le peuplier faux-tremble (Leblanc, 2006).

Tableau I.10 - Sommaire des valeurs des Modules d'élasticités des LVL en fonction de la composition (Leblanc, 2006).

Type de composition	MOE (x106 psi)	
	Sur chant	A plat
13 plis de peuplier hybride	1100	1010
13 plis de peuplier faux-tremble	1290	1268
4 plis de peuplier faux-tremble et 9 plis de peuplier hybride	1228	1037

La première étape de fabrication de LVL à partir d'essences à courte rotation est donc probablement de remplacer graduellement le nombre de placages de peuplier faux-tremble par des placages de peuplier hybride qui en principe coûteraient moins cher. De plus, on peut concevoir diverses combinaisons faisant appel à différentes essences pour des produits bien particuliers.

Tableau I.11- Propriétés du bois massif et du LVL issus de trois clones de peuplier (Bao et al., 2001).

	Densité (g/cm^3)	MOR (MPa)	MOE (GPa)	Dureté (N)
Bois massif 63	0.33	44.78	7	1820
Bois massif 69	0.39	67.17	10.49	2550
Bois massif 72	0.35	57.20	9.16	2144
LVL clone 63	0.43	67.86	9.15	3130
LVL clone 69	0.52	78.37	12.38	4175
LVL clone 72	0.49	75.11	13.05	3325

Clone 63 : *Populus deltoides* cv.I-63/51
Clone 69 : *Populus deltoides* cv.I-69/55
Clone 72 : *Populus deltoides* cv.I-72/58

Bao et al (2001) ont observé chez trois clones de peuplier que la densité du LVL est plus élevée que celle du bois massif par l'effet de la colle et de la densification due au pressage. Ils ont également noté que les performances mécaniques du LVL sont meilleurs que celles du bois massif. Les mêmes auteurs ont aussi mis en évidence une nette variabilité inter-clones des propriétés du LVL.

Plusieurs facteurs jouent sur les performances mécaniques des panneaux LVL comme l'épaisseur, la fissuration des placages, la localisation et le type de jointage longitudinal des placages, la direction de sollicitation par rapport aux plans de collage, le type de colle employé.

a. Epaisseur des placages et fissurations

Schaffer et al 1972 ont étudié l'influence du nombre de plis (3, 4 et 6 placages) sur les résistances mécaniques moyennes et leurs dispersions, en flexion de LVL de section constante sollicités sur chant. Il apparaît que (i) les résistances augmentent avec le nombre de plis (ii) (ii) les performances obtenues sur le LVL 4 plis sont proches de celle du bois massif de la même essence, avec toutefois une dispersion moindre (iii) les résultats obtenus sur les panneaux 6 plis montrent la plus faible dispersion et une résistance en flexion double par rapport à celle du bois massif moyen correspondant.

Leicester and Bunker 1969 in Moody 1972 montrent sur un 3 plis que la résistance en traction est une fonction linéaire de l'inverse de l'épaisseur. Youngquist et Bryant 1979, Preston (1950) in Kunesh (1978), Ebihara (1982) et Youngquist et al., (1984) confirment ce type de résultats.

Par une analyse de variance, Hoover et al (1987) mettent en évidence sur trois bois de feuillus un effet significatif du nombre de plis sur la résistance en flexion à la fois lors d'une sollicitation à plat ou sur chant, cette résistance augmentant avec le nombre de plis. Parallèlement, les mêmes auteurs ne mettent en evidence aucun effet significatif de ce facteur épaisseur sur le module d'élasticité ou sur la résistance au cisaillement. Ebihara (1982) observe que le module de cisaillement G diminue quand l'épaisseur du placage augmente.

En résumé, la diminution de l'épaisseur du placage améliore les résistances mécaniques des LVL et les auteurs attribuent cette relation à une plus forte imprégnation par la colle des placages minces, par la proportion accrue de colle quand l'épaisseur des plis diminue (= augmentation du nombre de plis), par une meilleure dispersion des défauts mais surtout par les fissurations de déroulage moins graves sur placages minces que sur placages épais. Moriizumi et al (1984) confirment clairement l'effet de ce facteur fissuration sur la dégradation des contraintes de rupture et du module d'élasticité de LVL. Quelques exceptions sont parfois mises en évidences comme par exemple par Echols et Currier (1973) mettant en évidence sur du Douglas de meilleurs résultats sur bois massif que sur un LVL 5 plis, et meilleur sur ce LVL 5 plis que sur un LVL 7 plis. La plupart de ces auteurs ont travaillé avec des placages dont l'épaisseur était comprise entre 2,5 mm (1/10 inch) et 13 mm (1/2 inch), principalement sur des résineux (pin et douglas), c'est-à-dire des bois hétérogènes.

Même si ces résultats semblent majoritairement aller dans la même direction, nous n'avons pas trouvé de modélisation claire de l'influence de la fissuration cyclique de déroulage caractérisée par sa fréquence et son amplitude, sur les caractéristiques mécaniques des LVL. C'est ce constat qui a motivé le travail de Descamps et al (2009) visant à trouver sur du hêtre l'épaisseur compromis entre une faible dégradation de la mécanique des LVL et une consommation limitée de colle, celle-ci pouvant parfois représenter jusqu'à 20% de la masse du LVL, surenchérissant le prix du produit et compliquant sa fin de vie.

b. Type de jointage longitudinal et positionnement

On améliorera l'homogénéité mécanique des LVL en augmentant la dispersion des caractéristiques qui altèrent la résistance en tension notamment. Le type de jointage longitudinal des placages, leur répartition dans les plis intérieurs ou dans les plis extérieurs ainsi que leur décalage relatif d'un pli à l'autre sont des sources importantes de variation. Marchal (1989) a conduit une étude bibliographique sur ce sujet. Il en ressort que deux types de joint sont principalement utilisés : les joints plans mis bout à bout ("butt-joint") et les joints obliques ou en sifflet ("scarf joint"). Dans le premier cas, on observe que la rupture en flexion se propage préférentiellement par ces jointages, même lorsqu'ils sont largement décalés les uns des autres entre deux plis. Le décalage entre deux joints dans deux plis adjacents est très variable d'un auteur à l'autre, chacun proposant ses propres ratios entre et l'épaisseur du placage, ratio allant de 15 à plus de 60 sans pour autant mettre à l'abri d'une rupture en " marches d'escalier". Bien qu'il s'agisse du mode de jointage le moins fiable, il reste très utilisé car facile à mettre en œuvre. Dans le second cas, on usine un chanfreinage en bout de placage qui peut sur certaines espèces provoquer d'importantes pertes de placages. La pente du chanfrein est généralement comprise entre 1/3 et 1/12 et sa surface est ensuite encollée. Ce type d'assemblage en biseau améliore fortement la tenue mécanique des LVL, les ruptures s'amorçant généralement en dehors de ces jointages, pourvu que l'on ménage un décalage entre deux jointages d'un pli à l'autre au minimum de 12 fois l'épaisseur du placage. D'autres types de jointages existent comme le jointage par recouvrement où les extrémités des placages se chevauchent avant pressage et sont ensuite écrasés. Cela nécessite une pression de serrage un peu plus forte, provoque des densifications localisées du bois voire des décollements locaux. Ils sont généralement pénalisants pour les caractéristiques mécaniques des LVL.

c. Influence de la direction de sollicitation par rapport aux plans de collage

On peut solliciter un LVL "sur chant" quand les plans de colle sont verticaux ou parallèles à la sollicitation (usage en solive) et "à plat" lorsque les plans de colle sont horizontaux ou perpendiculaires à la sollicitation (usage en planche). Les performances en flexion statique (les contraintes de rupture en particulier) sont un peu plus faible sur les LVL sollicités à plat que sur ceux sollicités sur chant (Marchal, 1989 ; Mothe et al., 1994). Ceci est en partie lié à

l'influence des fissurations dans les placages. En effet, dans le cas d'un LVL sollicité à plat, les fissures auront tendance à s'ouvrir et parfois même, en cas de fortes fissurations, pourront induire un phénomène de "joint bu" et donc se traduire par des défauts locaux de collage.

d. Influence du type de colle

En utilisant deux colles vinyliques (l'une avec durcisseur, l'autre sans) dans la fabrication de LVL de chêne, Mothe et al (1994) ne mettent pas en évidence d'effet particulier de ces colles sur les performances mécaniques de LVL. De même Lanvin et al (2004) n'ont pas relevé de différences significatives entre les performances mécaniques de LVL de chêne collés avec une MUF et avec une colle résorcine. Par contre, dans le cadre d'une analyse des interactions entre le taux de tannins dans le bois et quatre types de colles différentes (Polyuréthanne, Phénol Résorcine Formol, MUF, Honeymoon à base de tanins naturels) dans le cadre d'une fabrication de LVL de chêne, Svoradova et al (2002) ont mis en œuvre des essais de flexion des LVL "à plat" afin de plus solliciter les joints de colle et donc de mieux discriminer celles-ci. Les meilleures performances mécaniques sont généralement obtenues sur les LVL collés avec la colle polyuréthane et les moins bonnes avec la colle résorcine. Les différences étaient respectivement inférieures 5% et de l'ordre de 20% pour le MOE et le MOR. Si globalement l'effet des colles est peu sensible en condition de laboratoire où l'humidité est très contrôlée et d'un faible niveau, il peut en aller très différemment en vraie grandeur, en particulier dans les réalisations où les bois peuvent être soumis à des réhumidifications.

e. Autres facteurs améliorant la qualité mécanique des LVL

On peut également améliorer la qualité mécanique des LVL :

- en séchant les placages sous contraintes pour les densifier légèrement (Koch, 1967 ; Schaffer et al., 1972).
- en optimisant les paramètres de coupe pour améliorer la qualité des placages. Il s'agira d'atténuer le plus possible la gravité des fentes de déroulage, les variations d'épaisseurs et la rugosité pouvant altérer la qualité des joints de colles.
- dans le cas d'une sollicitation à plat, en présélectionnant les placages présentant les meilleurs modules d'élasticité pour les plis externes d'une pièce appelée à travailler en flexion et en faisant du "remplissage" avec par exemple des placages de bois de qualité plus médiocre. Les gains peuvent être considérables par rapport aux LVL dont les placages sont disposés de façon aléatoire.

3. Conclusion

Le peuplier en temps qu'espèce renferme une grande variabilité génétique et est représenté par plusieurs cultivars qui exigent des conditions de croissance différentes. La convergence de ces deux sources de disparité, cultivar et station forestière, peut contribuer à une grande variabilité de la qualité du bois. Quelle que soit sa variabilité, sa faible densité et son homogénéité en font un bois fortement apte au déroulage, malgré certaines singularités qui peuvent le dévaloriser, notamment le faux-cœur, le bois juvénile et le bois de tension.

Le déroulage est la valorisation majeure du bois de peuplier. Ses principaux débouchés sont l'emballage léger et le contreplaqué, mais le panneau LVL peut être une utilisation prometteuse pour diversifier l'utilisation du bois de peuplier en construction. Toutefois la qualité de ces produits dépend aussi bien de la qualité intrinsèque du bois que du procédé. Ainsi, à la lumière de cette étude bibliographique, notre recherche visant à étudier la déroulabilité et la qualité des produits du déroulage de 10 cultivars de peuplier provenant de quatre stations forestières différentes sera orientée vers trois axes : l'aptitude au déroulage, la qualité du placage et la qualité mécanique des panneaux contreplaqués et LVL dérivés.

L'étude de l'aptitude au déroulage sera faite à travers la quantification de la répartition de l'eau dans la grume et la mesure des efforts exercés sur l'outil et sur la barre lors du déroulage. L'évaluation de la qualité du placage sera basée sur les principaux critères qualitatifs du placage, à savoir, le tuilage, la rugosité, la fissuration et l'irrégularité d'épaisseur. Cette évaluation sera faite sur deux types de placage : des placages de 1,4 mm et des placages de 3 mm d'épaisseur. Ces deux épaisseurs sont usuelles dans la filière peuplier: 1,4 mm une épaisseur courante pour l'emballage léger et 3 mm l'épaisseur la plus usitée pour la fabrication de contreplaqué et de LVL.

Les placages issus du déroulage seront utilisés pour la fabrication de panneaux contreplaqués et LVL. Ces panneaux feront l'objet d'une caractérisation mécanique en utilisant des méthodes non destructives puis destructives. Pour cette caractérisation nous ferons le choix de :

- fabriquer des éprouvettes sans jointage longitudinal dans les plis pour éviter d'introduire un facteur de variabilité supplémentaire pouvant contribuer à masquer les effets principaux "cultivar" et "station" que nous cherchons à mettre en évidence.
- d'utiliser deux types de colle : une structurale apte à la construction en toute classe de risque, une colle pour des emplois en intérieur. Nous prendrons deux colles industrielles parmi celles existantes présentant un impact environnemental limité : respectivement une colle MUF moins riche en formaldéhyde qu'une colle UF classique et une colle PVAC en solvant aqueux.

- de solliciter les contreplaqués "à plat" car cela correspond le mieux à leur type de mise en charge dans le cadre de leur emploi dans le bâtiment (plaques isotropes utilisées en contreventement, en support de plancher, en sous-toiture, etc….) et les LVL "sur chant" car il s'agit de l'orientation de sollicitation la plus usuelle en construction, permettant de tirer le meilleur parti de la mécanique de ce matériau.

Pour quantifier la variabilité de la qualité du placage et des panneaux, nous ferons appel à des analyses statistiques permettant de hiérarchiser les différents effets étudiés et de mettre en évidence les critères qualitatifs les plus discriminants.

1. Matériel végétal

2.1.Choix des cultivars

Ce choix a été opéré pour l'essentiel par les animateurs du projet "Référentiel qualité du des cultivars de peuplier" : Eric PAILLASSA (IDF) et Alain BERTHELOT (FCBA). Dix cultivars ont été sélectionnés. Ceux sont des cultivars présents actuellement sur le marché du bois ou y arrivant bientôt avec des volumes conséquents. Ces cultivars sont soit des cultivars de référence déjà bien connus des professionnels, soit peu ou pas connus, mais avec une forte probabilité d'avoir à les utiliser dans un avenir proche, vues les surfaces plantées. Les dix cultivars constituent une liste de référence, car ils représentent ceux dont les bois vont constituer l'essentiel du bois de peuplier qui sera utilisé dans les dix ans à venir. Nous résumons ci-après les principales caractéristiques de ces cultivars (tableau II.1).

- *Beaupré*

Il est énormément utilisé en reboisement dans le Nord et le Nord-est de la France. Sa qualité de bois est une référence "1er choix" pour ceux qui l'ont déjà utilisé. De gros volumes de bois vont bientôt être disponibles. Il reste cependant encore méconnu par certains industriels. Malgré sa sensibilité aux rouilles, il pourrait être une référence optimale pour le groupe des interaméricains.

- *Blanc du Poitou*

C'est un ancien de la populiculture française. Originaire de Poitou-Charentes, il a fortement marqué la populiculture du marais poitevin, et y constitue une référence locale. Il est bien connu par quelques industriels régionaux. Il 'est très sensible au chancre bactérien et à la rouille. Les volumes sur le marché du bois sont peu importants. Cependant, des développements futurs peuvent intervenir pour ce cultivar réputé par sa rusticité, sa croissance régulière et son adaptation aux milieux humides.

- *Dorskamp*

Si sa forme flexueuse a beaucoup joué en sa défaveur, sa productivité et sa résistance globale aux maladies en font actuellement un cultivar attrayant. C'est l'un des cultivars les plus plantés ces dernières années. Il est présent en Rhône-Alpes, Auvergne, Bourgogne, Franche-Comté, Alsace, Lorraine, Midi-Pyrénées, Aquitaine, Limousin, Poitou-Charentes, Pays-de-Loire et au Centre. Il est à signaler que sa sensibilité au chancre bactérien le condamne à ne pas être planté au nord de la France. Ce cultivar est peu utilisé par les industriels mais il est en pleine expansion au niveau national, ce qui devrait aboutir d'ici quelques années à un vrai marché du bois de Dorskamp.

- *Flevo*

Ce cultivar est planté partout en France, sauf en Auvergne, Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte-D'azur et en Corse. Bien qu'il soit très sensible à la gélivure, sa productivité satisfaisante et son très bon comportement à l'égard des maladies foliaires, en font un cultivar intéressant. Bien qu'il soit en progression ces dernières années, la qualité de son bois est toujours mal connue.

- *Fritzi Pauley*

Cultivar planté surtout en zone nordique, il supporte bien la concurrence et le froid, mais il est sensible à la rouille. Il peut être une référence qualité du bois pour le groupe des *Trichocarpa* mais ses aptitudes technologiques restent insuffisamment connues. Les volumes de bois à venir sont peu importants.

- *Ghoy*

Il a été peu planté du fait de sa croissance juvénile lente. Aujourd'hui il est répandu en Bourgogne, Franche-Comté, Alsace, Lorraine, Champagne-Ardenne, Haute Normandie, Ile-de-France, Picardie et au Nord Pas-de-Calais. Il est résistant au chancre bactérien. C'est l'un des cultivars les plus plantés ces dernières années. En conséquence les volumes de bois à venir seront de plus en plus importants. Cependant ce cultivar est très peu connu par les industriels.

- *I 214*

C'est un cultivar euraméricain relativement ancien. Son bois convient très bien au déroulage pour la fabrication du contreplaqué et des emballages légers. Largement planté depuis de nombreuses années dans toute la France, il est actuellement le cultivar le plus récolté. Il est considéré à présent comme un cultivar sûr. Il est moins sensible au champignon *Marssonina brunea* et au puceron lagnigère (*Phloemyzus passerinii*). Il est largement concurrencé par l'arrivée de nombreux cultivars plus performants et/ou mieux adaptés à certaines stations, mais aussi plus sensibles aux maladies. La qualité de son bois est bien connue des industriels. Référence actuelle pour une qualité "1er choix". Il sera encore présent pour de nombreuses années sur le marché du bois.

- *I 45-51*

Bien que la qualité de son bois demeure peu connue. Ce cultivar euraméricain n'est pas vraiment une nouveauté. Il est planté depuis de nombreuses années, essentiellement en zone méridionale, en Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon, Corse, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Auvergne, Midi-Pyrénées, Aquitaine, Limousin, Poitou-Charentes, Pays-de-Loire, Centre. Il constitue actuellement une partie non négligeable de la récolte de peuplier.

Ses volumes de bois à venir sont de plus en plus importants. Sa rectitude et sa croissance ont favorisé son extension. Cependant, sa sensibilité au vent et au chancre bactérien l'arrivée de nouveaux cultivars a fortement limité ce développement. Il n'en demeure pas moins que des plantations de I 45-51 se réalisent chaque année et encore plus ces dernières années. Bien

qu'ayant une croissance moindre par rapport à certains nouveaux cultivars, il reste un bon producteur de bois grâce à sa forme.

- *Raspalje*

Il a été délaissé pendant longtemps au profit d'autres cultivars (Beaupré, Unal) à cause de sa sensibilité aux inondations printanières. Mais aujourd'hui il redevient intéressant grâce à sa faible sensibilité aux rouilles. Il est planté presque partout en France. Une progression des volumes du bois est prévue dans les années à venir. Cependant la qualité du bois nécessite des précisions objectives.

- *Robusta*

Il est considéré comme référence technique bien connue des industriels. Sa rectitude parfaite et sa forte densité de bois lui confère un grand avantage. Néanmoins sa productivité est très inférieure à celle des autres cultivars. Mais son principal défaut est sa sensibilité aux rouilles. En outre**,** sa sensibilité au vent, au gel et la nervosité de son bois ont largement été mis en cause. Ces défauts ont conduit à son déclin en faveur d'autres cultivars, ce qui fait qu'il est de moins en moins présent sur le marché.

Tableau II.1- Tableau récapitulatif des principales caractéristiques des cultivars étudiés.

		Origine	***Sexe***	***Région***	***Atouts***	***faiblesses***
Cultivars référents	***Beaupré***	Hybride interaméricain (*P.deltoîdes x P. trichocarpa*)	F	le Nord et le Nord-est de la France	Qualité du bois "1er choix"	Sensible à la rouille
	Blanc du Poitou	Hybride euraméricain (*P.deltoîdes x P. nigra*)	M	Poitou-Charentes marais poitevin	Croissance rapide et son adaptation aux milieux humides	Sensible au chancre bactérien et à la rouille
	I-214	Hybride euraméricain *(P.deltoîdes x P. nigra)*	F	Toute la France	Convient très bien au déroulage pour la fabrication du contreplaqué et des emballages légers.	Sensibilité au champignon *Marssonina brunea* et au puceron
	I 45-51	Hybride euraméricain *(P.deltoîdes x P. nigra)*	M	Zone méridionale, en Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon, Corse, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Auvergne, Midi-Pyrénées, Aquitaine, Limousin, Poitou-Charentes, Pays-de-Loire, Centre.	Bonne rectitude et croissance rapide.	Sensible au vent et au chancre bactérien.
	Robusta	Hybride euraméricain (*P.deltoîdes x P. nigra)*	M		Sa rectitude parfaite et sa forte densité de bois	Croissance lente Sensible à la rouille, au vent et au gel
Cultivars émergeants	***Dorskamp***	Hybride euraméricain (*P.deltoîdes x P. nigra)*	M	Rhône-Alpes, Auvergne, Bourgogne, Franche-Comté, Alsace, Lorraine, Midi-Pyrénées, Aquitaine, Limousin, Poitou-Charentes, Pays-de-Loire et au Centre.	Bonne productivité et résistance à la majorité des maladies	Forme fluxueuse et sensible au chancre bactérien
	Flevo	Hybride euraméricain *(P.deltoîdes x P. nigra)*	M	en France, sauf en Auvergne, Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte-D'azur et en Corse.	Sa productivité satisfaisante et son très bon comportement à l'égard des maladies foliaires.	Très sensible à la gélivure.
	Fritzi Pauley	*P. trichocarpa*	F	Zone nordique	Supporte bien la concurrence et le froid et très résistant à *Marssonina brunea*	Sensible à la rouille
	Ghoy	Hybride euraméricain *(P.deltoîdes x P. nigra)*	F	Bourgogne, Franche-Comté, Alsace, Lorraine, Champagne-Ardenne, Haute Normandie, Ile-de-France, Picardie et au Nord Pas-de-Calais.	Résistant au chancre bactérien	Croissance juvénile lente.
	Raspalje	Hybride interaméricain *(P.deltoîdes x P. trichocarpa)*	F	Partout en France	Peu sensible à la rouille	Sensible aux inondations printanières

2.2.Choix des sites

Les cultivars du peuplier présentent des exigences écologiques différentes. Toutefois pour un même cultivar, la qualité du bois peut varier considérablement suivant les conditions de croissance. L'évaluation de la qualité du bois ne serait complète que si l'on intègre cette source de variation. Ainsi quatre types de stations forestières bien différenciées ont été choisies pour le prélèvement du bois. Les stations retenues correspondent aux stations populicoles classiques. La gamme de stations sélectionnées est la suivante :

- ***Station humide*** : nappe à environ 50 - 60 cm, sol superficiel, non tourbeuse.
- ***Station argileuse*** : station à dominante argileuse, humide, nappe entre 50 et 100 cm.
- ***Station riche*** : eau située entre 100 et 150 cm de profondeur à l'étiage. Texture argilo-limoneuse ou équilibrée. Sol parfois riche en matières organiques, profondeur de sol entre 1 et 2 m.
- ***Station profonde***: station à dominante limoneuse, sol filtrant, profondeur prospectable importante supérieure à 2 m.

Ces quatre types de stations sont représentés par 13 sites (figure II.1) répartis dans les régions qui connaitront des perturbations en termes de volumes mobilisables dans les 10 ans qui viennent. Il s'agit de la région de Poitou-Charentes, La Picardie, les Pays-de-la-Loire et l'Aquitaine. Ces quatre régions, à elles seules, représenteront dans 10 ans la moitié des volumes disponibles en France (Thivolles, 2003).

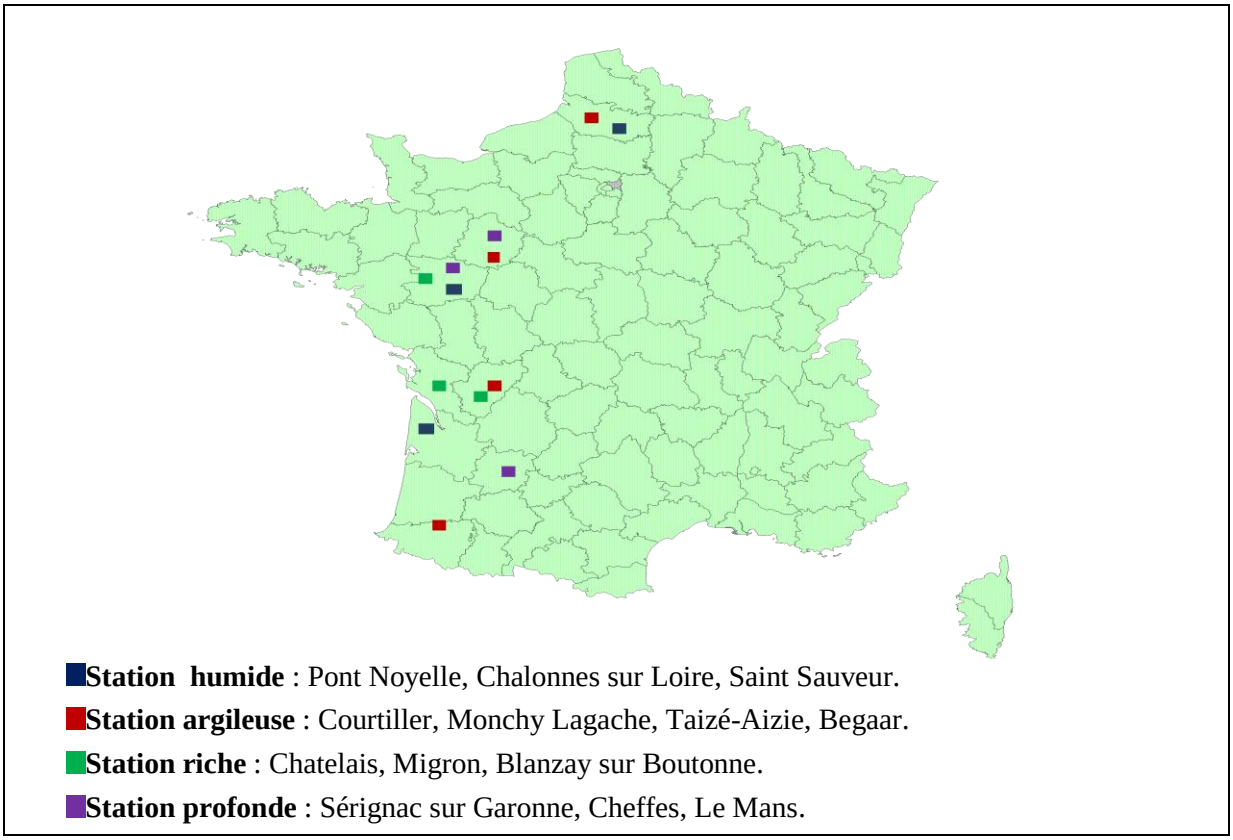


Figure II.1- Répartition des sites de prélèvement.

Tableau II.2- Principales caractéristiques des parcelles échantillonnées.

	Parcelle	Région	Site	Situation	Age	Cultivar	Sylviculture
Station humide	CRPF Nord Pas de Calais Picardie n°8090001	Picardie	Pont Noyelle	Parcelle sur une vallée d'un affluent de la Somme	17	Ghoy, Beaupré, Robusta, Fritzi Pauley, Blanc du Poitou,	Populiculture extensive
	CRPF Aquitaine n°3391003	Aquitaine	Saint Sauveur	Parcelle sur une zone humide du Médoc	16	Flevo, I 45/51, Dorskamp	Populiculture extensive
	Essai du Cemagref	Pays de la Loire	Chalonnes sur Loire	Parcelle dans la vallée du Layon, affluent de la Loire	17	Raspalje	Populiculture extensive
	Parcelle de production	Pays de la Loire	Chalonnes sur Loire	Parcelle en bordure du Louet, affluent de la Loire	16	I -214	Populiculture extensive
Station argileuse	CRPF Aquitaine n°4091001	Aquitaine	Begaar	Parcelle dans les Barthes de l'Adour	16	I- 214, Dorskamp, Flevo, Robusta	Populiculture semi intensive
	Afocel n° 16045	Poitou-Charentes	Taizé Aizie	Parcelle en fond de vallée de Charente	20	Raspalje, Blanc du Poitou, I 45/51, Beaupré	Populiculture semi intensive, présence d'un sous étage peu dense
	Parcelle de production	Picardie	Monchy Lagache	Parcelle en bordure de la Somme	17	Ghoy	Populiculture extensive
	Parcelle de production	Pays de la Loire	Courtillers	Parcelle en bordure de la rivière Sarthes		Fritzi Pauley	Populiculture extensive
Station riche	Afocel n°49034	Pays de la Loire	Chatelais	Parcelle en fond de vallée de l'Oudon	15	Raspalje, Beaupré	Populiculture semi intensive
	CRPF Poitou Charente n°1794106	Poitou-Charentes	Blanzay sur Boutonne	Parcelle en vallée de Boutonne	13	Robusta, Dorskamp	Populiculture semi intensive
	CRPF Poitou Charente n°1791102	Poitou-Charentes	Migron	Parcelle sur la vallée de l'antenne, bien alimentée en eau	15	Blanc du Poitou, I 45/51, Flevo, I 214, Ghoy, Fritzi Pauley	BTA, populiculture intensive
Station profonde	Parcelle de production	Pays de la Loire	Le Mans	_	17	Fritzi Pauley	Populiculture extensive
	CRPF Aquitaine n°4791001	Aquitaine	Sérignac sur Garonne	Parcelle sur une terrasse de la Garonne	15	I 45/51, Beaupré, Flevo, I 214, Dorskamp	BTA, populiculture intensive
	Cemagref	Pays de la Loire	Cheffes	Parcelle située en tête de talweg d'un petit cours d'eau (limite d'alluvions sableuses et des sables du Cénomanien)	25	Ghoy, Robusta, Blanc du Poitou, Raspalje	Populiculture extensive

La majorité des parcelles échantillonnées fait partie de comparaison de cultivars du GIS Peuplier (AFOCEL, Cemagref), ou du réseau des expérimentations Peuplier de la forêt privée (CRPF, IDF, Cetef). L'utilisation des essais comme source d'approvisionnement en bois permet d'avoir des données sylvicoles complètes sur les arbres échantillonnés. Elle permet aussi de limiter le nombre de sites d'approvisionnement. Ainsi elle facilite le lien cultivar/station et les comparaisons entre cultivars provenant d'un même site. Le tableau II.1 décrit les différentes parcelles exploitées dans le cadre de l'étude.

2.3.Choix des arbres et billonnage

L'étude porte sur 120 arbres de 13 à 25 ans et de diamètre 35-45 cm à 1,30 m. Par cultivar et par station, 3 arbres sains et sans défauts ont été échantillonnés en évitant les lisières de peuplement. Après abattage, chaque grume a été identifiée par une numérotation indiquant le site et le cultivar.

Les 120 grumes ont été billonnées selon les besoins des principales études composants du projet global (figure II.2) en 3 billons de 2,20 m pour l'évaluation de la qualité des sciages et du séchage, 2 billons de 1 m pour l'étude de la qualité des grumes du bois et 1 billon de 1 m pour notre étude.

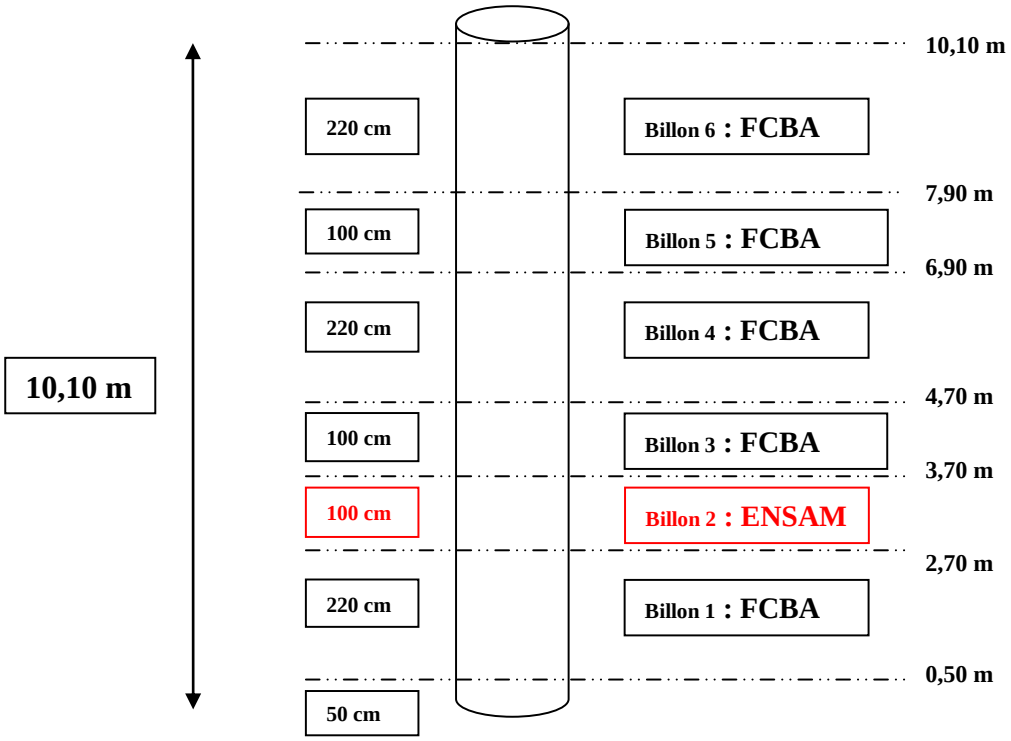


Figure II.2 - Plan d'échantillonnage.

Pour des raisons pratiques de planifications, l'exploitation des arbres échantillonnés a été organisée en 4 campagnes comme l'indique le tableau II.3. Pour les mêmes raisons certains billons destinés au déroulage ont du être stockés dans une chambre froide à 2°C avant d'arriver à l'ENSAM, faute de place disponible en stockage immergé.

Tableau II.3- Organisation des campagnes d'échantillonnage

	Date	Nombre des billons	Stockage chambre froide
Campagne I	juin 2006	45	4 mois puis déroulage
Campagne II	Mai 2007	36	Déroulage directement après exploitation
Campagne III	juin 2007	21	5 mois puis déroulage
Campagne IV	Septembre 2007	18	Déroulage directement après exploitation

Une fois à l'ENSAM Cluny, les 120 billons d'1 m ont été écorcés et leurs diamètres mesurés. Sur les 120 billons, 80 ont été destinés au déroulage semi industriel au LABOMAP, à raison de 2 billons par site et par cultivar et 40 au déroulage industriel en entreprise.

Figure II. 3- Préparation des billons. (a : Ecorçage, b : Tronçonnage, c : Pesée, D : trempage des billons)

Chacun des 80 billons a été tronçonné en deux sous-billons, l'un de 60 cm utilisé pour les déroulages semi-industriels et un autre de 40 cm qui a servi pour des essais complémentaires (microdéroulage, et observations MEB) et pour le prélèvement d'un disque de 2 cm utilisé pour établir la cartographie d'humidité. Les billons ont été ensuite pesés, puis immergés dans un bac de trempage en plein air pour les maintenir à l'état vert en vue de leur déroulage.

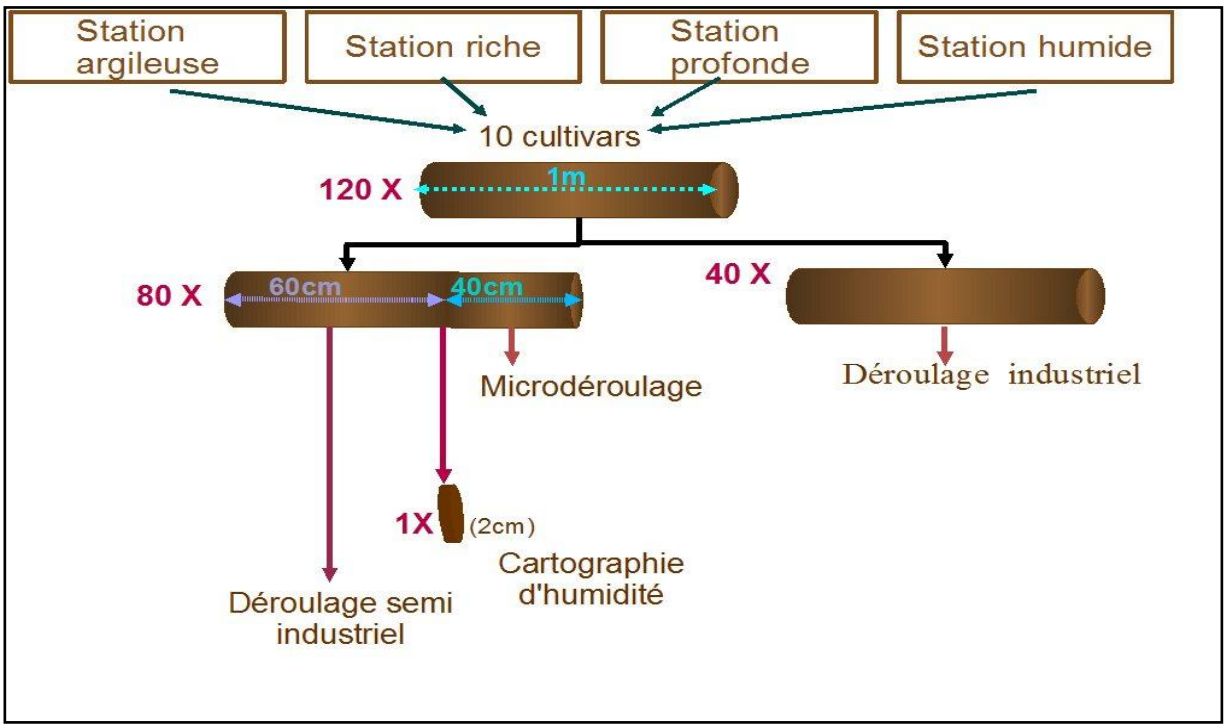


Figure II.4-Répartition et destinations des billons.

2. *Cartographie d'humidité*

Il est généralement admis que la forte teneur en eau facilite la coupe du bois par déroulage. La première transformation par déroulage et par tranchage se pratique toujours sur des bois verts. Plusieurs auteurs signalent que l'augmentation de l'humidité du bois favorise sa complaisance et sa déformabilité.

C'est pour cette raison que la coupe en déroulage nécessitant une déformation locale très importante du placage, se fait toujours sur des bois verts. Cela a pour effet de réduire les efforts de coupe et d'améliorer ainsi la durée de vie de l'outil et la qualité du placage. D'où l'intérêt d'évaluer la teneur en eau des billons à dérouler surtout d'autant que le peuplier se déroule toujours à l'état vert sans aucun traitement hygrothermique.

Cette étape était aussi indispensable pour vérifier l'influence éventuelle du stockage en chambre froide sur l'état hygrométrique des billons et pour connaître la répartition d'eau dans les bois ronds afin de comprendre les conséquences de l'interaction entre l'eau et la qualité de placage tant au stade de la transformation, que du séchage et la mise en œuvre.

La teneur en eau est définie comme la proportion en masse d'eau (libre et liée) par rapport à la masse anhydre de l'échantillon (NF B 51-004). Différentes méthodes existent pour mesurer cette grandeur, par exemple les méthodes électriques (mesures de résistivité, mesures de la constante diélectrique) et par spectrométrie infrarouge. Bien que ces méthodes soient non destructives, elles sont moins précises et généralement utilisés pour une plage de mesure limitée, souvent comprise entre 0% et 30%, qu'une simple méthode par double pesée.

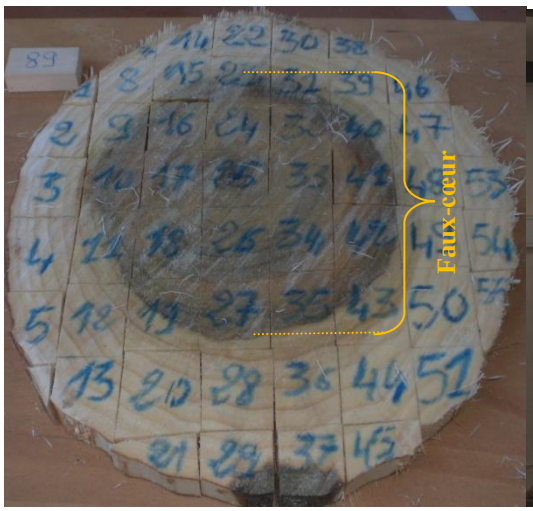


Figure II.5-Rondelle découpée en cubes.

Figure II.6-Séchage des cubes.

Figure II.7-Pesée des cubes.

Pour les 80 billons dédiés au déroulage semi-industriel à l'ENSAM, une rondelle de 2 cm a été prélevée entre chaque sous-billon (figure II.4) soit 2 rondelles par site et par cultivar. Toute rondelle ainsi extraite a été immédiatement découpée en petits cubes de 4 cm de coté numérotés suivant leurs positions dans la rondelle (figure II.5).

Chaque cube a ensuite été pesé à l'aide d'une balance ayant une précision de 10^{-3}g, pour avoir le poids humide, puis séché dans une étuve à 103 ± 2 °C. Une fois le poids des cubes stabilisé, ils sont pesés à nouveau pour avoir la masse anhydre. On déduit le taux d'humidité de chaque cube suivant la formule (1).

$$(1)\quad H(\%) = \frac{\mathrm{Mh} - \mathrm{M0}}{\mathrm{M0}} \times 100$$

avec M_h : masse humide et M_0 : masse anhydre

Ayant repéré la position que chaque cube occupe dans la rondelle, une cartographie a été établie grâce à un programme réalisé sous Visual Basic. A partir de 2 diamètres des rondelles et de la cote des cubes et de leur taux d'humidité, ce programme reconstitue la rondelle et affecte un taux d'humidité à chaque cube, puis estime le taux d'humidité correspondant à chaque point dans la rondelle via l'utilisation de fonction de forme. Ainsi il a été aisé d'établir une cartographie d'humidité pour chaque rondelle (figure II.8). Nous avons aussi estimé les taux d'humidité moyens de l'aubier et du faux cœur reconnaissables par leur différence de couleur (figure II.5).

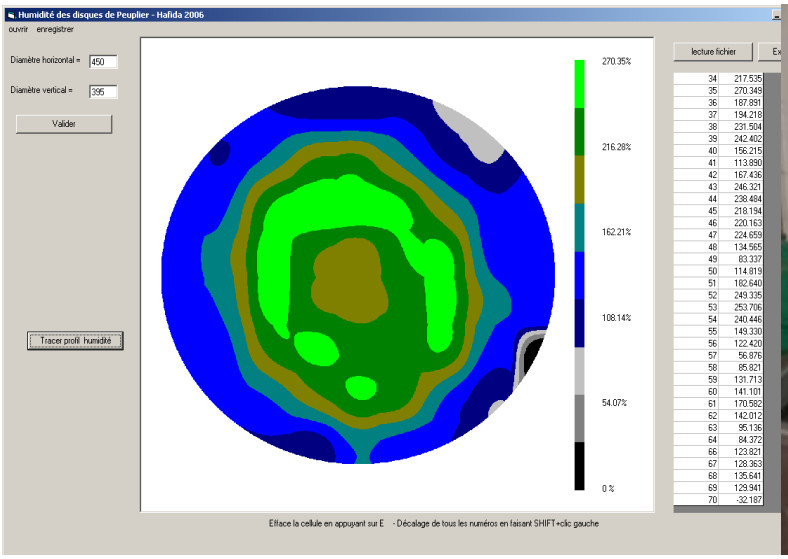


Figure II.8- Exemple de cartographie d'humidité établie sur un disque.

Figure II.9 -"Bouillottage" à 20°C des billons.

3. Déroulage semi-industriel

3.1. Bouillottage

Habituellement le peuplier ne nécessite aucun traitement thermique avant le déroulage. Cependant parce que la campagne de déroulage s'est échelonnée sur plusieurs saisons, il convenait de pratiquer ces déroulages toutes choses égales par ailleurs. Ainsi, tous les billons ont été déroulés à 20° après une immersion dans la bouilloteuse réglée à cette température de 48h (figure II.9).

3.2. Caractéristiques de la dérouleuse utilisée

Les 80 billons de 60 cm ont été déroulés sur la dérouleuse instrumentée "*SEM Automation S500*" du LABOMAP et dotée d'un système d'acquisition permettant la mesure des efforts exercés sur l'outil et sur la barre de pression. Elle permet d'avoir un placage de 1 à 6 mm d'épaisseur, à partir de billons de 450 à 850 mm de longueur et de diamètre compris entre 180 et 500 mm. Comme toute autre dérouleuse industrielle, elle comporte (figure II.10) :

(1) Deux paires de broches d'entraînement des billons de type télescopique ayant respectivement un diamètre de 110 et de 70 mm.
(2) Un chariot porte couteau de course maximale 225 mm.
(3) Un couteau de 950 mm de long, maintenu par des vis à réglage manuel. L'angle de bec est de 20°.
(4) Une barre de pression angulaire, réglable manuellement, son support est lié au chariot porte couteau.

(5) Un rouleau anti-flambement, toujours disposé à 36° par rapport à l'axe vertical des broches.
(6) Un enrouleur de placage automatique et démontable.
(7) 4 Capteurs piézoélectriques à quartz permettant la saisie des efforts.

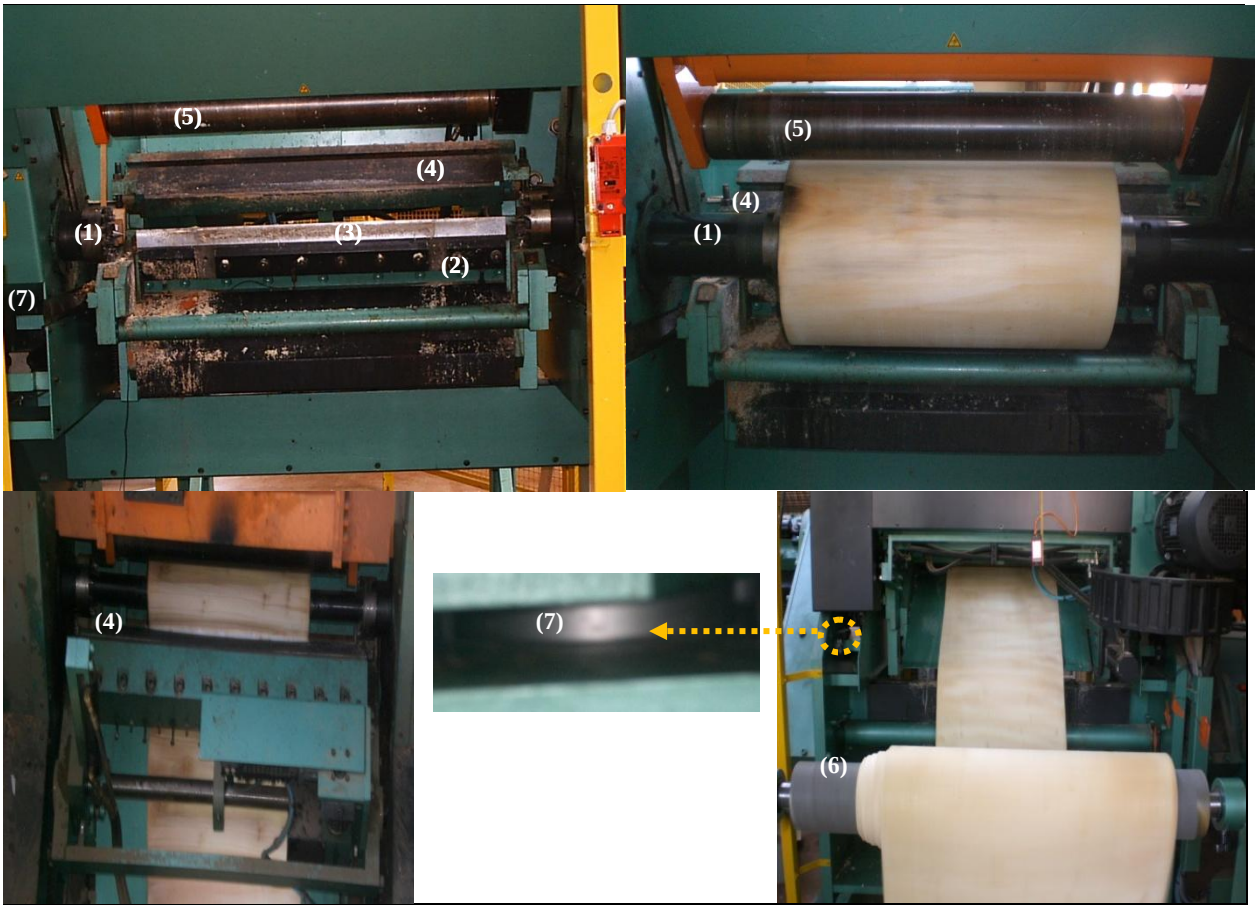


Figure II.10 - Dérouleuse utilisée "SEM Automation S500".

3.3.Paramètres de déroulage

Pour chaque paire cultivar - station, l'un des arbres a été déroulé en 1,4 mm et l'autre en 3 mm. Le choix de ces deux épaisseurs est basé sur le fait que d'une part le placage utilisé pour l'emballage léger est souvent de 1,4 mm et d'autre part le placage, utilisé pour la fabrication du LVL ou du contreplaqué est usuellement déroulé à 3 mm. Nous avons fixé par ailleurs les paramètres de coupe pour tous les cultivars en utilisant des réglages conventionnels. Ainsi, le déroulage s'est effectué à une vitesse de 1 m/s jusqu'à un diamètre résiduel de 10 cm. La barre de pression est réglée à un taux de compression de 10%. La côte verticale est de 1mm pour l'épaisseur 3 mm et de 0,6 pour 1,4 mm. L'angle de dépouille est ajusté à 0°. Le déroulage des 80 billons a été fait avec le même couteau sans aucun affutage en effet les industriels ne changent de couteau que toute les deux heures alors qu'ils déroulent 80 billons en 20 minutes à 1 heure.

3.4.Mesure des efforts

Les efforts sur l'outil et sur la barre sont mesurés par 4 capteurs piézoélectriques à quartz. Lorsqu'il est contraint chaque capteur fournit 3 signaux sous forme d'un courant électrique sur les axes d'un repère orthonormé X, Y et Z. Le signal est ensuite amplifié puis numérisé. Ainsi lors d'un essai, les efforts X_c, Y_c, X_b, Y_b sont continuellement enregistrés en temps réel.

L'acquisition se fait via un programme réalisé sous LabView. Ce dernier enregistre les données sous forme de tableau (enregistrement en fichier.txt) et permet de visualiser les profils des efforts mesurés (figure II.11). Le programme nous permet aussi de calculer la moyenne et l'écart-type sur une portion de courbe de variation de l'effort en fonction du temps. Les efforts sont exprimés en daN/ m d'arête après avoir renseigné la longueur exacte du billon. On obtient ainsi les deux composantes orthogonales de l'outil de coupe (X_c et Y_c) et de la barre de pression (X_b et Y_b).

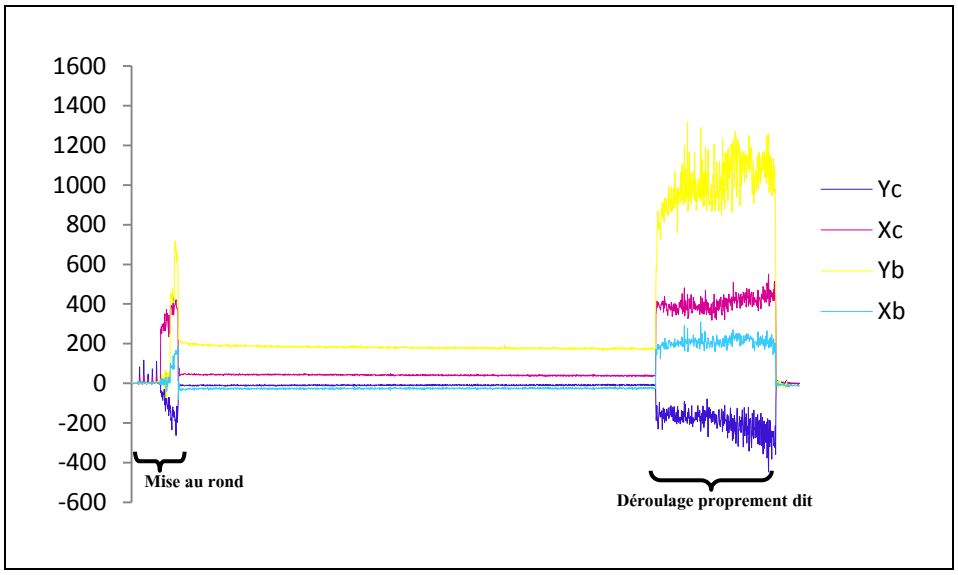


Figure II.11- Courbe de variation des efforts enregistrés.

3.5.Caractérisation industrielle des placages

L'évaluation objective de la qualité du placage n'a jamais été aisée. C'est pourtant une étape clé pour évaluer la qualité du déroulage. Cette complexité est due à la difficulté de définir des critères qualitatifs, puisqu'ils dépendent de l'utilisation à laquelle le placage est voué. La notion de la qualité du placage ne faisant l'objet d'aucune norme, la tâche n'en est pas facilitée.

De différentes recherches menées à ce sujet (Lutz, 1976 ; Marchal, 1983 ; Movassaghi, 1985 ; Mothe, 1990), fait ressortir un certain nombre de critères suivants: l'homogénéité de l'épaisseur, la planéité, l'état de surface, la fissuration mais aussi la couleur et la nodosité. Dans le cas du peuplier, ces deux derniers critères sont relativement bien contrôlés tout au long de la croissance de l'arbre.

En effet, aujourd'hui la populiculture étant orientée de façon privilégiée vers le déroulage, les traitements sylvicoles se font de façon à réduire la nodosité (élagage) et à avoir une grande proportion d'aubier qui est naturellement clair (rotation courte).

Si l'on fait abstraction de la couleur et de la nodosité et si l'on songe aux exigences des débouchés majeurs du placage du peuplier (emballage léger et contreplaqué), on retient les paramètres suivants : la tendance au tuilage, l'aspect pelucheux, l'irrégularité d'épaisseur, la rugosité et la fissuration.

Afin de quantifier au mieux les effets du déroulage sur la qualité des placages sans faire intervenir les déformations au séchage, nous avons fait une caractérisation globale sur placage vert, comme c'est l'usage en entreprise pour un premier tri qualitatif en utilisant des méthodes simples et reproduisibles.

3.5.1. Tendance au tuilage

La tendance au tuilage se reconnaît par des ondulations et des gondolements apparaissant sur le placage juste après déroulage. Lorsqu'elle est très prononcée, elle se traduit avant séchage par des phénomènes d'auto-enroulement du placage en fin de déroulage rendant l'opération de massicottage difficile. Le tuilage peut aussi aggraver des problèmes de planéité sur placage sec en se superposant aux déformations du au retrait.

Pendant le collage et le pressage, les déformations peuvent générer des fissurations longitudinales du fait de la mise à plat. Elles peuvent aussi nuire à l'application homogène de colle et provoquer des fentes et des percés de colles. Pour évaluer la gravité du phénomène, nous avons mesuré l'amplitude moyenne et la fréquence du tuilage sur les 10 derniers mètres du placage posé libre par terre. La fréquence correspond au nombre d'ondulations observées par mètre.

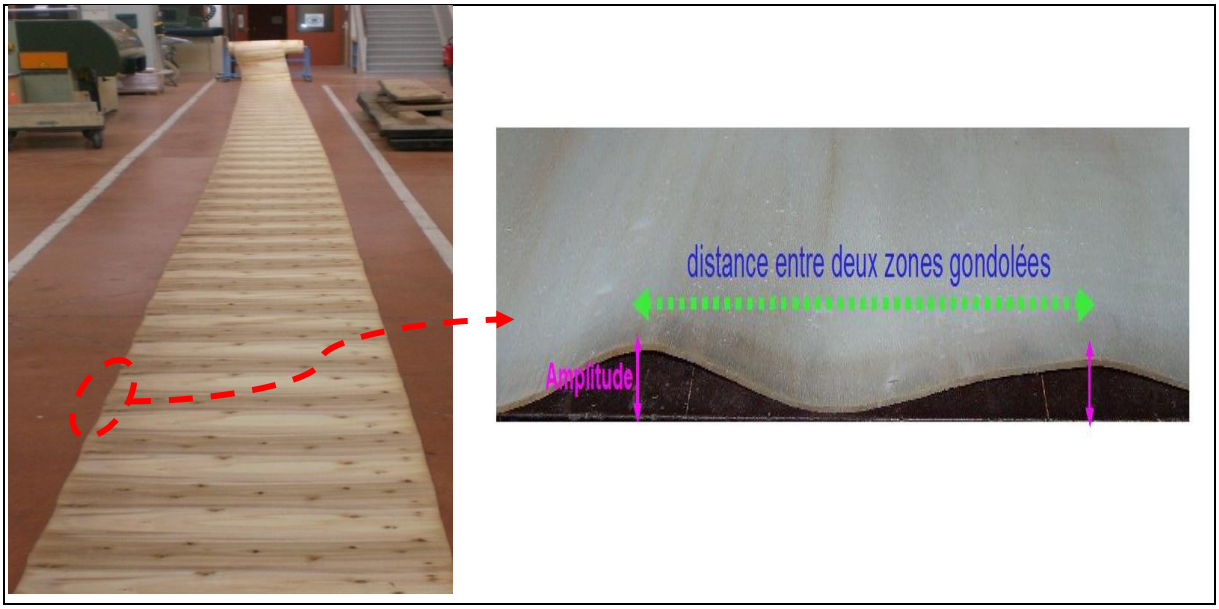


Figure II.12-Mesure du tuilage.

Après évaluation du tuilage, la totalité des rubans de placages sont ensuite massicotés manuellement en feuilles de 50 cm de largeur, ce qui nous a permis de purger les gros nœuds sans trop perdre de matière.

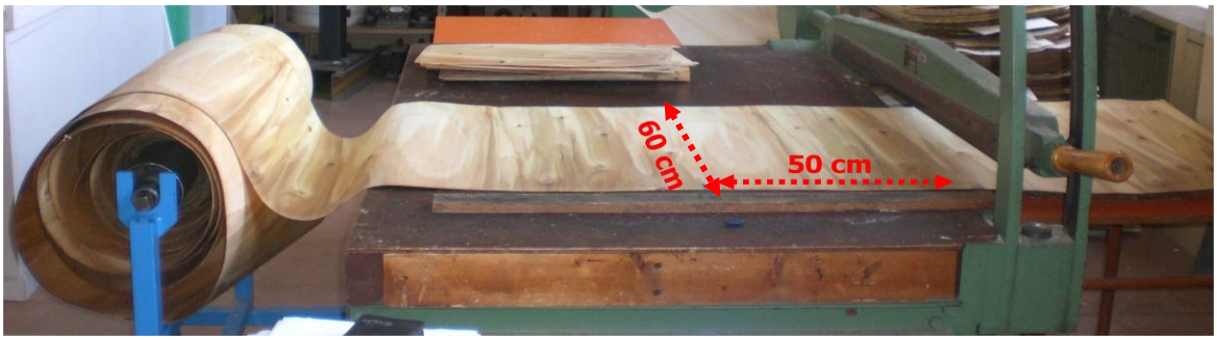


Figure II.13-Massicotage.

3.5.2. Aspect pelucheux

Afin d'apprécier ce défaut, nous avons effectué un tri visuel à l'œil nu en passant en revue l'ensemble des feuilles massicotées, suivant leurs aspects pelucheux (figure II.14) ou non pelucheux (figure II.15). Ainsi nous avons obtenu une estimation du pourcentage de placage pelucheux pour chaque billon déroulé. Cette méthode sujette à la subjectivité de l'opérateur ne donne pas de mesure à proprement parler, mais permet de faire une comparaison relative entre les différents billons déroulés. Elle surestime la part de la peluche car tout placage en comportant, quel que soit la proportion, est classé comme pelucheux.

Figure II.14 - Placage pelucheux.

Figure II.15 - Placage non pelucheux.

3.5.3. Irrégularité d'épaisseur

Quelque soit l'épaisseur nominale du placage, celui-ci présente toujours une irrégularité d'épaisseur plus au moins importante. Rappelons que les grandes variations entrainent une consommation excessive de colle, diminuent la résistance des joints de colle et nécessite la mise en œuvre d'une pression accrue pendant le pressage. Cette hétérogénéité pourrait imposer aussi une post opération de ponçage qui engendre une perte de matière non négligeable.

Figure II.16: Micromètre utilisé.

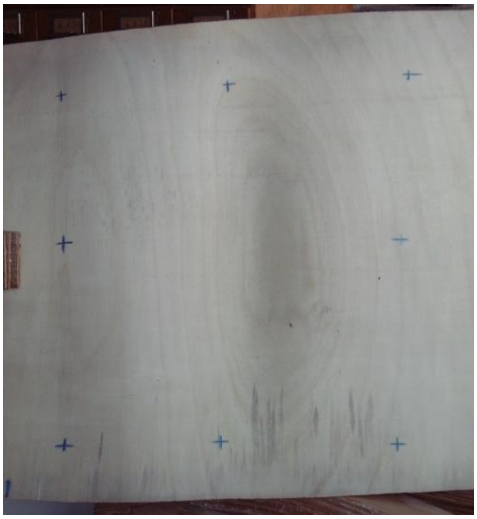


Figure II.17 : Emplacement des 8 mesures effectuées pour chaque feuille de placage.

Ce défaut a également l'inconvénient de rendre difficile la fabrication de contreplaqué à épaisseur spécifiée. Pour quantifier le taux de variation de l'épaisseur, nous avons mesuré l'épaisseur de chaque placage en 8 points différents (figure II.17) en utilisant un micromètre digital ayant une précision de 10^{-2} mm. Cette mesure a été effectué seulement sur les placages échantillonnés pour la fabrication des panneaux de contreplaqué et de LVL soit 28 placages par billon déroulé.

3.5.4. Rugosité et fissuration

Un placage très rugueux est généralement indésirable pour tout usage. La rugosité excessive peut affaiblir la résistance des joints de colle et entraîne une surconsommation de colle. Elle peut aussi exiger une opération de ponçage de finition des panneaux. Pour avoir une approximation de la valeur moyenne de l'état de surface, nous avons effectué des mesures répétées en 4 points sur les deux faces de chaque placage (face ouverte et face fermée) à raison de 15 feuilles de placage par billon déroulé. La différence de rugosité entre la face fermée et la face ouverte d'un même point permet d'estimer un indice de fissuration du placage.

Pour ceci nous avons utilisé un micromètre pneumatique (figure II.19) appelé aussi "fuitomètre" ou "rugosimètre pneumatique". Un flux d'air de pression connue et appliqué sur la surface à caractériser à travers une buse de géométrie précise. Ainsi, la fuite d'air s'accentue avec le taux d'irrégularité de la surface testée, plus l'état de surface présente des aspérités plus la fuite d'air sera importante. Le principe de l'appareil est représenté schématiquement sur la figure II.18.

A partir d'une source d'air comprimée P, on applique une pression de 1,10 bar à l'entrée du tube T. Celui ci communique avec le réservoir d'eau R et avec la buse S. lorsque la pression est la même au niveau de R et de S, l'eau contenue dans la colonne manométrique C se stabilise à

une hauteur h exprimée en mm. Cependant dès qu'il ya une fuite d'air au niveau de S, la pression en ce point diminue et donc et le niveau de l'eau monte.

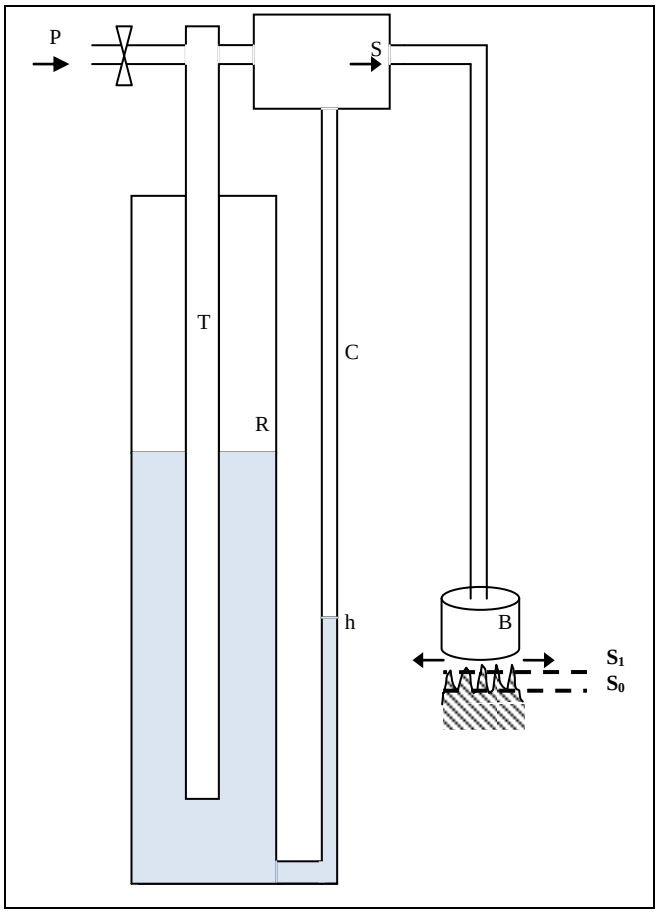


Figure II.18 - Schéma explicatif du principe de fonctionnement du micromètre pneumatique.

Figure II.19- Micromètre pneumatique.

La buse de sortie S (figure II.20) débouche à l'intérieur d'une couronne circulaire plane B. Lorsque cette dernière repose sur une surface plane et lisse, le niveau de l'eau h reste stable, en revanche toute imperfection de la surface augmente la section de passage de l'air, d'autant plus que le vide entre le sommet des crêtes S_0 et le fond des creux S_1 sera plus important. Pour mieux visualiser la proportionnalité entre les variations du niveau d'eau h et l'état de surface, nous avons effectué des mesures sur des papiers de verre ayant des grains différents et avons obtenu une courbe étalon (figure II.21) qui nous a servi de référence. En général les mesures s'échelonnent entre une valeur de 40mm d'eau (valeur buse libre correspondant au pire état de surface) et 420 mm d'eau (valeur sur surface lisse en marbre). Ainsi, par la suite plus la valeur du niveau d'eau sera forte et meilleure sera l'état de surface.

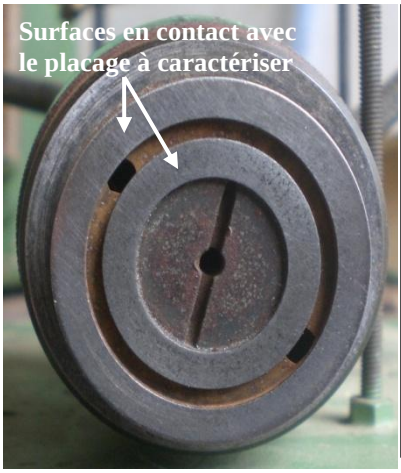


Figure II.20 - Buse du rugosimètre pneumatique

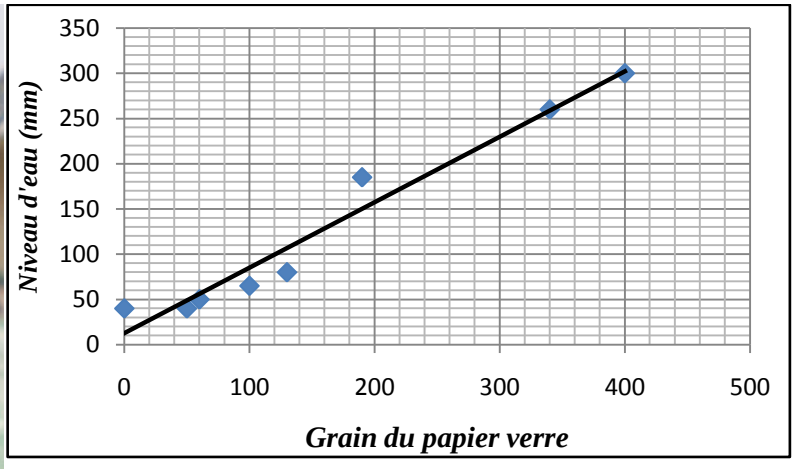


Figure II.21 - Courbe étalon du rugosimètre pneumatique utilisé.

4. Déroulage industriel

Dans le but de comparer les résultats obtenus en laboratoire, aux appréciations des praticiens industriels, nous avons déroulé 40 billons de 1 m, représentants les 10 cultivars dans les 4 stations étudiées (1 billon par site et par cultivar), dans l'une des unités du groupe LACROIX située à Cousance (39). À travers cette comparaison nous espérions avancer sur une définition industrielle objective des qualités de placage et ajouter une donnée supplémentaire d'appréciation de la qualité.

4.1. Présentation de l'entreprise

Depuis 1953 le groupe LACROIX s'est spécialisé dans la fabrication des emballages agroalimentaires en bois, en carton et en plastique. Dans le but d'augmenter les capacités de production le groupe crée une nouvelle usine de déroulage à Cousance (Jura) en 2004. Cette usine intègre toutes les étapes de la fabrication du déroulage à l'assemblage de boîtes, de barquettes ou de plaquettes. Ils sont à base de placages et/ou contreplaqué.

Figure II.22- Produits de l'usine de déroulage LACROIX.

4.2.Procédé de fabrication

Le dénominateur commun de tous ces produits est le peuplier. L'usine ne déroule que le cultivar I-214 issus des plantations françaises. Le procédé de fabrication des emballages en bois passe par 5 étapes principales :

- Préparation des billons : les grumes sont d'abord écorcées puis tronçonnées en billons généralement d'1 m. En période de gel, les billons sont soumis à un étuvage dont la température peut varier entre 40 et 60°C, ceci pour rendre le bois apte au déroulage car décongelé.
- Déroulage et fabrication du contreplaqué : l'usine dispose de deux lignes de déroulage RAUTE de dernière génération. Chaque ligne comporte une gamme de machines permettant l'automatisation et le contrôle du système de production à partir du déroulage jusqu'à la fabrication du Contreplaqué, en passant par le massicotage, le tri par qualité des placages et le séchage.
- Découpe et chantournage : les placages et les contreplaqués sont découpés selon la taille et la forme du produit final. La technique de coupe varie selon la forme de l'emballage. Le chantournage est souvent utilisé pour les formes circulaires.
- Impression et pyrogravure : la réussite de cette étape dépend de la couleur et de l'état de surface du placage. Un placage blanc non pelucheux garantit d'avoir un meilleur produit.
- Montage : il peut se faire par agrafage, par collage ou par thermoformage.

Figure II.23- Ligne de déroulage.

Figure II.24- Cabine de commande et de contrôle de la ligne de déroulage utilisée.

4.3.Classement et contrôle de qualité

Acquis au fil du temps, le savoir-faire de l'équipe déroulage de Lacroix repose sur un contrôle qualité effectué à tous les stades de la fabrication. Le contrôle commence par une sélection rigoureuse des grumes, basée sur les critères suivants :

- Sinuosité;
- Présence de fentes ;
- Présence de nœuds;
- Excentricité de la moelle ;
- Coloration ;
- Proportion du faux cœur.

Pour le choix des cultivars l'entreprise a fait le choix de ne dérouler que le I-214. Le gérant de l'usine affirme que ce choix répond majoritairement aux exigences de la production car il offre des placages souples blancs et peu pelucheux. Le gérant ajoute que le prix d'achat et la proximité des plantations participent à ce choix.

Un premier classement des placages se fait directement après massicotage. Les placages sont répartis en quatre classes selon leurs couleurs, leurs aspects pelucheux et leurs nodosités. Les quatre classes sont définies comme suit (du meilleur au moins bon) :

Classe I : désignée par "Targe", elle est accordée aux placages sans défauts destinés à former par cintrage le bouclier des boites.
Classe II : appelée "Contreplaqué Premier Choix", elle correspond aux placages qui constitueront les faces des contreplaqués. Ces placages doivent être de teinte blanche avec tolérance de légères colorations et des petits nœuds adhérents.
Classe III : nommée "Contreplaqué Bonne", elle regroupe tous les placages qui peuvent présenter des défauts de coloration de peluche de nodosité, mais sans nœuds non adhérents.
Classe IV : dite "Contreplaqué Mauvaise", représentée par les placages dont tous les défauts, cités précédemment, sont tolérés.

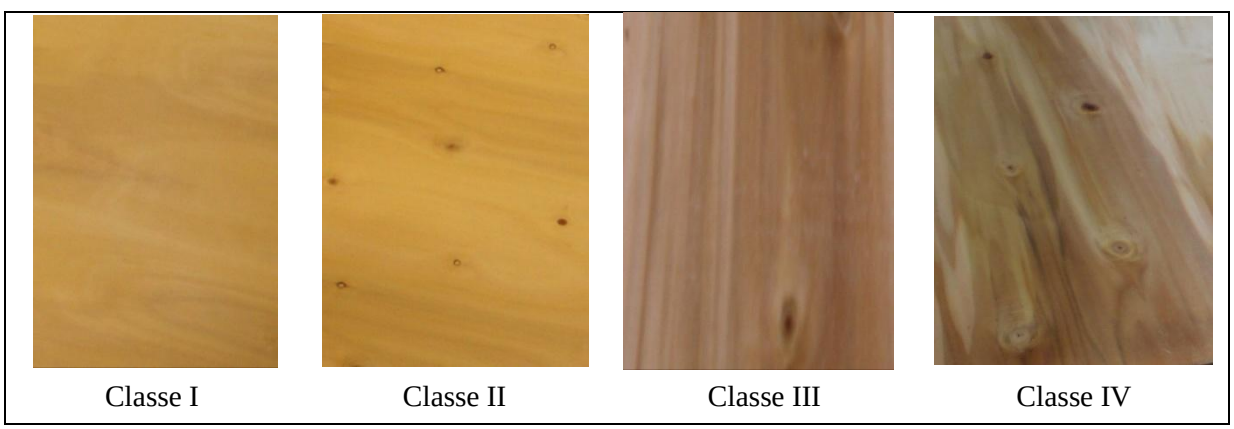


Figure II.25 - Classement LACROIX.

Un second tri se fait pour les targes après découpage. Il élimine toute pièce légèrement colorée ou fendue et présentant des défauts dimensionnels. Les placages réservés pour la fabrication des contreplaqués subissent aussi un autre contrôle, à la sortie du séchoir, qui déclasse les placages excessivement déformés ou fendus. L'ensemble de ces contrôles se font par le personnel à l'œil nu en faisant appel à leur expérience et à des indices intuitifs, surtout pour le dérouleur qui, à force de dérouler, a acquis un sens appelé "patte" d'après la tradition de l'entreprise.

Le choix de cette usine pour mener nos tests s'est fait compte tenue de la haute exigence de qualité et la bonne technicité tant des opérations que du parc machine de cette entreprise.

4.4. Déroulage

Figure II.26 - Etat des billons après un long trempage dans l'eau.

Figure II.27- Placage à Coloration brunâtre.

Le déroulage des 40 billons a été fait dans les conditions usuelles de l'usine, sur une seule dérouleuse contrôlée par le même opérateur. Les billons ont été déroulés en 0,8 mm, à une vitesse de 115 m/min jusqu'à un diamètre résiduel de 80 mm. La barre de pression est de type angulaire réglée à un taux de compression de 10%. L'angle de dépouille est ajusté à -1,5°. Habituellement la lame est changée toute les 2 heures, et subit un morfilage de son arête afin de favoriser un état de surface de haut niveau, requis par l'application très exigente.

Pendant le déroulage nous notions l'appréciation globale du dérouleur pour chaque billon, du point de vue, nodosité, peluche et couleur. Le placage issu de chaque billon a été massicoté en feuilles de 1200 mm de largeur, puis trié suivant les classes I, III et IV. La classe II étant inexistante ici du fait des problèmes de coloration de nos bois. Ainsi pour le classement en trois catégories nous avons demandé au dérouleur de tolérer la légère coloration brunâtre qui caractérisait nos billons après le stockage de plusieurs mois dans l'eau (figure II.26).

Figure II.28 - Classement et empilement des placages.

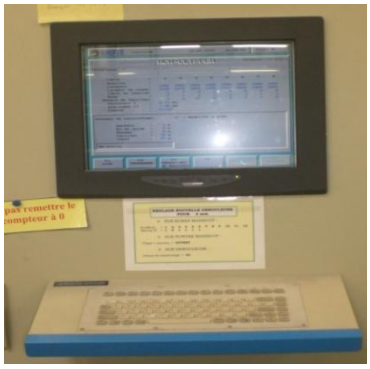


Figure II.29- Poste de comptage.

Au fur et à mesure que les feuilles de placages s'empilaient un compteur automatique permet de comptabiliser, pour chaque billon, le nombre de placages obtenus par classe. Ce comptage permet d'estimer les rendements de tout billon déroulé. Trois types de rendement ont été calculés pour chaque billon :

- Le rendement total : il est égal à la section de l'ensemble des placages classés rapportée à la section du billon d'origine.
- Le rendement sans noyau : c'est la section de l'ensemble des placages classés rapportée à la section du billon sans noyau.
- Le pourcentage qualité : correspond au pourcentage de placages par classe de qualité.

5. Caractérisation mécanique des panneaux LVL et contreplaqués

5.1. Fabrication des panneaux

5.1.1. Sélection des placages

Nous avons échantillonné des placages à un pas constant afin d'avoir dans chaque panneau les mêmes proportions de placages issus de toutes les positions radiales pour éviter un éventuel biais bois juvénile/bois adulte.

5.1.2. Séchage

Après évaluation de la qualité du placage, les feuilles de placage de différentes épaisseurs ont été disposées dans des claies (figure II.30) exposées à une ventilation permanente. Après séchage les placages ont été stockés dans des conditions semblables à celles où se déroule le collage, de façon à ce qu'ils atteignent une humidité d'équilibre entre 10% et 12%. Les placages ont été ensuite triés afin d'éliminer tout placage considérablement fendu ou déformé.

5.1.3. Choix des colles

Après une étroite concertation avec des industriels (KLEIBERIT, ICABOIS) nous avons opté pour l'utilisation de deux colles industrielles, l'une usuelle en industrie, une vinylique (PVAC) ; l'autre en forte progression dans l'industrie du contreplaqué pour son impact réduit sur l'environnement, une Mélamine Urée Formol (MUF). Ces deux colles nous ont été respectivement fournies gracieusement par les deux sociétés.

La colle vinylique utilisée est commercialisée sous le nom "Supracolle" 303.8 est monocomposante sous forme d'émulsion dans l'eau prête à l'emploi à qualité de collage D3[7]. Elle convient au collage à chaud et à froid. Sa masse volumique est de 1,1g/cm^3. Le grammage varie entre 80 et 200g/m^2 suivant la méthode d'application. Le temps ouvert est de 5 à 6 minutes. La température d'application la plus favorable se situe entre 18 et 20°C.

La MUF (prefere 4535) est utilisée en combinaison avec un durcisseur (prefere 5035). C'est donc une colle bicomposante à usage professionnel ; sa qualité de collage est D3. Elle est très utilisée pour l'industrie du contreplaqué et du lamellé collé. La masse volumique de la résine est de 1,24 g/cm^3, celle du durcisseur est 1,3 g/cm^3. Le mélange résine durcisseur se fait manuellement ou mécaniquement à raison de 25 g de durcisseur pour 100 g de résine. Le grammage est de 300g/m^2, le temps ouvert varie entre 10 à 15 minutes. Elle peut être collée à chaud ou à froid.

[7]Convient à un environnement intérieur avec contact fréquent et bref avec de l'eau de condensation et/ou humidité relative de l'air élevée pendant de longues durées. Extérieur protégé des intempéries.

5.1.4. Encollage

*Figure II.30 - Clai**e** de séchage**.***

Figure II.31- Encolleuse à rouleaux.

Figure II.32- Presse.

Pour chaque épaisseur de placage (1,4 mm et 3 mm), 80 panneaux LVL et 80 panneaux contreplaqués ont été fabriqués en utilisant les deux types de colle, soit 8 paires de panneaux pour chaque couple cultivar/station (2 épaisseurs de placage x 2 types de panneaux x 2 types de colles). Au total 320 panneaux de 500 x 500 x 21 mm^3 ont été fabriqués. Les panneaux ont été constitués de telle sorte que les proportions aubier faux-cœur soient équilibrées et identiques pour tous les panneaux.

Tableau II.4 - les 8 types de panneau réalisés pour chaque site.

Pour un cultivar et une station donnée	**Epaisseur du placage**	**Nombre de plis**	**Colle**	**Type de panneau**	**Nombre de panneau**	**8 x 10 cultivars x 4 stations = 320**
Billon 1	1,4 mm	15	PVAC	Contreplaqué	1	
				LVL	1	
			MUF	Contreplaqué	1	
				LVL	1	
Billon 2	3 mm	7	PVAC	Contreplaqué	1	
				LVL	1	
			MUF	Contreplaqué	1	
				LVL	1	

Pour définir les conditions de collage, nous nous sommes référés aux fiches techniques des deux colles (annexe I) et aux recommandations des fournisseurs. Le tableau II.5 résume les conditions d'encollage que nous avons choisi pour les deux adhésifs utilisés :

Tableau II.5 - Conditions de collage.

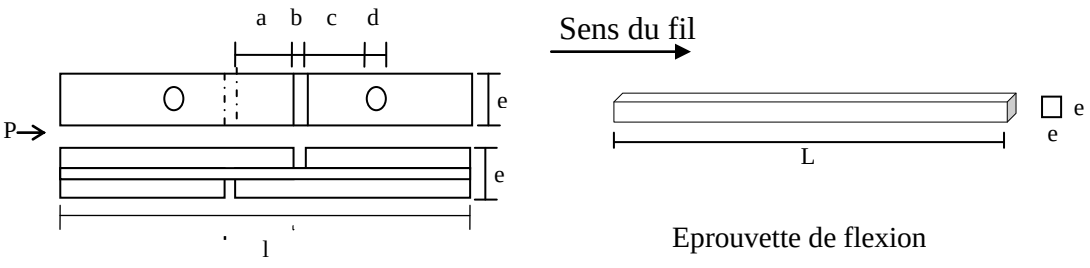
	PVAC	**MUF**
Humidité des placages	10 à 12%	
Température ambiante	18 à 20°C	
Hygrométrie	60 à 65%	
Grammage	100 g/m^2 simple face	300 g/m^2 simple face
Moyen d'application	Encolleuse à rouleaux	Manuellement à rouleau
Temps ouvert	5 à 6 min	10 à 15 min
Presse utilisée	Presse à plateaux chauffants	
Température de serrage	20°C	80°C
Pression de serrage	1MPa	1MPa
Temps de serrage	1h	10 min

5.2.Préparation des éprouvettes

Chaque panneau a été découpé en éprouvettes standardisées, parallèlement au sens du fil des faces à raison de 12 éprouvettes pour les essais de caractérisation non destructive et de flexion statique, et 8 éprouvettes pour les essais de cisaillement. Soit au total 3840 éprouvettes (12 x 320) destinées aux essais de caractérisation non destructive (méthode d'analyse modale BING) et de la flexion statique et 2560 éprouvettes (8 x 320) pour les tests de la qualité de collage. Les dimensions des éprouvettes dédiées aux essais de flexion ont été définies selon la norme NF EN 789. Ces éprouvettes présentent une longueur de 400 mm et une section de 21 mm x 21 mm.

Les éprouvettes destinées aux essais de cisaillement ont été préparées suivant les normes NF EN 14279 et NF EN 314-1. Elles ont une section carrée de 21 mm de côté et une longueur de 200 mm. Sur chaque face de l'éprouvette ont été fait 2 traits de scie transversaux et opposés de 2,5 mm de largeur (figure II.34). Ces traits d'une profondeur de 10 mm, traversent les plans de collage à tester et atteignent le pli entre les deux plans de collage à tester. La distance séparant les deux traits est de 25 mm. Afin d'assurer la fixation des éprouvettes sur les traverses de la machine d'essais, celles ci ont été percées de deux trous de 8mm de diamètre.

Figure II.33- Panneau et éprouvettes.



l: 200 mm, a: 25 mm, b: 3 mm, c: 25 mm, d: 8 mm, e: 21 mm, L: 400 mm, P: pli central

Figure II.34 - Dimensions des éprouvettes de contreplaqué et de LVL.

5.3.Flexion dynamique par la méthode vibratoire BING

Les industriels des panneaux contreplaqués et LVL sont directement confrontés aux problèmes du contrôle de la qualité. Les technologies de contrôle non destructif sont une des réponses à cette problématique. Elles contribuent à une meilleure maîtrise de la caractérisation et de la commercialisation des produits à base de bois. Afin d'apprécier la qualité de la prédiction du module d'élasticité nous avons testé dans un premier temps les éprouvettes de flexion par la méthode vibratoire BING ; Il s'agit d'un dispositif entièrement automatisé conçu par le CIRAD- Forêt suite aux travaux de Bordonné (1989).

La méthode permet d'obtenir les modules d'élasticité en flexion et en compression, elle peut aussi constituer un moyen pour détecter les anomalies dans la pièce testée comme les défauts

de collage. Elle présente aussi l'avantage de la rapidité d'exécution. Elle repose sur la mesure, puis l'interprétation des fréquences propres issues des vibrations naturelles d'une pièce de bois soumise à une sollicitation impulsionelle. Cette sollicitation est appliquée soit en flexion, c.à.d. perpendiculaire à l'axe de l'éprouvette, soit en compression par une percussion dans le sens longitudinal.

L'interprétation du spectre des fréquences propres est basée sur le fait que le rapport du module d'élasticité à la masse volumique (module spécifique) d'un matériau est proportionnel à la vitesse de propagation du signal dans ce matériau. Cette interprétation se fait selon les modèles développés par Bernoulli et/ou Timoshenko. Ces deux modèles proposent chacun une équation du mouvement permettant le calcul du module d'élasticité.

Timoshenko propose une équation du mouvement qui prend en compte le moment fléchissant, l'effort tranchant, le cisaillement et l'inertie de rotation. Le modèle de Bernoulli ne prend pas en compte ni le cisaillement, ni l'inertie de rotation. C'est une simplification du modèle de Timoshenko où l'on considère l'énergie de déformation due au cisaillement négligeable devant celle due à la flexion.

Le dispositif est composé de (figure II.35) :

(1). Deux supports élastiques assurant le maintien en équilibre de l'éprouvette ;
(2). Une balance ;
(3). Un pied à coulisse ;
(4). Un microphone ;
(5). Un boitier renfermant une carte d'acquisition (Pico Technology) ;
(6). Un micro ordinateur ;
(7). Un barreau de percussion ;
(8). Le logiciel BING.

Figure II. 35 - Dispositif utilisé.

La manipulation du BING peut être découpée en 3 étapes distinctes mais indissociables. Elle commence par une initialisation générale de l'appareillage et de l'échantillon suivi de l'acquisition et l'analyse du signal numérisé et se termine par le traitement mathématique et mécanique du signal.

Après paramétrage du boitier d'acquisition, l'éprouvette testée est d'abord pesée puis mesurée en longueur, largeur et en hauteur. L'éprouvette est ensuite positionnée sur les deux appuis élastiques en respectant l'orientation choisie de la sollicitation et de façon à ce que les appuis se situent à une distance de ¼ de longueur totale de l'éprouvette par rapport à chaque extrémité.

Après cela le microphone est placé dans le plan de vibration à 1 ou 2 cm de l'éprouvette, perpendiculairement à l'axe de celle ci pour une sollicitation en flexion ou dans l'alignement de l'éprouvette pour une sollicitation en compression. Sur l'extrémité libre de l'éprouvette on applique une percussion en veillant à ce que les vibrations soient le plus libre possible. L'onde sonore émise par l'extrémité de l'éprouvette est transformée en signal électrique par le microphone. Ce signal est ensuite amplifié et filtré par l'intermédiaire de la carte d'acquisition jouant le rôle d'un convertisseur analogique-numérique et qui fournit au micro-ordinateur le signal numérisé.

Après numérisation du signal, ce dernier est enregistré et transféré vers une mémoire utilisateur du micro-ordinateur. La composition spectrale de l'enregistrement est donnée par transformée de Fourrier rapide, la largeur spectrale dépend des paramètres d'acquisition fixés (nombre de point et durée d'acquisition). Les fréquences propres à prendre en compte sont définies par l'opérateur à travers l'interface graphique du logiciel (figure II.37).

Le traitement mathématique des fréquences sélectionnées est effectué logiciellement à partir des caractéristiques géométriques et de la masse de l'échantillon. Ce traitement permet de déterminer les modules d'élasticité par les modèles de Bernoulli et Timoshenko.

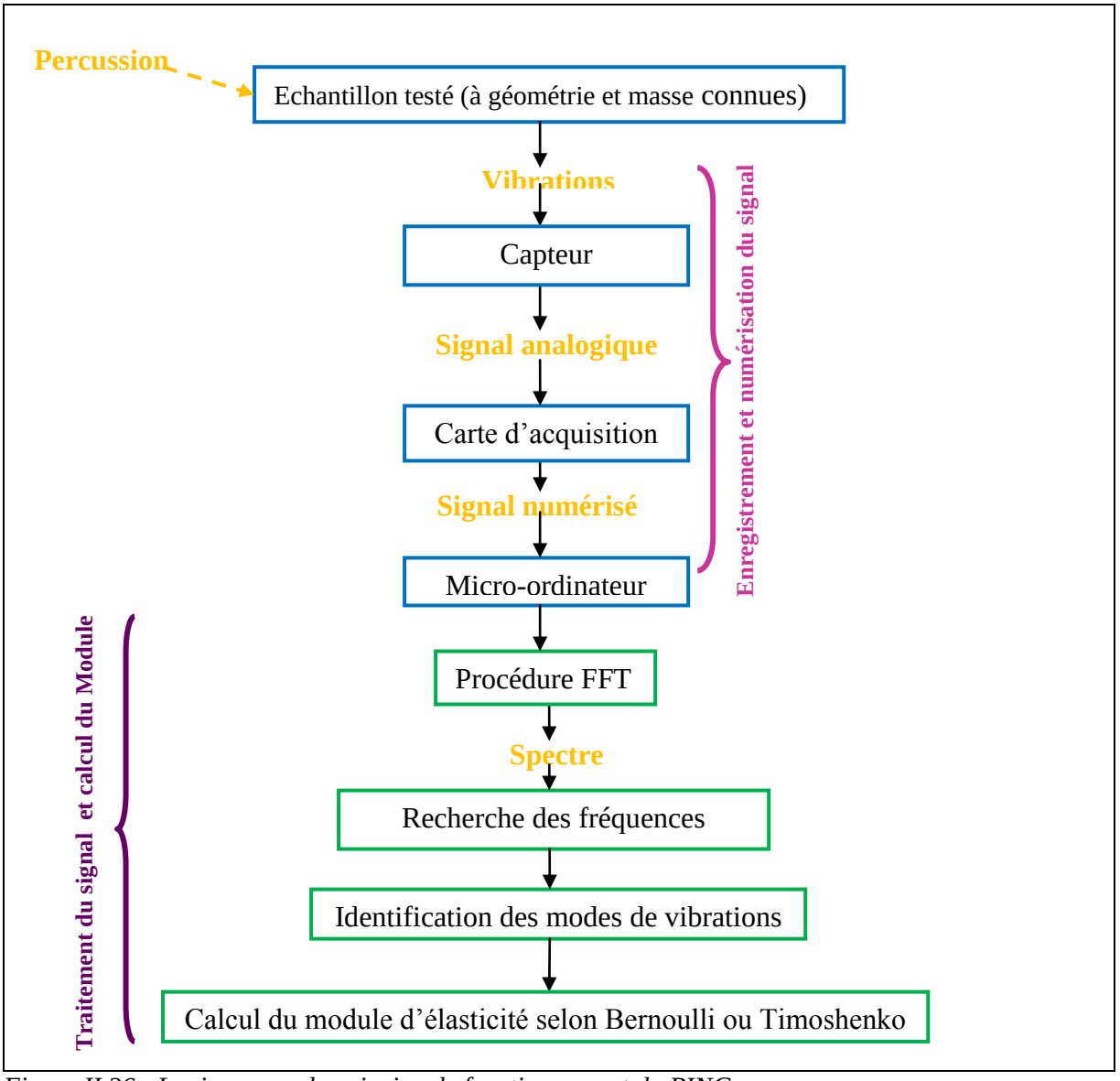


Figure II.36 - Logigramme du principe de fonctionnement du BING.

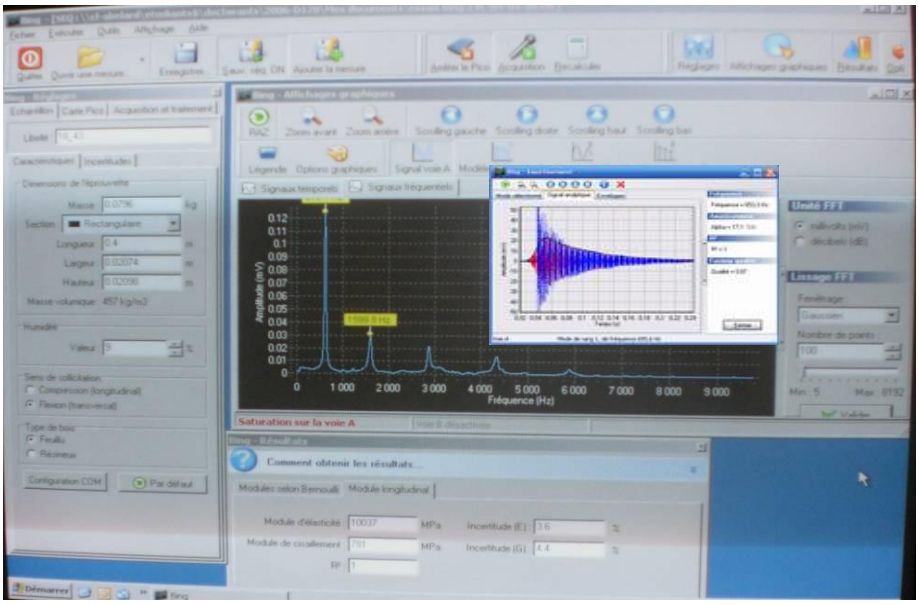


Figure II.37- Vue d'ensemble de l'interface graphique du BING.

C'est ainsi que les modules d'élasticité dynamiques des 3480 éprouvettes (12 éprouvettes par panneau) ont été obtenus à travers des percussions en flexion perpendiculaires aux joints de colle dans le cas des panneaux contreplaqué et parallèles aux joints de colle dans le cas des panneaux LVL. Ce choix est dû au fait que les LVL sont généralement mis en œuvre pour être sollicité sur chant (poutre) à l'inverse des contreplaqués qui sont souvent utilisés en revêtement et donc sollicités à plat. Le modèle de calcul retenu été celui de Timoshenko.

5.4. Flexion statique 4 points

L'essai de flexion est un test mécanique quasi statique. C'est un essai indépendant du temps (comme le choc, la dureté...). Il permet de caractériser des propriétés mécaniques du matériau étudié. Il est très facile à mettre en œuvre (absence de système de fixation d'éprouvette, géométrie simple de l'échantillon), et il reproduit assez bien les sollicitations courantes auxquelles sont soumis les matériaux testés.

L'essai de flexion détermine l'aptitude à la déformation et la résistance à la rupture d'un matériau posé sur deux appuis avec une application d'un effort. Il s'agit d'imposer à une éprouvette normalisée une déformation, à vitesse constante, et de mesurer la résistance à la flexion. Cet essai nous a permis de déterminer le module d'élasticité longitudinal et la contrainte à la rupture les 3840 éprouvettes précédemment utilisées pour la flexion dynamique.

Les essais de flexion statique ont été réalisés selon la norme EN 789, sur une machine INSTRON d'une capacité maximale de 10 T. Le banc d'essai est constitué d'une traverse mobile avec deux appuis cylindriques horizontaux de 30 mm de diamètre, la distance séparant

leurs axes est de 320 mm. Le banc contient aussi une rotule comportant deux cylindres horizontaux de 55 mm de diamètre et dont les axes sont distants de 160 mm. La charge de flexion est répartie symétriquement en deux charges égales équidistantes des appuis du banc de flexion.

1 : Traverse mobile

2 : Montage de flexion 4 points

3 : Commandes de mouvements de la traverse

4 : Tableau de réglages

5 : Micro-ordinateur

Figure II.38 - Machine utilisée pour la flexion statique INSTRON 1185.

Les dimensions de l'éprouvette ont été préalablement déterminées. L'éprouvette est placée librement sur les deux appuis cylindriques et orientée de manière à ce que l'effort appliqué soit perpendiculaire aux joints de colle (à plat) dans le cas du contreplaqué et parallèle aux joints (sur chant) dans le cas du LVL. La mise en place de l'éprouvette a été faite en appliquant des cycles successifs de charge et de décharge entre 50 et 200 N.

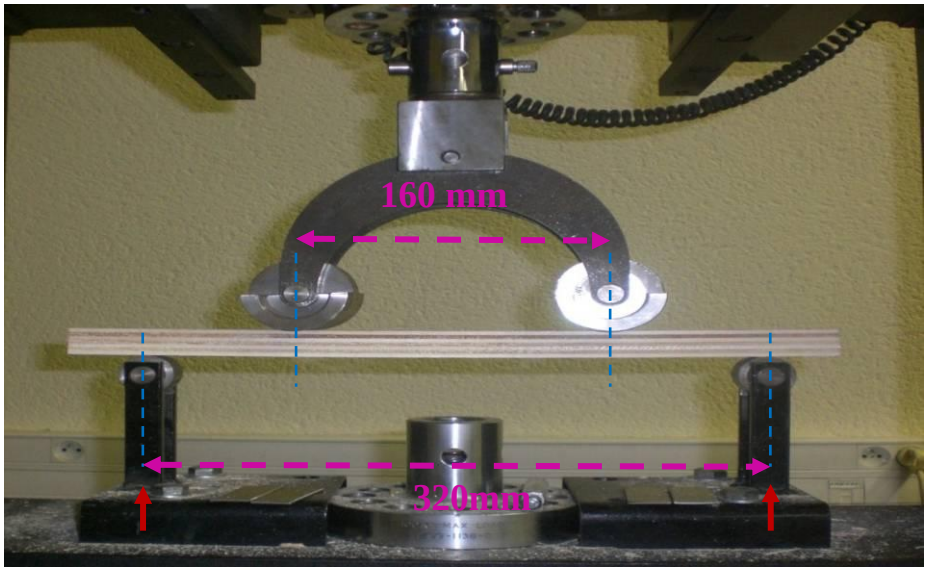


Figure II.39 - Dispositif expérimentale de la flexion 4 points.

Après "accommodation", nous appliquons une charge croissante sur gamme de 5000 N, à vitesse constante de 10 mm/min, jusqu'à rupture de l'éprouvette. L'enregistrement de la force

et de la flèche se fait numériquement grâce au logiciel de gestion de la machine qui permet d'avoir la courbe d'évolution de la force (N) en fonction du déplacement (mm). A partir des courbes, nous avons pu déduire le module d'élasticité longitudinale (MPa) et la contrainte à la rupture (MPa) de toute éprouvette testée.

5.5. Essais de cisaillement

Pour mesurer la résistance mécanique des collages, nous avons opté pour un test de cisaillement en traction, puisque c'est le mode le plus recommandé pour ce genre de mesure (Cognard, 2005). Le test consiste à solliciter en traction l'éprouvette dans l'axe du plan de collage, sous une vitesse de mise en charge donnée jusqu'à rupture.

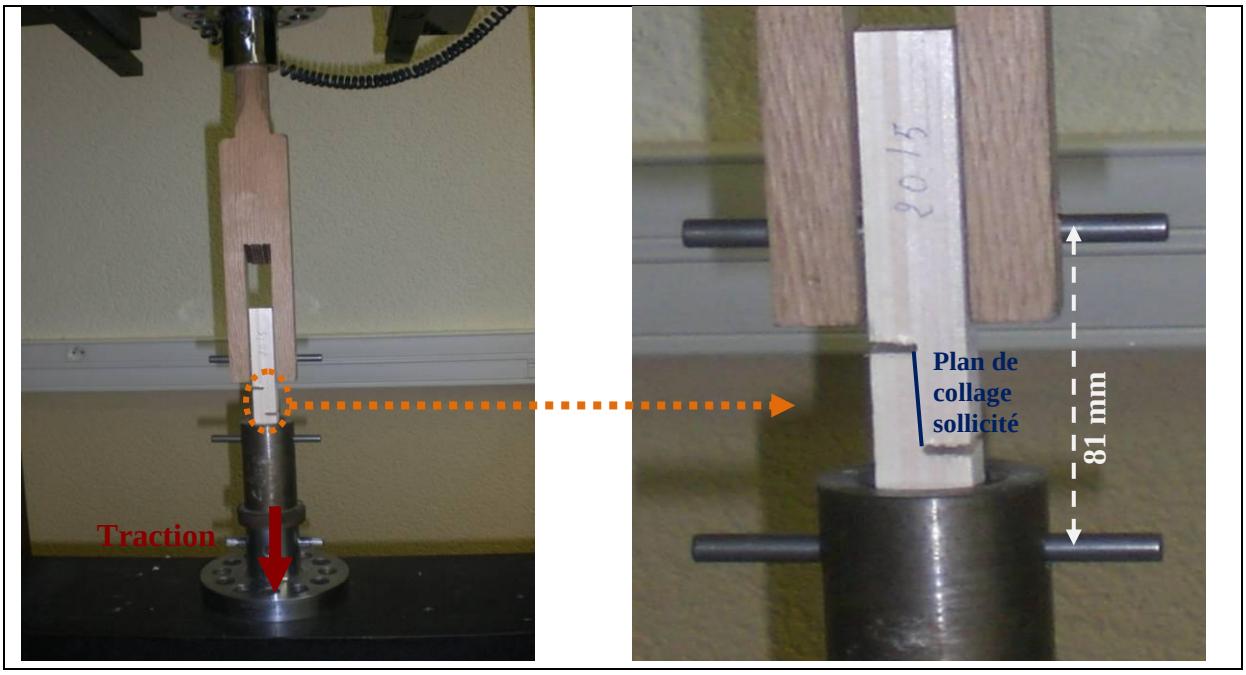


Figure II.40 - Dispositif du cisaillement.

Nos essais de cisaillement ont été faits sur la machine INSTRON 1185, en utilisant un dispositif permettant de transmettre la charge de la machine à l'éprouvette par l'intermédiaire des trous situés aux extrémités de l'éprouvette. Après mise en place de l'éprouvette on applique une charge en traction dans la gamme de 2000 N à vitesse constante de 5 mm/min. Après rupture on note contrainte de rupture (MPa).

6. Enquête industrielle

Quel que soit le cultivar déroulé, la diversité de qualités des placages reste très grande. Les exigences des professionnels sont encore plus diversifiées. C'est pourquoi les entreprises de déroulage ont recours à des classements en qualité très complexes, comprenant souvent plusieurs classes différentes.

Cependant, les critères de base de ces classements sont très difficiles à mettre à jour de manière objective, car ils sont souvent liés au marché, à une longue tradition de l'entreprise ou à un savoir-faire empirique et intuitif du personnel, qui éprouve de ce fait des difficultés à les exprimer. De nombreuses contradictions émergent lorsque l'on discute avec des dérouleurs. Il est évident que ces critères reposent sur des caractéristiques d'aspect au sens large, caractéristiques qui conditionnent d'ailleurs souvent la facilité de mise en œuvre des placages.

Afin de mieux saisir les critères qualitatifs des placages du peuplier et pour comprendre les exigences des professionnels en termes de qualité, ainsi que pour discerner leurs méthodes objectives et subjectives de classement des cultivars, une enquête a été menée en collaboration avec l'IDF et FCBA.

En effet nous avons participé à élaborer un questionnaire de 63 questions dont 28 questions concernent le déroulage (annexe II). Ces questions regroupent l'ensemble des notions abordées dans le cadre de notre étude. Le questionnaire a été envoyé par courrier à 125 industriels du secteur de l'emballage léger, du contreplaqué et du sciage.

Les 28 questions destinées aux professionnels du déroulage évoquent les critères de choix des cultivars, les paramètres et conditions du déroulage ainsi que l'évaluation de la qualité des placages. Les questions traitent pareillement la fabrication des panneaux et le contrôle de la qualité des panneaux.

7. Travaux complémentaires

Dans le cadre du projet global "Référentiel qualité du bois des cultivars de peuplier", l'institut FCBA a mené une série d'études de la qualité du bois sur le même matériel végétal que nous. Ces études complètent notre recherche et nous permettent d'aider à interpréter certains de nos résultats par des mises en corrélation de ces critères avec certains de nos critères concernant les placages et les panneaux. Ces études portent sur trois axes (Berthelot et al., 2009):

- L’évaluation de la qualité des grumes et des bois. Cette évaluation a été faite sur le terrain, juste après abattage. Puis à la station Nord-Est (Charrey sur Saône) sur les billons 3 et 5 (figure II.1).
- L’évaluation des caractéristiques mécaniques des sciages, elle a été faite sur les billons : 1, 4 et 6 (figure II.1). Elle s’est déroulée au Pôle Industries Bois Construction (FCBA Bordeaux).
- L’évaluation de la qualité de séchage des sciages. Elle a été menée par le Pôle Première Transformation Approvisionnement (FCBA Paris).

Dans ce qui suit nous ne décrivons que les essais dont les résultats ont servi pour interpréter les nôtres.

7.1.Evaluation de la qualité des grumes et des bois

7.1.1. Proportion du bois de tension

La présence de bois de tension est révélée sur la section d’un disque découpé dans chaque billon (billons 3 et 5), par l’application d’un réactif coloré spécifique. Les zones de bois de tension sont ensuite digitalisées et rapportées à la surface du disque. On obtient donc une indication sur la quantité (en %) de bois de réaction fabriqué à un niveau donné dans l’arbre.

7.1.2. Taux du faux cœur

Le faux cœur, ou cœur coloré, est un critère important en matière d’utilisation du bois, notamment en contreplaqué où l’industrie recherche des bois particulièrement blancs pour les faces des panneaux. Il s’agit d’un critère très lié à l’âge des tiges, mais le génotype intervient également pour une grande part. Il est reconnu également que le site (notamment les sites les plus humides) pourrait avoir une influence sur l’apparition de ce défaut. La surface du faux cœur est digitalisée (sur la même rondelle que celle utilisée pour le bois de tension) et ramenée à la surface du disque (en %).

7.1.3. Infradensité

L’infradensité est un paramètre fondamental de la connaissance du matériau bois. Elle correspond à la masse de « matière » ligneuse contenue dans un volume donné. Elle est corrélée à de nombreuses autres caractéristiques du bois, plus difficiles à mesurer, et notamment aux caractéristiques mécaniques. Pour certaines utilisations (déroulage) on recherchera des infradensités faibles pour une facilité de coupe, tandis que d’autres nécessiteront des infradensités plus élevées (sciage) pour de meilleurs performances mécaniques.

7.2.Evaluation des caractéristiques mécaniques des sciages

7.2.1. Essais de flexion 4 points

Ces essais ont été effectués sur des sciages ayant les dimensions 40 x 100 x 2000 mm^3. La masse volumique de chaque planche testée a été évaluée. Cet essai a été réalisé selon la norme EN 408, chaque planche a été chargée symétriquement en flexion en deux points sur une portée égale à 18 fois la hauteur. De plus l'éprouvette a été supportée sur deux appuis simples. Une force a été appliquée à une vitesse constante jusqu'à la rupture de la pièce. La flèche a été mesurée au centre de la rive de compression de l'éprouvette. Ainsi sont obtenus le module d'élasticité statique et la contrainte de rupture de chaque planche testée.

8. Outil d'analyse statistique

L'exploitation et le traitement des résultats expérimentaux ont été réalisés en utilisant le logiciel STATISTICA Version.8 qui nous a permis de faire une analyse de variance pour toutes les variables étudiées et d'évaluer les différentes corrélations possibles.

1. Déroulage semi industriel

1.1. Humidité des billons avant déroulage

1.1.1 Analyse des cartographies

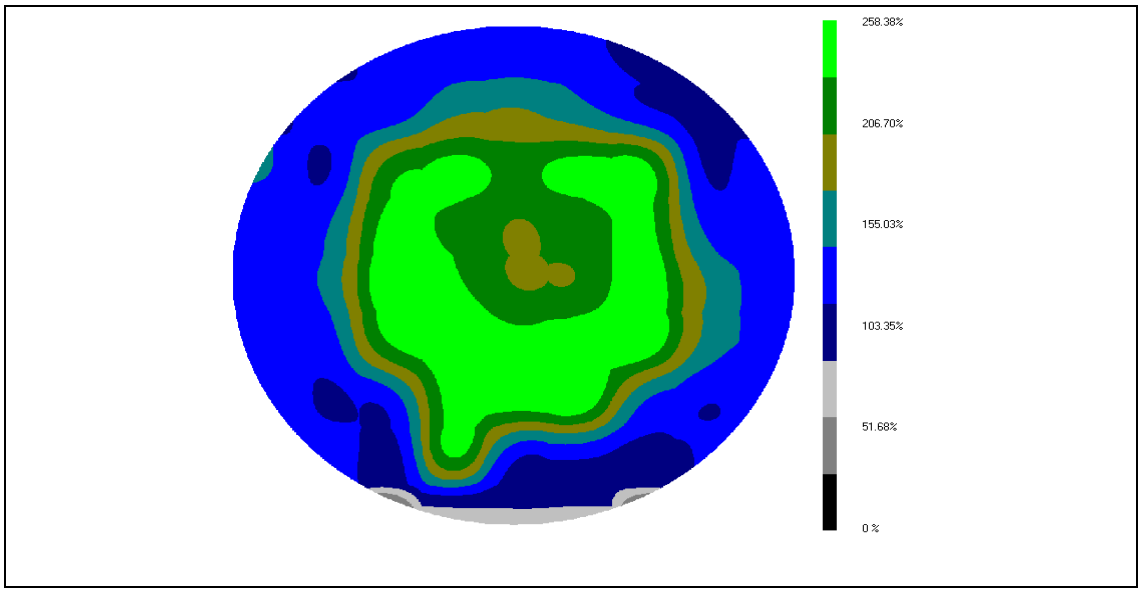


Figure III.1 - Cartographie d'humidité d'une rondelle de Raspalje.

Une première lecture des résultats obtenus indique un taux d'humidité moyen de 162% conforme au taux d'humidité constaté généralement chez les arbres après abattage et particulièrement chez le peuplier, comme l'ont signalé plusieurs auteurs : USDA (1987) ; Langbour (1989) ; Décés Petit (1996) et Mertens et al (2003).

Tableau III.1 - Effet du stockage sur la répartition du taux d'humidité

	%H dans le faux cœur	**%H dans l'aubier**
Les 42 billons stockés dans la chambre froide	201 (24)	132 (15)
Les 38 billons analysés juste après abattage	181 (30)	132 (22)

( ) écart-type

En comparant les teneurs en eau moyennes des billons stockés dans la chambre froide à celles des billons non stockés, on constate qu'il ne semble pas avoir d'effet du stockage en chambre froide entre les humidités des deux catégories de billons. Nous concluons que le stockage long en chambre froide n'a pas d'effet desséchant sur les billons.

L'ensemble des cartographies réalisées (annexe III) indique que pour toutes les rondelles analysées, la répartition de la teneur en eau n'est homogène ni dans l'aubier ni dans le faux-cœur, mais a tendance à être plus variable dans l'aubier. On note aussi que l'humidité diminue

au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre de la grume. Ce profil de variation est identique à celui mis en évidence, chez certains feuillus, par Stewart (1967) et s'oppose au profil constaté chez les conifères et chez la majorité des feuillus où l'aubier est plus humide que le duramen.

En première analyse ce profil de variation se répète pour tous les cultivars et dans les 4 stations. À travers les cartographies établies, il est difficile de déceler des différences importantes entre les cultivars d'une part et entre les stations d'autre part. Nous retenons que la teneur en eau a tendance à être maximale dans la zone du faux-cœur, elle est légèrement plus faible autour de la moelle et clairement plus faible en périphérie des grumes.

1.1.2. Variabilité de l'humidité

L'analyse de variance montre que la teneur en eau varie significativement selon la station, le cultivar et la position radiale, par contre l'effet arbre est non significatif. Elle indique aussi un effet significatif des interactions cultivar*position radiale et station*cultivar*position radiale. Toutefois nous constatons que le facteur dominant est la position radiale. En effet elle explique 60 % de la variance totale tandis que l'influence des autres effets considérés significatifs ne dépasse pas 8%.

Tableau III.2 - Résultats de l'analyse de variance du taux d'humidité

	SC	***Ddl***	***MC***	***F***	***P***	***R^2***
Station	*17630,50*	*3,00*	*5876,80*	*9,62**	*0,04*	*8%*
Cultivar	*15704,60*	*9,00*	*1745,00*	*4,71**	*0,02*	*7%*
Arbre	*4,10*	*1,00*	*4,10*	*0,01^{NS}*	*0,94*	*0%*
Position radiale (aubier/faux-coeur)	*139552,20*	*1,00*	*139552,20*	*2240,19**	*0,01*	*60%*
Station*Cultivar	*15666,20*	*27,00*	*580,20*	*1,72^{NS}*	*0,08*	*7%*
Station*Arbre	*1832,60*	*3,00*	*610,90*	*1,82^{NS}*	*0,27*	*1%*
Cultivar*Arbre	*3331,50*	*9,00*	*370,20*	*1,46^{NS}*	*0,31*	*1%*
Station*Position radiale	*2380,10*	*3,00*	*793,40*	*3,47^{NS}*	*0,17*	*1%*
Cultivar*Position radiale	*5648,20*	*9,00*	*627,60*	*4,28**	*0,02*	*2%*
Arbre*Position radiale	*62,30*	*1,00*	*62,30*	*0,43^{NS}*	*0,63*	*0%*
Station*Cultivar*Arbre	*9115,70*	*27,00*	*337,60*	*1,4 7^{NS}*	*0,16*	*4%*
Station*Cultivar*Position radiale	*12546,10*	*27,00*	*464,70*	*2,02**	*0,04*	*5%*
Station*Arbre*Position radiale	*687,00*	*3,00*	*229,00*	*1,00^{NS}*	*0,41*	*0%*
Cultivar*Arbre*Position radiale	*1320,60*	*9,00*	*146,70*	*0,64^{NS}*	*0,76*	*1%*
Erreur	*6216,90*	*27,00*	*230,30*			*3%*

* : variance significative au seuil de 5 %
NS : variance non significative

1.1.3. Variabilité intra-arbre

Les graphiques suivant clarifient les résultats de l'analyse de variance. Ils révèlent un faux-cœur systématiquement plus humide que l'aubier pour tous les cultivars et dans les quatre stations. Le taux d'humidité moyen du faux-cœur est de 191 % alors que l'aubier renferme 132 % d'humidité. Décés Petit (1996) avait constaté chez le Robusta un aubier moins humide que le faux-cœur, mais il avait qualifié cette différence entre l'aubier et le faux-cœur de non significative.

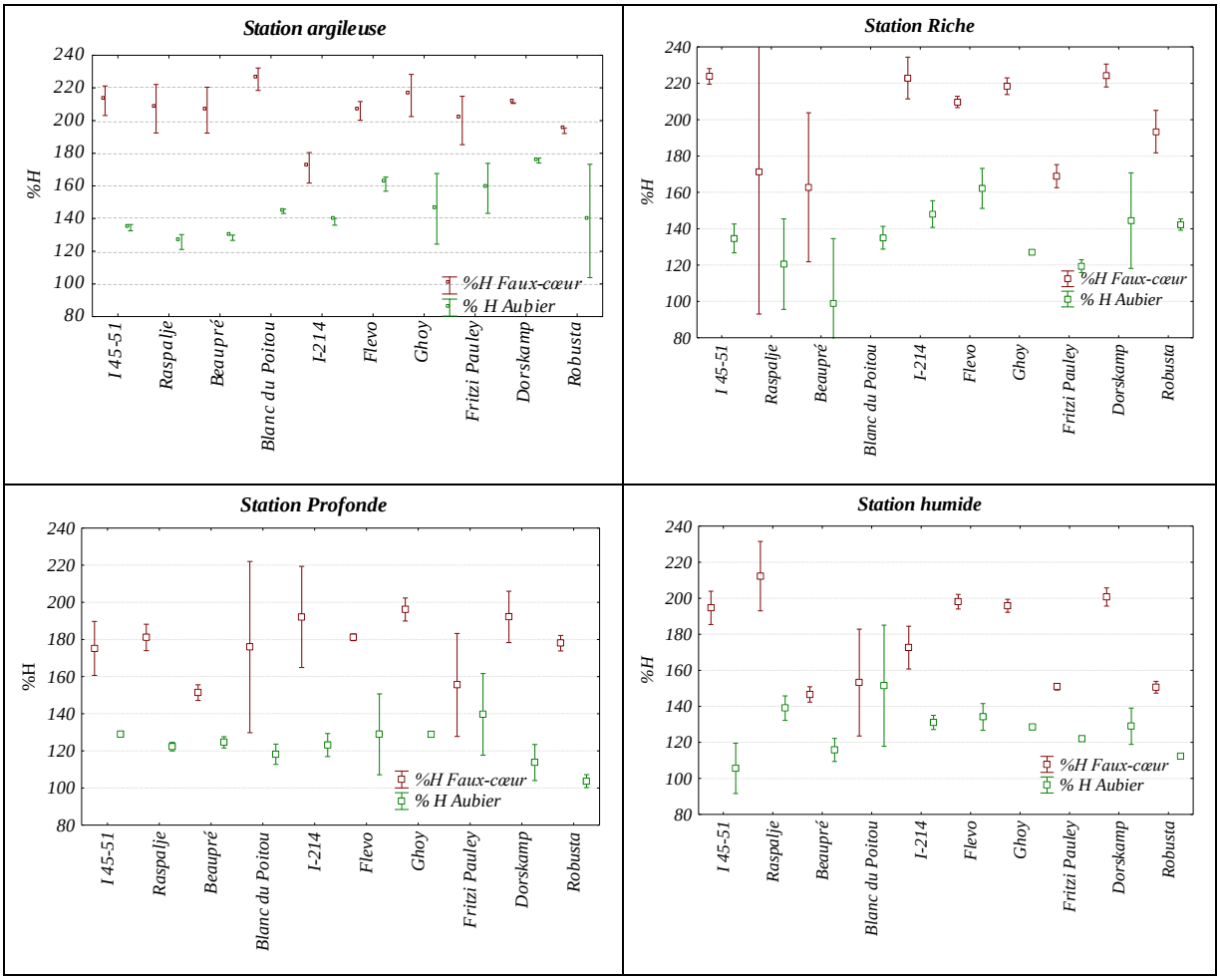


Figure III.2 - Répartition de la teneur en humidité entre l'aubier et le faux cœur chez 10 cultivars de peuplier issus de 4 stations différentes (moyennes et écart-types).

Nos résultats concordent avec ceux de Roosen (1956) qui a observé chez 4 clones de peuplier un taux de 192 % dans l'aubier et 138 % au niveau du faux-cœur. Le même résultat a été également trouvé par Griffoen (1973) sur du peuplier avec un rapport de 0,61 entre l'humidité du faux-cœur et celle de l'aubier. Cependant ceci n'est pas vrai chez les autres feuillus, notamment chez le chêne où l'aubier est le plus humide (Cinotti, 1989).

En se basant sur les travaux cités précédemment, il apparaît que le cas du faux-cœur plus humide que l'aubier semble être très fréquent chez le peuplier. Cette différence entre l'aubier

et le faux-cœur pourrait être due à un début de ressuyage. En effet la teneur en eau aurait été la même dans l'aubier et dans le faux cœur, mais une fois l'arbre est abattu l'eau s'écoule et bien évidemment l'aubier serait le premier à perdre l'eau, ainsi on se retrouve avec un aubier moins humide que le faux-cœur, d'où le profil observé au niveau des cartographies.

Selon la figure III.2, dans une station donnée l'humidité varie d'un cultivar à l'autre et pour un même cultivar elle change d'une station à l'autre. La figure montre aussi que certains cultivars présentent des dispersions importantes qui ne reflètent que les disparités individuelles entre les deux arbres échantillonnés par cultivar et par site.

La même figure indique que l'écart d'humidité entre l'aubier et le faux-cœur n'est jamais constant et diffère selon le cultivar et la station. L'analyse de variance (Tableau III.3) confirme que cet écart ne dépend que du cultivar et pour un même cultivar il varie selon les stations puisque l'interaction station*cultivar explique 43% de la variance totale.

Tableau III.3 - Résultats de l'analyse de variance de l'écart d'humidité aubier/ faux-cœur.

	SC	***Ddl***	***MC***	***F***	***P***	***R^2***
Station	*4760,19*	*3*	*1586,73*	*3,46 ^{NS}*	*0,17*	*8%*
Cultivar	*11296,49*	*9*	*1255,17*	*4,28**	*0,02*	*20%*
Arbre	*124,59*	*1,00*	*124,59*	*0,43 ^{NS}*	*0,63*	*0%*
Station*Cultivar	*25092,22*	*27*	*929,34*	*2,02**	*0,04*	*43%*
Station*Arbre	*1373,98*	*3*	*457,99*	*0,99 ^{NS}*	*0,41*	*2%*
Cultivar*Arbre	*2641,23*	*9*	*293,47*	*0,64 ^{NS}*	*0,76*	*5%*
Erreur	*12433,84*	*27*	*460,51*			*22%*

* : variance significative au seuil de 5 %
NS : variance non significative

Toutefois cette variabilité d'écart parait inévitable si on prend en considération l'influence de la saison d'abattage, car les différents arbres échantillonnés n'ont pas tous été abattus pendant la même saison. L'analyse de variance appuie cette hypothèse, elle montre que l'écart d'humidité varie significativement au seuil de 0,1% selon la saison d'abattage. Le plus grand écart est noté au mois de septembre (64%) tandis que le plus faible est noté au mois de mai (54%).

Tableau III.4 - Résultats de l'analyse de variance de l'écart d'humidité aubier/ faux-cœur.

	SC	***Ddl***	***MC***	***F***	***P***
Saison d'abattage	*70634,5*	*2*	*35317,25*	*10,35****	*0,00*
Erreur	*266192,4*	*78*	*3412,72*		

*** : variance significative au seuil de 0,1 %

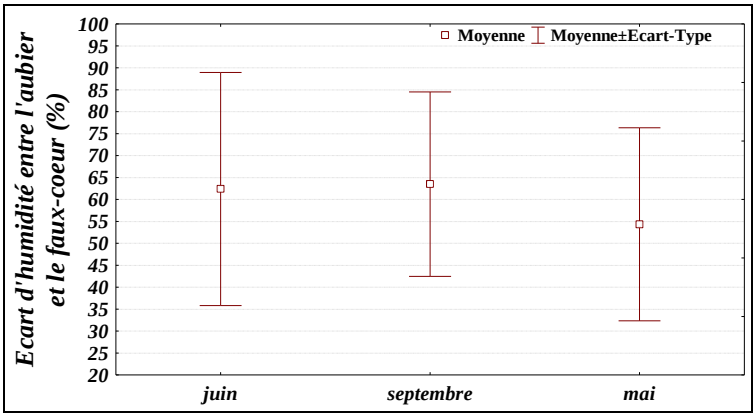


Figure III.3 -Variation de l'écart d'humidité aubier/ faux cœur suivant la période d'abattage.

Par ailleurs, si on essaye de classer les cultivars selon leurs humidités au niveau d'une même station (figure III.2) on se rend compte que ce classement n'est pas identique dans l'aubier et dans le faux-cœur. Par exemple au niveau de la station profonde le Fritzi Pauley apparaît comme le plus humide s'il l'on parle de l'aubier, par contre il est parmi les cultivars les moins humides du point de vue humidité du faux-cœur.

Toutefois en nous basant sur les résultats de l'anova (tableau III.2) nous pouvons négliger l'interaction station*cultivar*position radiale vue son faible intensité d'effet. Ainsi pour simplifier la comparaison des cultivars et des stations nous avons calculé le taux d'humidité moyen (aubier et faux-cœur) pour les 10 cultivars dans les 4 stations, et nous avons effectué une analyse de variance pour les valeurs moyennes obtenues.

Tableau III.5- Résultats de l'analyse de variance du taux d'humidité moyen.

	SC	***Ddl***	***MC***	***F***	***P***
Station	*8815*	*3*	*2938*	*16,46****	*0,000000*
Cultivar	*7852*	*9*	*872*	*4,8****	*0,000195*
Station*Cultivar	*7833*	*27*	*290*	*1,62^{NS}*	*0,079931*
Erreur	*7142*	*40*	*179*		

*** : variance significative au seuil de 0,1 %
NS : variance non significative

Selon cette analyse l'humidité moyenne varie significativement en fonction de la station et du cultivar, mais il n'ya aucun effet significatif de l'interaction cultivar*station. Ceci nous autorise d'analyser les 2 effets principaux cultivar et station séparément, comme le montre les figures III.4 et III.5.

1.1.4. Variabilité inter-stations

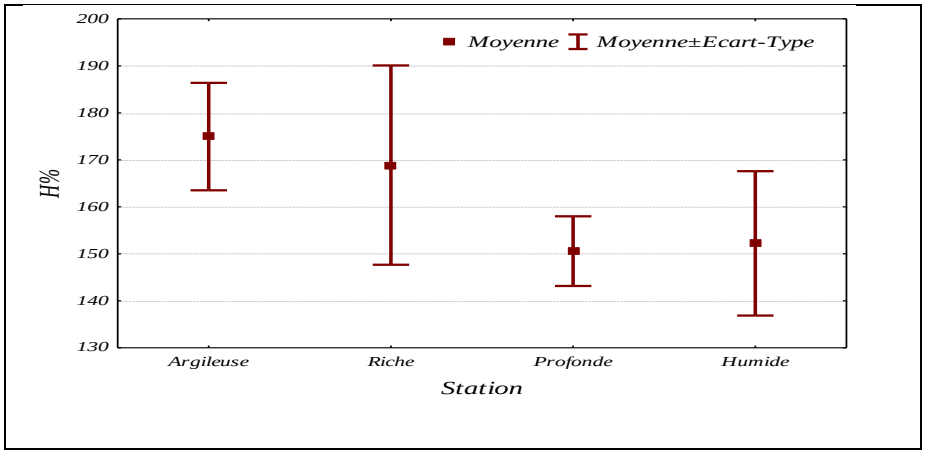


Figure III.4 -Variation du taux d'humidité moyen suivant le type de station.

Le taux d'humidité moyen le plus élevé est noté au niveau de la station argileuse, l'humidité moyenne minimale est notée au niveau de la station profonde. Nous nous apercevons que les taux d'humidité des stations argileuse et riche sont très proches. Il en est de même pour les stations profonde et humide.

En plus des différences de profondeur du sol, la dissemblance entre les stations réside dans la diversité des conditions climatiques et édaphiques qui règnent au niveau de chaque station : elles influencent la teneur en eau du sol et sa capacité d'absorption de l'eau, les sols argileux et riches retenant plus d'eau que les sols sableux ou limoneux. A cela s'ajoute la température et l'humidité relative conditionnent l'évapotranspiration au niveau des feuilles. Ainsi la notion de station n'est pas optimale car une station est une agglomération de sites parfois aux caractéristiques climatiques assez différentes.

1.1.5. Variabilité inter-sites

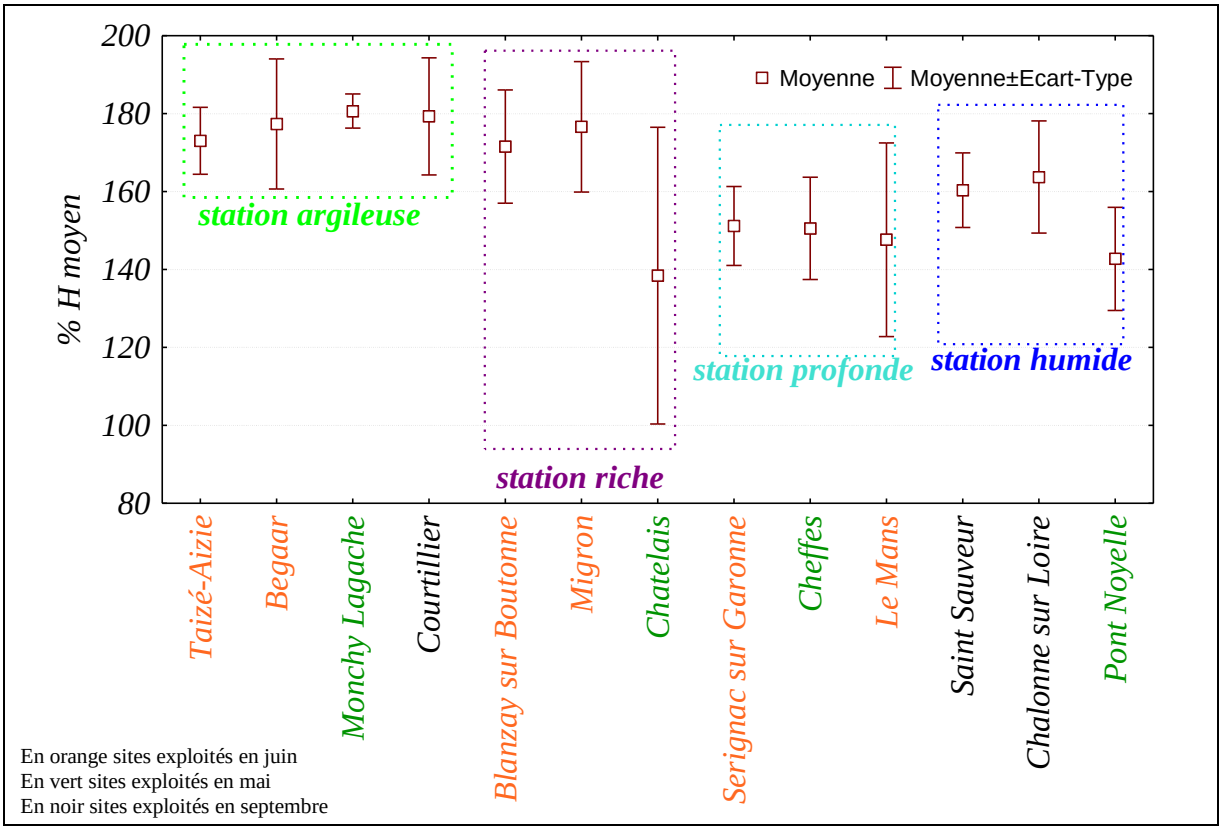


Figure III.5 -Variation du taux d'humidité moyen selon les sites.

Comme nous l'avons déjà précisé les 4 stations étudiées sont représentés par 13 sites différents. Ceci nous incite à être prudents dans les interprétations des effets station et cultivar. La figure ci-dessus nous permet de constater que l'humidité est cependant relativement homogène dans chaque site même si nous constatons que l'humidité est plus hétérogène au niveau de la station riche et de la station humide.

Ces différences entre les sites d'une même station s'expliquent aussi par le fait que les sites appartenant à la même station ne contiennent pas tous les mêmes cultivars. Rappelons que les traitements sylvicoles, la saison d'abattage et l'âge ne sont pas identiques pour les différents sites.

1.1.6. Variabilité inter-cultivars

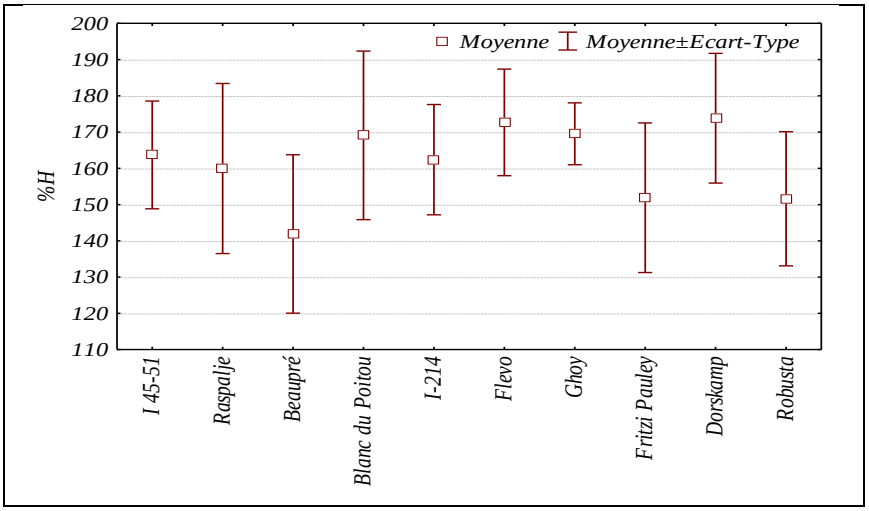


Figure III.6- Variation du taux d'humidité moyen suivant les cultivars.

Les taux d'humidité moyens des cultivars s'échelonnent entre 142% et 173%. Le Dorskamp, le Flevo, le Ghoy et le Blanc du Poitou sont les plus humides. Le I 45-51, le Raspalje et le I-214 sont moyennement humides tandis que le Beaupré, le Fritzi Pauley et le Robusta constituent le groupe de cultivars le moins humide. Remarquons aussi que la disparité entre ces cultivars n'est pas très importante mais reflète les effets génétiques qui définissent la structure anatomique et par conséquent la proportion de la matière ligneuse et la porosité.

En résumé il est très difficile de mettre en évidence un effet cultivar et station dans notre cas car plusieurs facteurs contribuent à la variabilité du taux d'humidité : station, site, cultivar, et saison d'abattage oublier les différences individuelles qui sont à l'origine des disparités observées pour un même cultivar dans une même parcelle. De ce fait l'échantillonnage devient trop modeste pour nous permettre de hiérarchiser tous ces facteurs.

Quelque soit la grandeur de cette variabilité, l'ensemble des cultivars étudiés présentent tous des taux d'humidité largement suffisants, ils sont prédisposés à être déroulés à l'état vert sans aucun traitement, surtout qu'ils présentent tous un faux-cœur très humide contrairement à certaines essences à cœur sec, comme la plupart des résineux qui ne peut être déroulé qu'après traitement hygrothermique.

1.2. Efforts du déroulage

Un premier aperçu du profil de variation des efforts mesurés (figure III.7), montre que le déroulage s'est effectué dans des conditions optimales. La composante Yc est régulièrement négative et proche de zéro. D'après Thibaut (1988), un effort Yc légèrement négatif signifie qu'il y a une légère plongée d'outil, ce qui constitue la meilleure situation pour un déroulage

stable (pas de tendance au refus de coupe) et la production d'un placage d'épaisseur homogène.

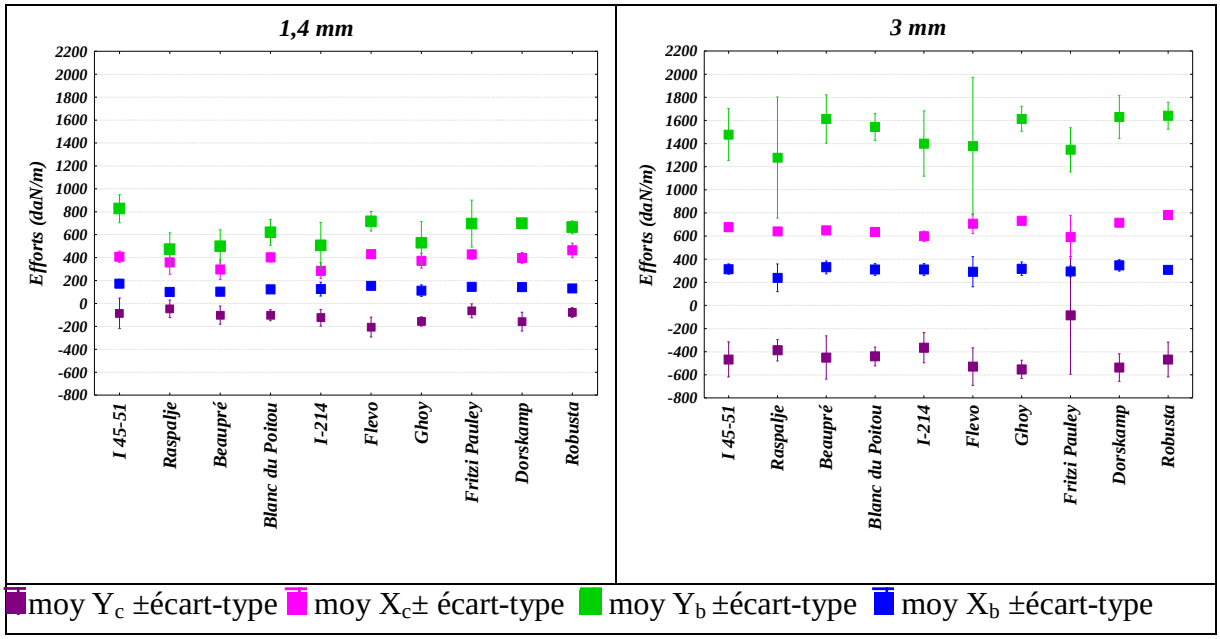


Figure III.7- Comparaison des composantes orthogonales des efforts du déroulage (valeurs ramenées au mètre de couteau de déroulage).

La composante frontale Xc est faible par rapport aux autres essences déroulées (tableau III.7), ce qui veut dire d'après Marchal (1989) que ce bois ne nécessite pas de puissance importante pour être déroulé (couple faible). Avec une dépouille maintenue à 0°, on voit clairement que la tendance à la plongée d'outil s'accentue quand l'épaisseur du placage augmente car l'effort sur la face d'attaque étant proportionnel à la passe d'usinage (Thibaut, 1988), l'outil tend à fléchir vers le billon.

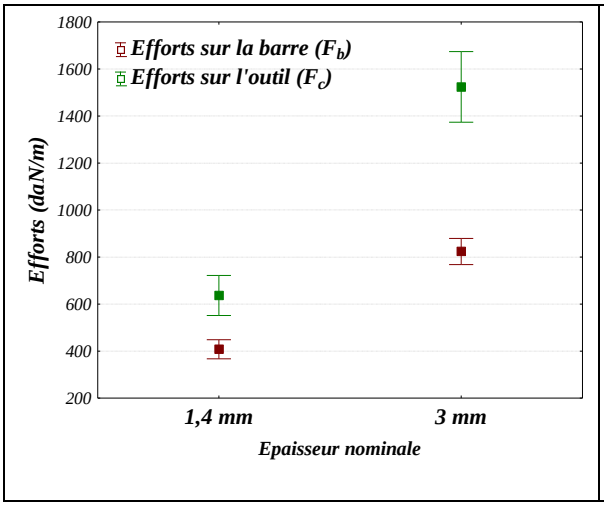


Figure III.8 - Variation des efforts résultants sur la barre et sur l'outil suivant l'épaisseur du déroulage.

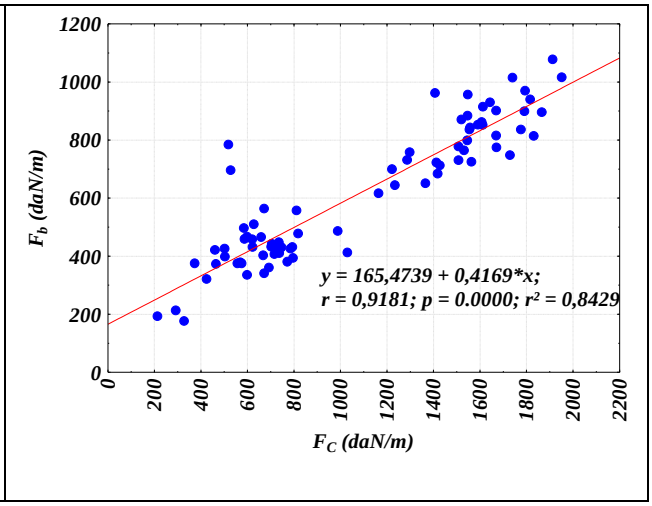


Figure III.9 - Evolution des efforts sur la barre en fonction des efforts sur l'outil.

L'ensemble des composantes orthogonales semble varier considérablement suivant l'épaisseur du déroulage. La figure III.8 montre que les efforts résultants exercés sur la barre et sur l'outil, notés respectivement F_b et F_c, augmentent avec l'épaisseur : F_b a presque triplé et F_c a doublé. Cela est logique car la pénétration de la barre est accrue dans le bois (taux de pression de 10% de l'épaisseur), l'effort d'attaque augmente avec l'épaisseur et l'effort de dépouille est certainement inchangé car l'angle de dépouille est lui même resté inchangé. Notons enfin que les efforts varient peu, ce qui est normal dans le cas de bois peu dense et homogène tel que le peuplier.

Tableau III.6 - Analyse de variance des efforts résultants F_b et F_c.

		Cas de l'épaisseur nominale 1,4 mm					***Cas de l'épaisseur nominale 3mm***				
		SC	***Ddl***	***MC***	***F***	***P***	***SC***	***Ddl***	***MC***	***F***	***P***
F_b	*Station*	*11268*	*3*	*3756*	*0,00 NS*	*0,99*	*85101*	*3*	*28367*	*0,00 NS*	*0,99*
	Cultivar	*120405*	*9*	*13378*	*0,00 NS*	*1*	*216203*	*9*	*24023*	*0,00 NS*	*1*
	*Station*Cultivar*	*126575*	*27*	*4688*	*0,007 NS*	*1*	*180787*	*27*	*6696*	*0,00 NS*	*1*
	Erreur	*6652624*	*1*	*6652624*			*27161407*	*1*	*27161407*		
F_c	*Station*	*8667*	*3*	*2889*	*0,007 NS*	*0,99*	*55163*	*3*	*18388*	*0,00 NS*	*0,99*
	Cultivar	*514374*	*9*	*57153*	*0,00 NS*	*1*	*664717*	*9*	*73857*	*0,00 NS*	*1*
	*Station*Cultivar*	*608081*	*27*	*22522*	*0,00 NS*	*1*	*2804939*	*27*	*103887*	*0,00 NS*	*1*
	Erreur	*16226409*	*1*	*16226409*			*92886316*	*1*	*92886316*		

NS : Variance non significatif.

Pour les deux épaisseurs de déroulage, l'analyse de variance ne révèle aucun effet significatif de la station sur les efforts résultants F_c et F_b. Nous constatons que quelle que soit l'épaisseur nominale les efforts sur la barre et sur l'outil ne varient pas significativement d'une station à l'autre (figure III.10).

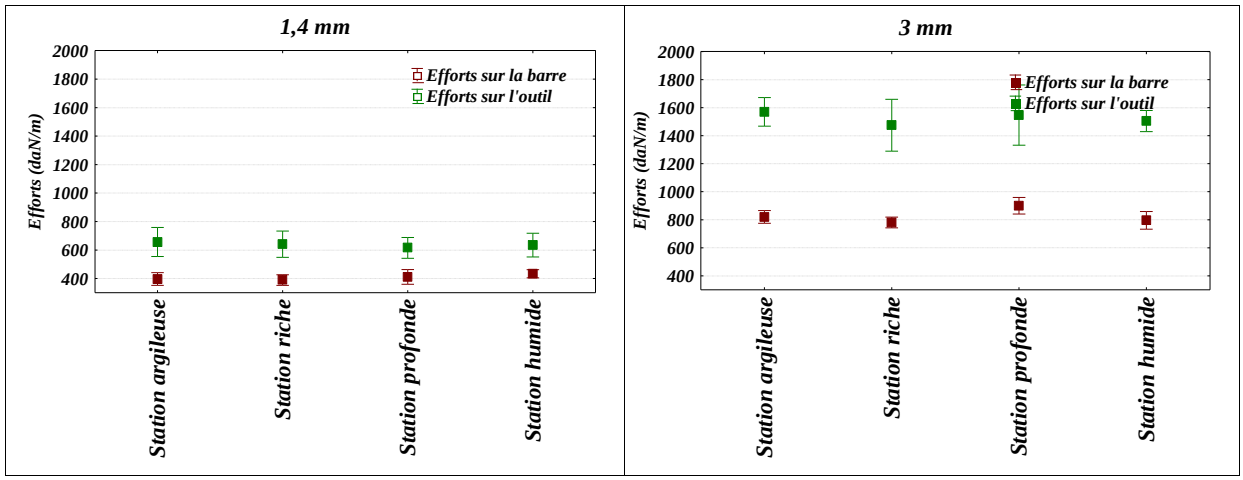


Figure III.10- Variation des efforts résultants sur la barre et sur l'outil en fonction des stations.

L'effet cultivar est également non significatif. La figure III.7 illustre ce résultat et prouve que les efforts ne sont pas influencés par le type du cultivar, malgré quelques fluctuations qui peuvent être dues aux différences de densité entre les cultivars. En effet, il existe bien une

corrélation statistiquement significative entre les efforts et l'infradensité[8] (figure III.11 et III.12).

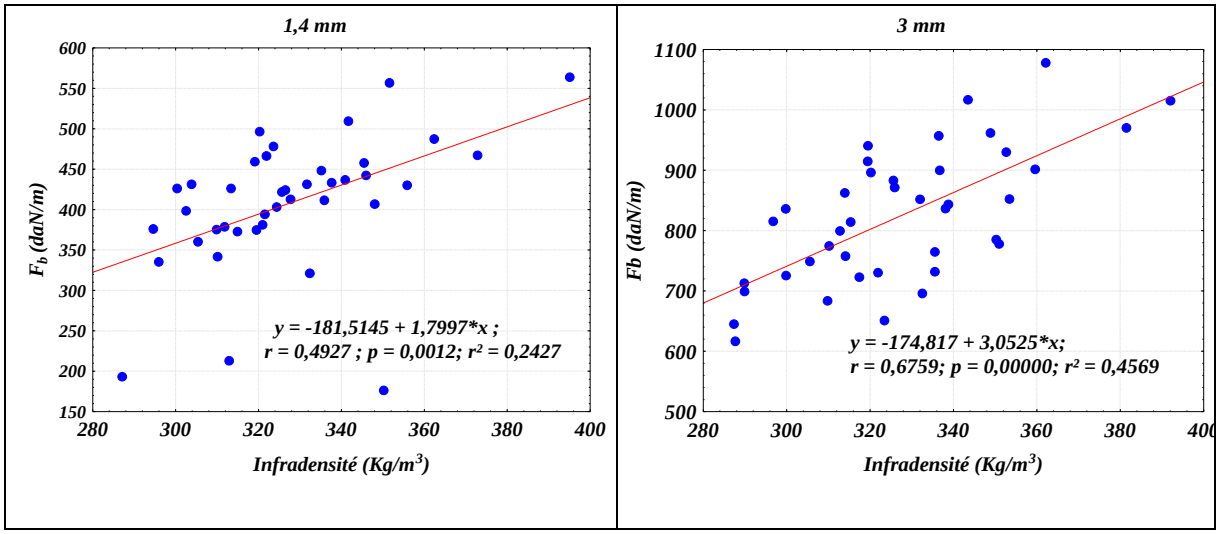
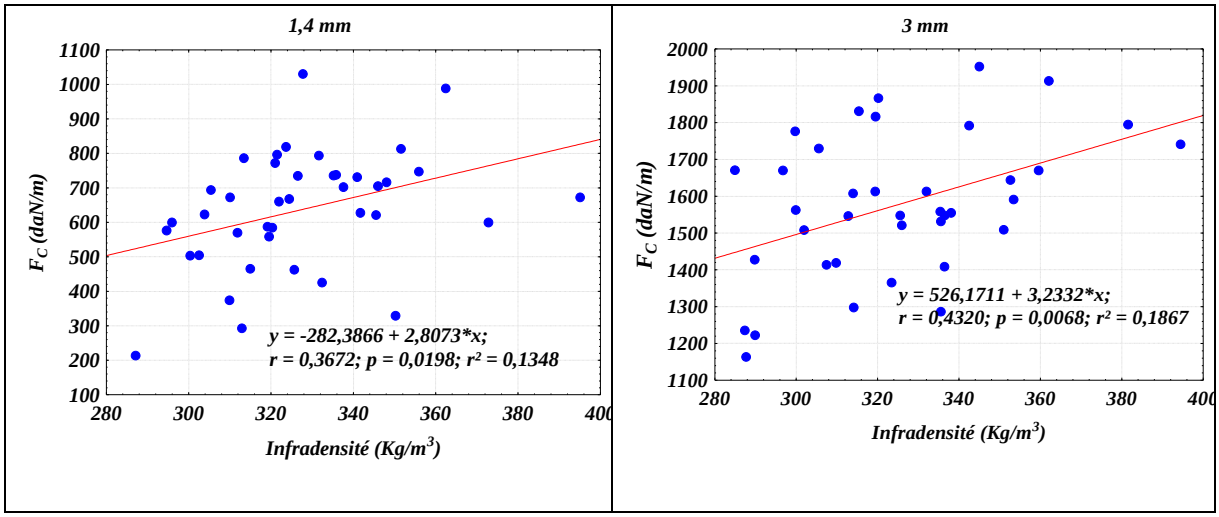


Figure III.11- Evolution des efforts sur la barre en fonction de l'infradensité.

Les efforts sur la barre sont corrélés positivement à l'infradensité avec un coefficient de corrélation (r) égale à 0,49 dans le cas de l'épaisseur 1,4 mm et à 0,68 dans le cas de 3mm. Les efforts sur l'outil (F_c) sont également liés significativement à l'infradensité au seuil de 0,1% ; avec les coefficients de corrélation respectivement de 0,37 et 0,43 pour les deux épaisseurs 1,4 mm et 3 mm.



Graphique III.12-Evolution des efforts sur l'outil en fonction de l'infradensité.

Remarquons que cette liaison entre les efforts et la densité est plus forte dans le cas des efforts sur la barre (F_b) que dans le cas des efforts sur l'outil (F_c). Pour ces deux efforts (F_b et F_c) la corrélation à l'infradensité est plus marquée dans le cas de l'épaisseur 3 mm. Marchal et al (2001) ont également observé chez le peuplier que les efforts augmentaient avec la densité.

[8] L'infradensité mesurée par FCBA sur le billon 3 de chaque arbre échantillonné.

Globalement les efforts mesurés sont très faibles, par rapport à ceux constatés pour d'autres essences.

Tableau III.7 - Tableau comparatif des efforts.

	Y_c (daN/m)	X_c (daN/m)	Y_b (daN/m)	X_b (daN/m)	Conditions de coupe	Référence
Peuplier	**-116 (80)**	**382 (77)**	**623 (168)**	**131 (37)**	Epaisseur : 1,4mm Dépouille : 0° Taux de compression : 10% Côte verticale : 1mm Vitesse de coupe : 1m/s Température du bois : 20°C	**Nos résultats**
	-428,07 (222)	**672,99 (85)**	**1492,38 (295)**	**306,52 (68)**	Epaisseur : 3mm Dépouille : 0° Taux de compression : 10% Côte verticale : 1mm Vitesse de coupe : 1m/s Température du bois : 20°C	
	-1200	600	5500		Epaisseur : 3mm Dépouille : 0° Taux de compression : 10% Côte verticale : 0,6mm Vitesse de coupe : 1m/s Température du bois : 20°C	Marchal et al., 2001
Epicéa	215	395	7950	225	Epaisseur : 2mm Dépouille : 0° Taux de compression : 15% Côte verticale : 1 ,5mm Vitesse de coupe : 1,5m/s Température du bois : 20°C	Mothe, 1990
Châtaignier	574	933	1025	480	Epaisseur : 2mm Dépouille : 0° Taux de compression : 15% Côte verticale : 0,3mm Vitesse de coupe : 5mm/s Température du bois : 20°C	Movassaghi, 1985
Douglas	137	301			Epaisseur : 2mm Dépouille : 0° Côte verticale : 0,3mm Vitesse de coupe : 5mm/s Température du bois : 20°C	Movassaghi, 1985
	650 / 800	100 / -800			Epaisseur : 2 mm Dépouille : 0.25° Taux de compression : 10% Côte verticale : 0.5 mm Vitesse de coupe : 1 m/s Température du bois : 20°C	Negri et. al. 1997
Robinier	650	550	250	3300	Epaisseur : 2 mm Dépouille : 0° Taux de compression : 10% Côte verticale : 0.6 mm Vitesse de coupe : 0.5 m/s Température du bois : 20°C	Negri et al., 1999
Chêne	1200	-350	-	1000	Epaisseur : 2 mm Dépouille : 0.5° Taux de compression : 15% Côte verticale : 0.5 mm Vitesse de coupe : 0.5 tr/s Température du bois : 20°C	Marchal et al.,1993
Hêtre	948	1102	937	2637	Epaisseur : 3 mm Dépouille : 0° Taux de compression : 20% Cote verticale : 0.7 mm Vitesse de coupe : 0.1 m/s Température du bois : 20°C	Denaud, 2006

() écart-type

Selon le tableau III.7 les efforts les plus faibles sont enregistrés dans le cas du peuplier. Bien qu'il s'agisse de la même essence, les efforts obtenus par Marchal et al (2001) sont plus élevés que les nôtres. Cela pourrait être du au fait que les bois utilisés par Marchal et al (2001), étaient beaucoup plus secs que les nôtres, car avaient essuyé plusieurs semaines avant le déroulage, les nôtres ayant toujours été conservé à l'état humide dans l'eau. Pour résumer, il apparaît clairement qu'il n y a pas lieu d'adapter les paramètres de coupe aux différents cultivars. A ce niveau, le peuplier est bien une essence unique.

1.3. Qualité du placage

1.3.1. Tuilage

2.3.3.4. Amplitude du tuilage

Tableau III.8- Résultats de l'analyse de variance de l'amplitude du tuilage.

	SC	Ddl	MC	F	P
Station	5,507	3	1,84	0,001 ^{NS}	0,99
Cultivar	16,43	9	1,83	0,001 ^{NS}	1,00
Epaisseur nominale	1,953	1	1,95	0,001 ^{NS}	0,97
Station*Cultivar	66,53	27	2,46	0,001 ^{NS}	1,00
Station*Epaisseur nominale	10,15	3	3,38	0,002 ^{NS}	0,99
Cultivar*Epaisseur nominale	28,74	9	3,19	0,002 ^{NS}	1,00
Station*Cultivar*Epaisseur nominale	46,16	27	1,71	0,001 ^{NS}	1,00
Erreur	1816,	1	1816		

NS : variance non significative

L'analyse de variance de l'amplitude du tuilage ne permet de déceler aucune influence significative des facteurs station, cultivar et épaisseur nominale du déroulage. Les figures III.13 à III.15 illustrent cette observation.

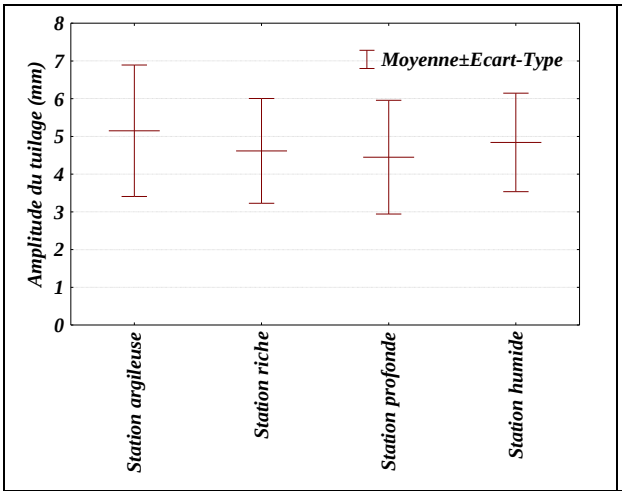


Figure III.13 - Amplitude moyenne du tuilage dans les quatre types de station.

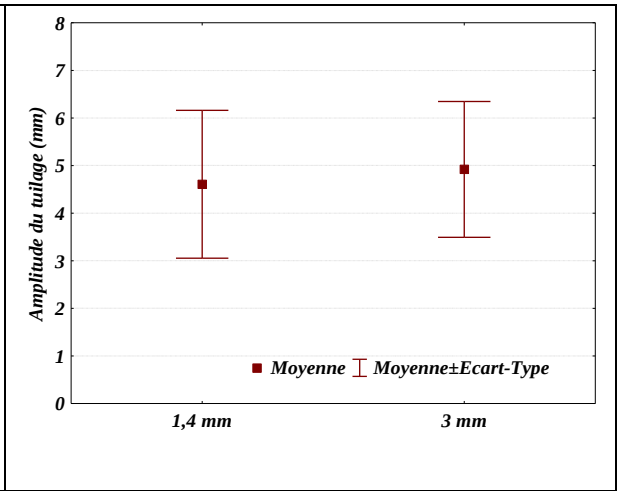


Figure III.14 - Amplitude moyenne du tuilage par épaisseur de déroulage.

Bien que l'analyse de variance ne mette en évidence aucun effet significatif du cultivar, quelques tendances se dégagent : la majorité des cultivars affichent une amplitude moyenne qui varie entre 4 mm et 5,5 mm à l'exception de deux cultivars, le Ghoy avec une amplitude moyenne de 6 mm et le I-214 avec une amplitude moyenne de 3,5 mm.

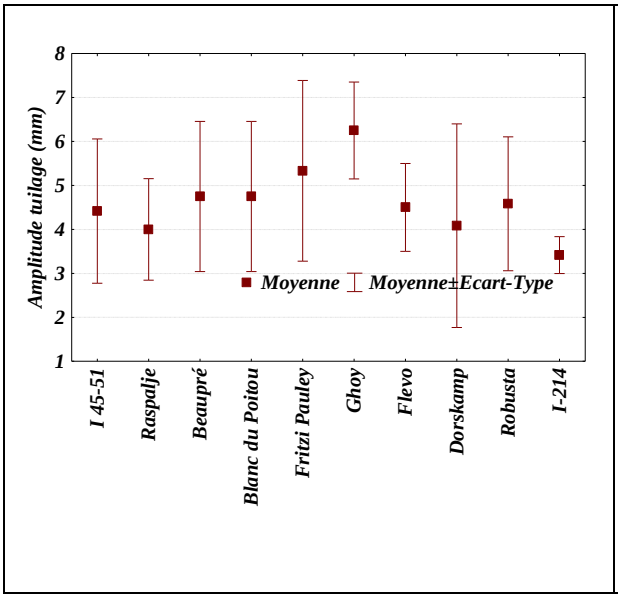


Figure III.15 - Variation de l'amplitude moyenne du tuilage suivant les cultivars.

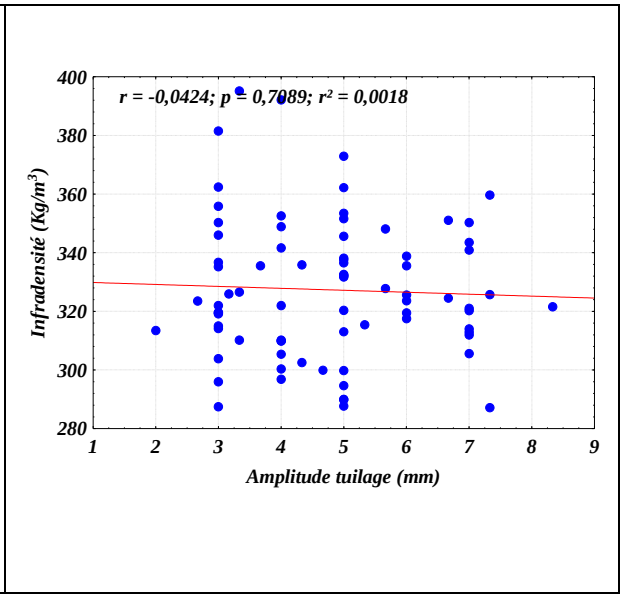


Figure III.16 - Evolution de l'amplitude moyenne du tuilage suivant l'infradensité.

Selon la littérature le cultivar I-214 est considéré parmi les plus légers alors que le Ghoy est compté parmi les cultivars les plus denses. Ceci aurait laissé croire que l'amplitude du tuilage serait liée à la densité, or l'analyse statistique réalisée exclut cette hypothèse : il n'existe aucune liaison statistiquement significative entre l'infradensité et l'amplitude du tuilage (figure III.16). Cela reste dans tous les cas des valeurs extrêmement faibles et en aucun cas rédhibitoires.

2.3.3.5. Fréquence du tuilage

Tableau III.9 - Résultats de l'analyse de variance de la fréquence du tuilage.

	SC	Ddl	MC	F	P
Station	9,883	3	3,294	2,8824	$0,05^{NS}$
Cultivar	21,293	9	2,366	2,0699	$0,05^{NS}$
Epaisseur nominale	22,146	1	22,146	19,3758	0,000040***
Erreur	75,436	66	1,143		

*** : variance significative au seuil de 0,1 %
NS : variance non significative

Selon l'analyse de variance, la fréquence du tuilage ne varie pas significativement suivant les cultivars et les types de stations. Les figures 17 et 18 permettent de constater que les écarts entre les fréquences observées chez les dix cultivars sont minimes. La même remarque peut

être faite en comparant les fréquences moyennes dans les quatre stations. Un classement des cultivars selon leurs fréquences de tuilage n'est pas possible.

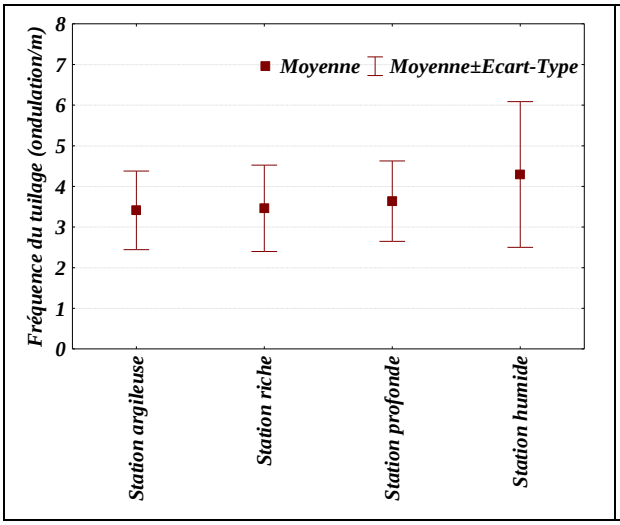


Figure III.17- Variation de la fréquence du tuilage suivant le type de station

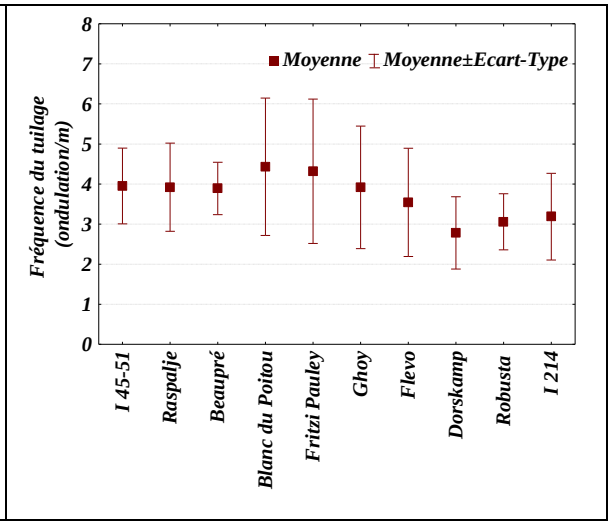


Figure III.18 - Variation de la fréquence du tuilage suivant les cultivars.

Chantre (1993) accorde au bois de tension un rôle important dans l'apparition des ondulations cycliques sur le placage du peuplier. Ce phénomène de tuilage pourrait donc être en partie associé à la présence de bois de tension. Nous avons étudié le niveau de corrélation entre la fréquence de tuilage et la proportion du bois de tension, cette corrélation est positive et significative au seuil de 5%, mais elle reste faible car seulement 6% (r^2= 0,06) de la dispersion est expliquée par la droite de régression (figure III.20). Par ailleurs la fréquence du tuilage n'est pas corrélée significativement à l'infradensité (figure III.19).

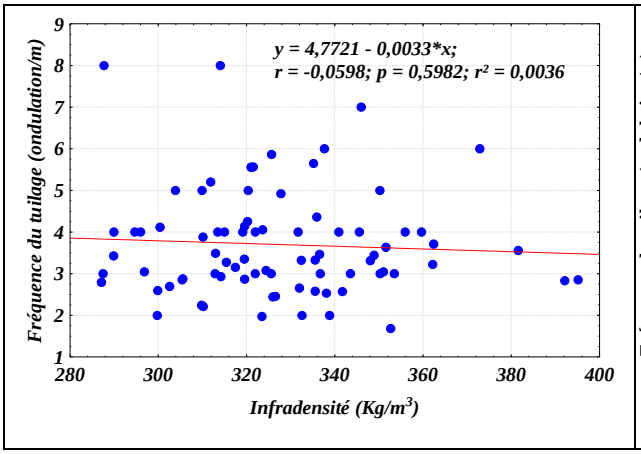


Figure III.19 - Corrélation de la fréquence du tuilage à l'infradensité.

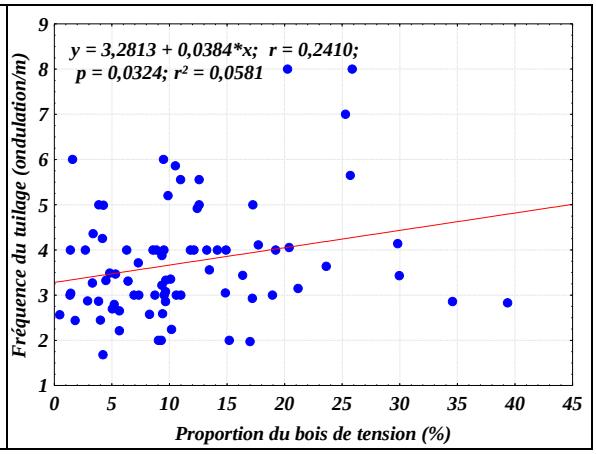


Figure III.20 - Corrélation de la fréquence du tuilage à la proportion du bois de tension (mesurée par FCBA).

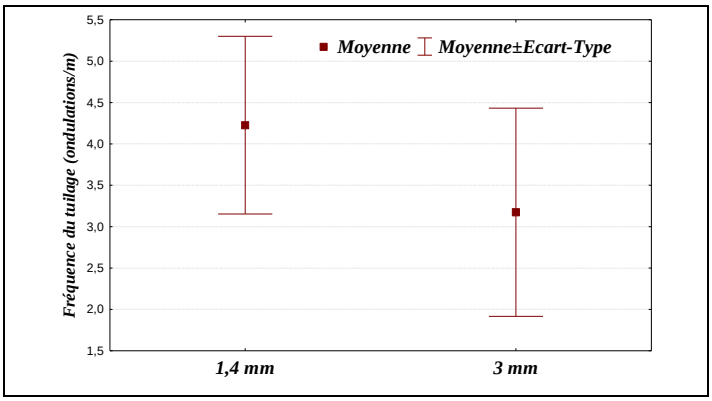


Figure III.21- Evolution de la fréquence du tuilage en fonction de l'épaisseur nominale du déroulage.

L'épaisseur est le seul facteur qui influe sur la fréquence du tuilage. Selon la figure III.21, les ondulations sont plus fréquentes sur les placages minces que sur les placages épais. Cet écart pourrait être associé au fait que l'influence du rayon de déroulage est plus visible sur le placage mince que sur le placage épais. De plus les placages minces séchant plus vite que les plus épais, les retraits tangentiels, apparaissent plus tôt sur les placages minces. Cependant ce dernier effet est peu probable car ces mesures ont été faites juste après déroulage sur des placages encore verts.

L'ensemble de ces résultats ne peut être confronté qu'à des résultats issus de mesures effectuées suivant le même procédé expérimental. Cependant nous ne possédons que de valeurs obtenues lors d'une étude menée par Chantre (1994). Il s'agit d'un indice de tortuosité relevé après séchage sur des placages représentant 11 cultivars de peuplier. Cette étude indiquait également que la planéité des placages ne varie pas significativement suivant les cultivars. La même recherche a pu mettre en évidence une variation significative selon la position radiale, les déformations étant plus marquées dans le premier quart du volume déroulé, alors que nos mesures n'ont été faites que sur 1es 10 derniers mètres déroulés et sur bois vert.

1.3.2. Aspect pelucheux

Tableau III.9-Résultats de l'analyse de variance du pourcentage de placages pelucheux.

	SC	*Ddl*	*MC*	*F*	*p*
Station	*4146,4*	*3*	*1382,1*	*0,004* ^{NS}	*1,00*
Cultivar	*19982,9*	*9*	*2220,3*	*0,006* ^{NS}	*1,00*
Epaisseur nominale	*20,8*	*1*	*20,8*	*0,000* ^{NS}	*1,00*
*Station*Cultivar*	*10846,1*	*27*	*401,7*	*0,001* ^{NS}	*1,00*
*Station*Epaisseur nominale*	*967,5*	*3*	*322,5*	*0,001* ^{NS}	*1,00*
*Cultivar*Epaisseur nominale*	*3020,2*	*9*	*335,6*	*0,001* ^{NS}	*1,00*
*Station*Cultivar*Epaisseur nominale*	*8449,7*	*27*	*313*	*0,001* ^{NS}	*1,00*
Erreur	*350209,1*	*1*	*350209,1*		

NS : variance non significative

L'analyse de variance ne révèle aucun effet significatif des facteurs station, cultivar et épaisseur nominale, ni de leurs interactions sur le pourcentage de placages contenant de la peluche. Mais les graphiques ci dessous montrent que c'est au niveau des stations humide et profonde que nous observons le pourcentage de placages pelucheux le plus faible avec 59%. La station riche affiche le pourcentage le plus élevé 79%. Rappelons que les 4 stations sont représentées par plusieurs parcelles qui recouvrent une grande diversité du point de vue des conditions climatiques et surtout du point de vue traitements sylvicoles. L'élagage par exemple et l'un des facteurs qui peut favoriser la formation du bois de tension et par conséquent la peluche. Sacre (1974) a observé chez le Robusta que 5 arbres élagués avaient 51% de bois de tension contre 36% pour les non élagués.

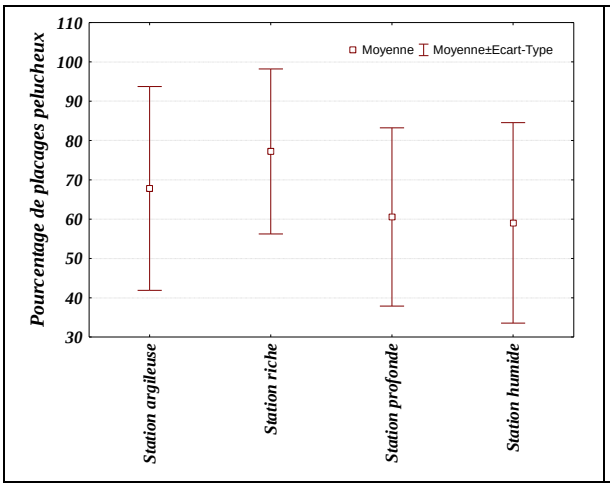


Figure III.22 - Variation du pourcentage de placages pelucheux suivant le type de station

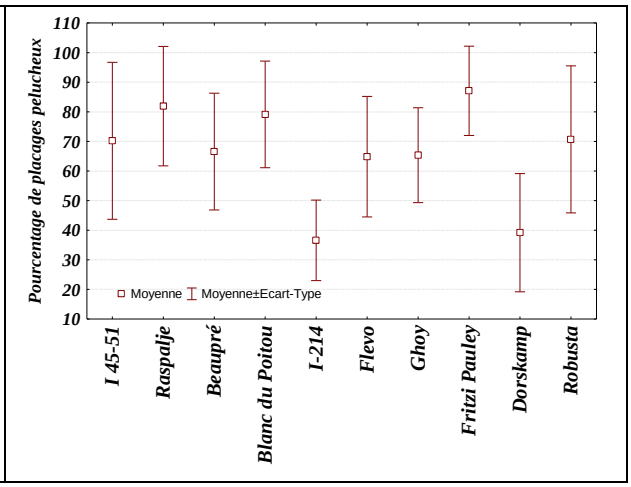


Figure III.23 - Variation du pourcentage de placages pelucheux suivant les cultivars.

En comparant les cultivars nous pouvons tout de même établir 3 classes à titre indicatif :

- Cultivars générant peu de surfaces pelucheuse : I 214 ; Dorskamp.
- Cultivars moyennement générant de surfaces pelucheuses: Robusta, Flevo, Ghoy.
- Cultivars très générant de surfaces pelucheuses : Beaupré ; Raspalje ; Blanc du Poitou ; I 45-5 ; Fritzi Pauley.

Le I 214 est le cultivar le moins pelucheux avec un pourcentage de placages présentant de la peluche de 39%. Par contre Le Fritzi Pauley apparaît comme le plus pelucheux avec un pourcentage de 85%. La variabilité de la peluche selon les cultivars pouvant être liée à la variabilité de la proportion du bois de tension ou à celle de la densité, dans l'hypothèse où les arrachements de fibres seraient d'autant plus faibles que le bois est dense, nous avons cherché à mettre en évidence des corrélations entre la peluche et respectivement la proportion de bois de tension et la densité.

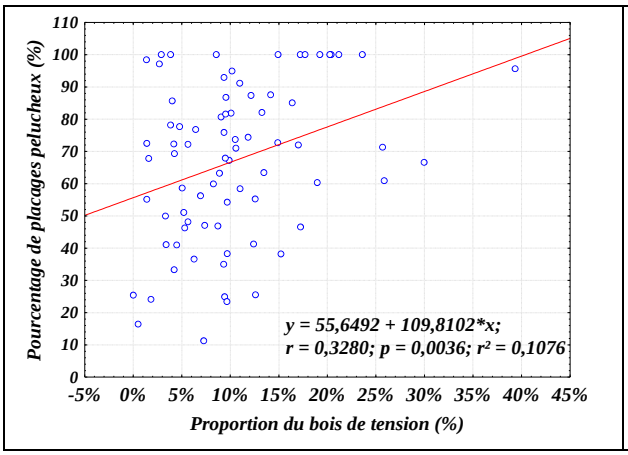


Figure III.24 - Evolution du pourcentage de placages pelucheux en fonction de la proportion du bois de tension mesurée par FCBA.

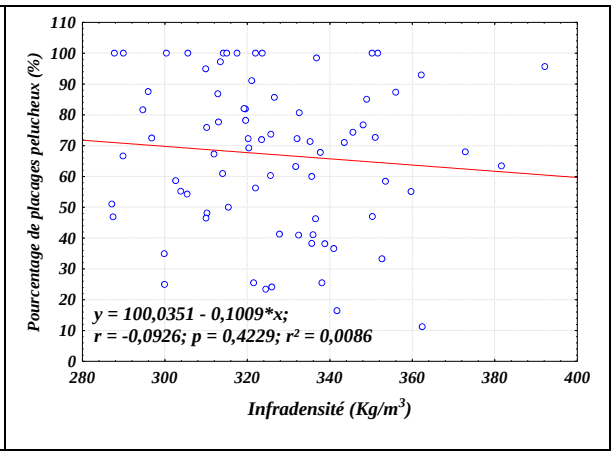


Figure III.25 - Evolution du pourcentage de placages pelucheux en fonction de l'infradensité.

Une tendance à une corrélation positive entre la peluche et le bois de tension se discerne, elle est positive et significative au seuil de 5 %. La même relation a été révélée par Boury (1993) chez le I- 214. Cependant nous ne constatons aucun lien statistiquement significatif entre la densité et le pourcentage des placages pelucheux, contrairement aux observations de Chantre (1995) qui a mis en évidence une corrélation négative hautement significative entre la densité et l'état de surface du placage partiellement altérée par la peluche de 11 cultivars de peuplier.

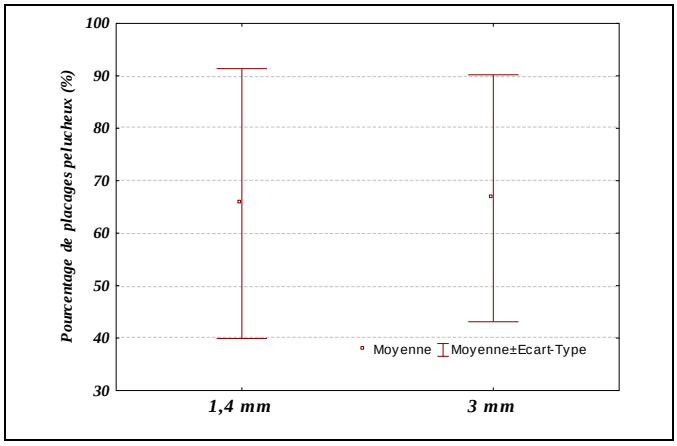


Figure III.26 - Variation du pourcentage de placages pelucheux suivant l'épaisseur.

Par ailleurs l'épaisseur du placage ne semble avoir aucun effet significatif sur la peluche. Les pourcentages moyens correspondant aux deux épaisseurs nominales sont quasiment identiques. Les phénomènes surfaciques ne sont donc pas accentués par les efforts de coupe.

En triant les placages suivant leur aspect pelucheux, nous avons remarqué que cet aspect est plus marqué au niveau du faux-cœur. Ce constat évoque l'hypothèse de l'existence d'une étroite liaison entre le faux-cœur et l'aspect pelucheux. En effet le pourcentage de placages

pelucheux est corrélé positivement à la proportion du faux-cœur[9] au seuil de 0,1%. Outre cette corrélation nous constatons aussi que pour chaque billon déroulé plus de 50% des placages pelucheux appartiennent au faux-cœur (figure III.28 et annexe IV). Cette abondance de bois pelucheux dans le faux-cœur serait due à une présence intensive du bois de tension. En effet si on prend en considération la hauteur de prélèvement des billons déroulés, on pourrait admettre que le faux-cœur renferme les cernes formés pendant les premières années et par conséquent plus de bois de tension, car c'est au cours des premières années de croissance que les arbres sont plus susceptibles de former du bois de tension du fait de leur hypersensibilité aux différentes contraintes.

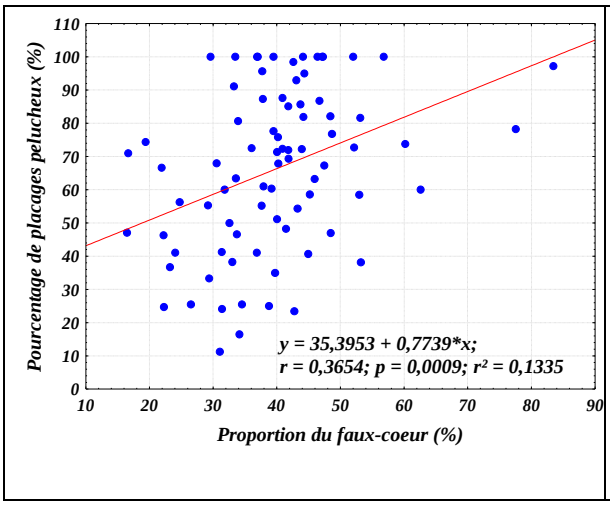


Figure III.27 - Evolution du pourcentage de placages pelucheux en fonction de la proportion du faux-cœur mesurée par FCBA.

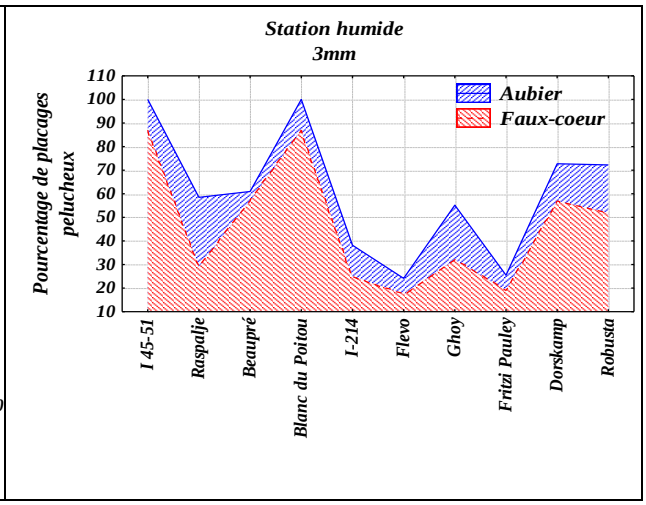


Figure III.28 – Répartition du pourcentage de placages pelucheux entre l'aubier et le faux-cœur, cas des placages de 3mm d'épaisseur issus de la station humide.

Dans l'ensemble les placages obtenus sont pelucheux, le pourcentage moyen est de 65 %. Ce pourcentage élevé serait la conséquence de la forte teneur en eau des bois déroulés. D'après l'avis des dérouleurs professionnels, la tendance au peluchage augmente avec l'humidité du bois. Cependant l'analyse statistique ne met en évidence aucune corrélation significative entre le pourcentage de placages pelucheux et le taux d'humidité des billons déroulés.

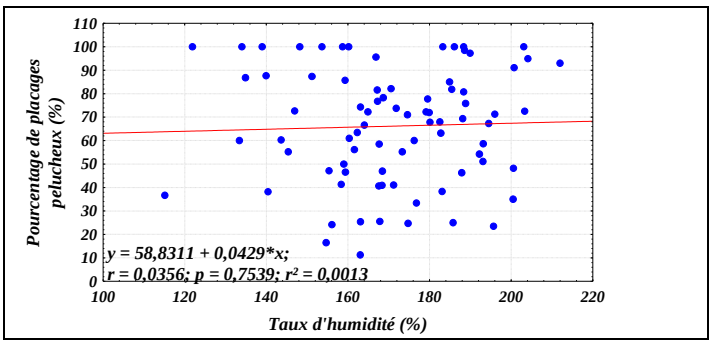


Figure III.29 –Variation du pourcentage de placages pelucheux en fonction du taux d'humidité.

[9] La proportion du faux-cœur a été mesurée par FCBA sur le billon 3.

Il est à noter que la méthode d'estimation de la peluche utilisée a certainement influencé les résultats et donc les différences entre les cultivars. En effet selon cette méthode, un placage ayant une faible proportion de peluche sera classé à l'identique qu'un placage pelucheux sur toute sa surface. Par conséquent il conviendrait d'améliorer la méthode par une qualification exacte des surfaces pelucheuses en utilisant l'imagerie artificielle notamment.

1.3.3. Irrégularité d'épaisseur

Nous conduisons cette analyse séparément sur les deux sous-populations : les placages minces (1,4 mm) et les placages épais (3mm).

Tableau III.10 - Résultats des analyses de variance par épaisseur (1,4 mm et 3 mm).

	1,4 mm					***3mm***				
	SC	***Ddl***	***MC***	***F***	***P***	***SC***	***Ddl***	***MC***	***F***	***P***
Station	*1,15*	*3*	*0,38*	*0,17 NS*	*0,92*	*5,62*	*3,00*	*1,87*	*0,17 NS*	*0,92*
Cultivar	*1,26*	*9*	*0,14*	*0,06 NS*	*1,00*	*1,88*	*9,00*	*0,21*	*0,02 NS*	*1,00*
placage	*0,74*	*27*	*0,03*	*0,01 NS*	*1,00*	*0,83*	*27,00*	*0,03*	*0,00 NS*	*1,00*
Station*Cultivar	*4,79*	*27*	*0,18*	*0,08 NS*	*1,00*	*21,4*	*27,00*	*0,79*	*0,07 NS*	*1,00*
Station*placage	*3,8*	*81*	*0,05*	*0,02 NS*	*1,00*	*3,83*	*81,00*	*0,05*	*0,00 NS*	*1,00*
Cultivar*placage	*6,44*	*243*	*0,03*	*0,01 NS*	*1,00*	*10,98*	*243,00*	*0,05*	*0,00 NS*	*1,00*
Station*Cultivar*placage	*27,18*	*729*	*0,04*	*0,02 NS*	*1,00*	*35,68*	*729,00*	*0,05*	*0,00 NS*	*1,00*
Erreur	*18066,71*	*7841*	*2,30*			*85278,82*	*7841,00*	*10,88*		

NS : variance non significative

Pour les deux épaisseurs nominales de déroulage, nous remarquons que le type de station et le cultivar n'ont pas d'effet significatif sur l'épaisseur réelle du placage. Celle ci semble aussi insensible à l'effet de la position radiale du placage dans l'arbre. Dans le cas de la passe 1,4 mm, ce sont les placages issus de la station humide qui affichent la surépaisseur moyenne la plus élevée (0,03 mm), alors que les placages de la station argileuse sont les moins épais avec une épaisseur moyenne de 1,40 mm. Pour la passe 3 mm, l'épaisseur moyenne la plus élevée est rencontrée au niveau de la station riche, avec une surépaisseur moyenne de 0,12 mm. Comme précédemment les placages issus de la station argileuse montrent la plus faible épaisseur moyenne avec 3,04 mm.

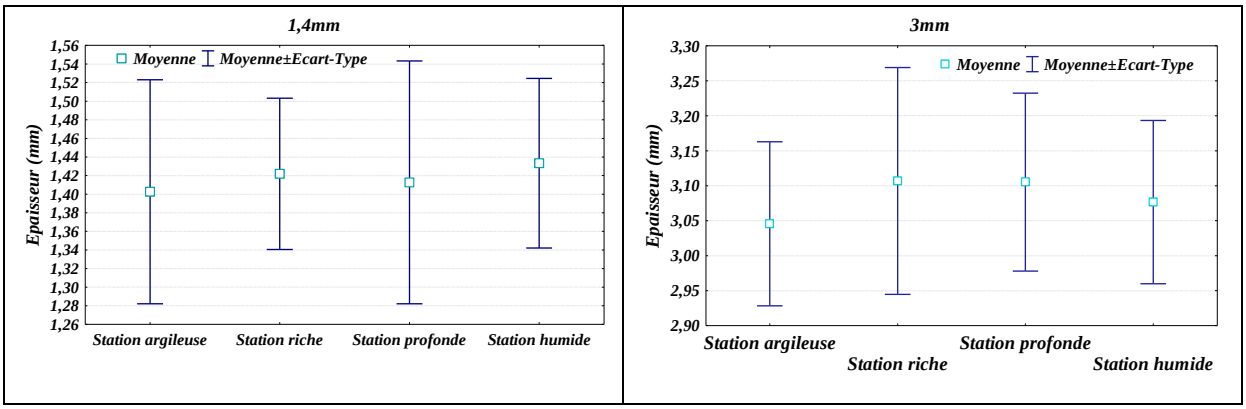


Figure III.30 - Variation de l'épaisseur du placage en fonction du type de station.

En comparant les placages déroulés à 3 mm, chez les dix cultivars, on constate que le placage du Robusta est le plus mince (3,05 mm), tandis que le placage du Beaupré est le plus épais avec une surépaisseur moyenne de 0,09 mm. Quant aux placages déroulés à 1,4 mm, c'est le Ghoy qui donne le placage le moins épais (1,39 mm). Par contre le placage le plus épais appartient au Robusta avec une surépaisseur moyenne de 0,04 mm.

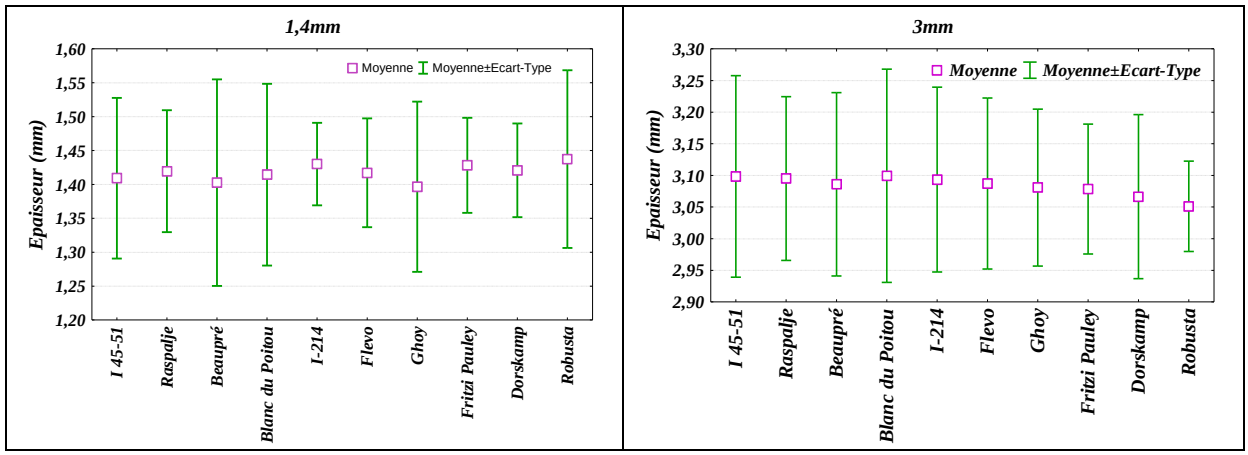


Figure III.31 - Variation de l'épaisseur du placage suivant les cultivars.

Les placages présentent quasiment tous une surépaisseur car le mode de mesure intègre le foisonnement lié à la peluche ou au simple soulèvement de fibres dans l'estimation de l'épaisseur. Il s'agit d'un résultat tout à fait classique. Cependant il n'existe aucune corrélation significative entre le pourcentage de placage pelucheux et l'épaisseur des placages (annexe V). La figure III.32 montre que la variation de l'épaisseur présente un aspect plus ou moins périodique en allant de la périphérie au centre du billon. Ceci est vrai pour tous les billons déroulés (annexe VI). Décès Petit (1996), a décelé une alternance régulière de surépaisseurs et de sous-épaisseurs en passant d'un tour à l'autre. Fondronnier et Guillerm (1979) expliquent cette variation cyclique sur un ou plusieurs tours par un talonnage excessif du couteau produisant un balancement entre un refus et un engagement de coupe. Cette alternance devient plus accentuée quand l'angle de dépouille est trop faible. Dans notre cas ce phénomène est peu marqué traduisant un réglage correct des paramètres de coupe.

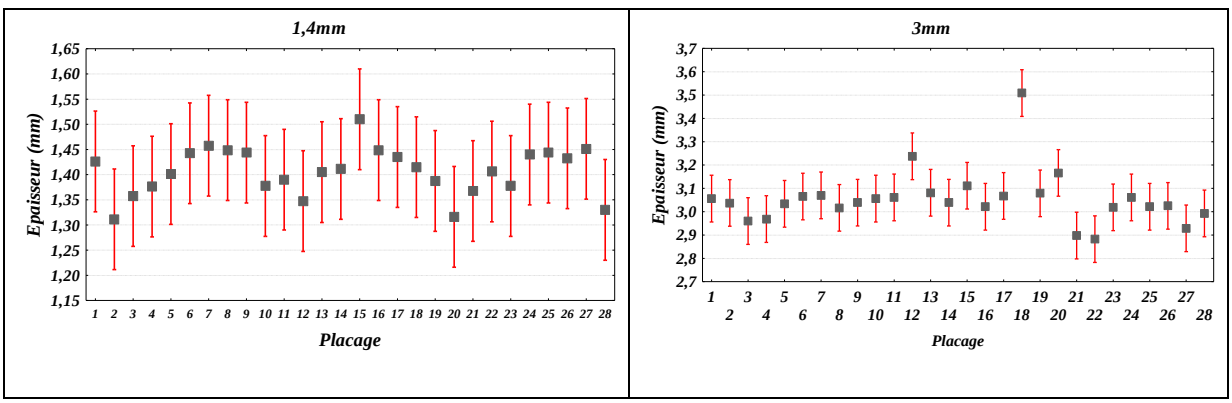


Figure III.32 - Evolution de l'épaisseur en fonction de la position radiale, cas du cultivar Ghoy issu de la station riche.

Pour les deux épaisseurs nominales 3 mm et 1,4 mm, les écarts maximaux observés, sont respectivement 0,1 mm et 0,04 mm. Nous sommes largement dans la fourchette de tolérance préconisée par l'US Product Standard PS 1-74, cité par Feihl (1986), ce règlement demande que la tolérance d'épaisseur soit de 5% l'épaisseur nominale.

C'est moins la valeur absolue de l'épaisseur réelle du placage que sa variabilité qui importe ici. C'est pour cette raison que nous avons calculé le coefficient de variation de l'épaisseur pour chaque feuille de placage.

Tableau III.11 - Résultats de l'analyse de variance du coefficient de variation de l'épaisseur.

	SC	***Ddl***	***MC***	***F***	***P***	***R^2***
Station	*167,40*	*3*	*55,80*	*1,46*	*0,22*	*0,38*
Cultivar	*911,51*	*9*	*101,28*	*2,65****	*0,00*	*2,05*
Epaiseur nominale	*870,98*	*1*	*870,98*	*22,82****	*0,00*	*1,96*
Placage (Position radiale)	*158,60*	*27*	*5,87*	*$0,15^{NS}$*	*1,00*	*0,36*
Station*Cultivar	*2139,25*	*27*	*79,23*	*2,08****	*0,00*	*4,82*
Station*Epaiseur nominale	*294,31*	*3*	*98,10*	*$2,57^{NS}$*	*0,05*	*0,66*
Cultivar*Epaiseur nominale	*443,61*	*9*	*49,29*	*$1,29^{NS}$*	*0,24*	*1,00*
Station*Placage	*728,14*	*81*	*8,99*	*$0,24^{NS}$*	*1,00*	*1,64*
Cultivar*Placage	*1811,92*	*243*	*7,46*	*$0,20^{NS}$*	*1,00*	*4,08*
Epaiseur nominale*Placage	*179,48*	*27*	*6,65*	*$0,17^{NS}$*	*1,00*	*0,40*
Station*Cultivar*Epaiseur nominale	*967,06*	*27*	*35,82*	*$0,94^{NS}$*	*0,56*	*2,18*
Station*Cultivar*Placage	*5551,35*	*729*	*7,62*	*$0,20^{NS}$*	*1,00*	*12,51*
Station*Epaiseur nominale*Placage	*721,21*	*81*	*8,90*	*$0,23^{NS}$*	*1,00*	*1,63*
Cultivar*Epaiseur nominale*Placage	*1571,22*	*243*	*6,47*	*$0,17^{NS}$*	*1,00*	*3,54*
Erreur	*27865,94*	*730*	*38,17*			*62,79*

**** : Variance significative au seuil de 0,1%.*
NS : Variance non significative.

L'analyse de variance indique que le coefficient de variation dépend significativement des effets cultivar et épaisseur nominale. En revanche, il n'est pas soumis à l'effet de la position radiale et de la station, mais soumis à l'effet de l'interaction station*cultivar. Il est à signaler que la significativité des F observées est à interpréter avec prudence car l'ensemble des facteurs analysés n'explique qu'une très faible proportion de la variance totale, tandis que la variance résiduelle (erreur) intervient à 63% dans la variabilité du coefficient de variation d'épaisseur. La figure ci dessous montre que l'irrégularité est accrue au niveau de la station profonde (3,52 %), mais elle est plus atténuée dans la station humide (2,71 %). Sur la figure (III.34), le placage du Robusta apparaît comme le plus régulier (2,5 %), du point de vue épaisseur, alors que le placage issu du Beaupré est le plus variable (4,1 %).

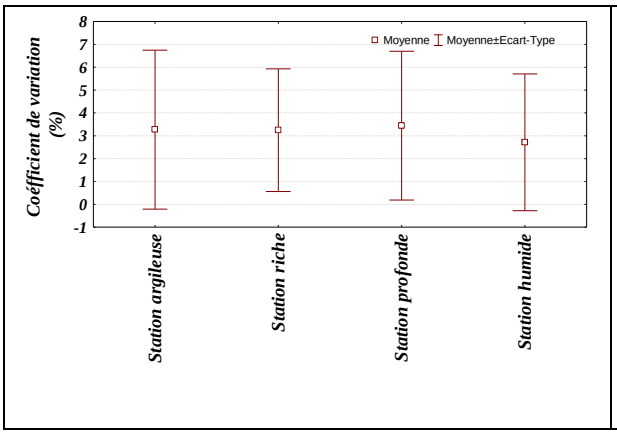


Figure III.33 - Variation du coefficient de variation de l'épaisseur suivant le type de station.

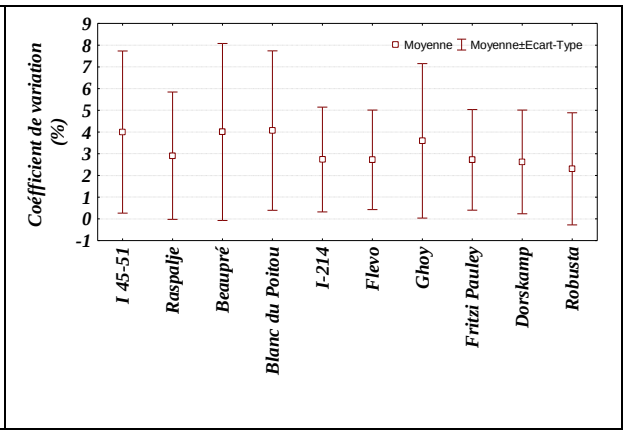


Figure III.34 - Variation du coefficient de variation de l'épaisseur suivant les cultivars.

Par ailleurs les variations de l'uniformité d'épaisseur, suivant le cultivar, pourrait être en partie causée par des variations densimétriques qui sont sans doute sous le contrôle du génotype, des conditions de croissance et des opérations sylvicoles. Toutefois le coefficient de variation de l'épaisseur n'est pas corrélé significativement à la densité des billons (annexe V). Encore une fois toutes ces variations sont très faibles et ne mettent pas en évidence des cultivars ou des stations exceptionnels.

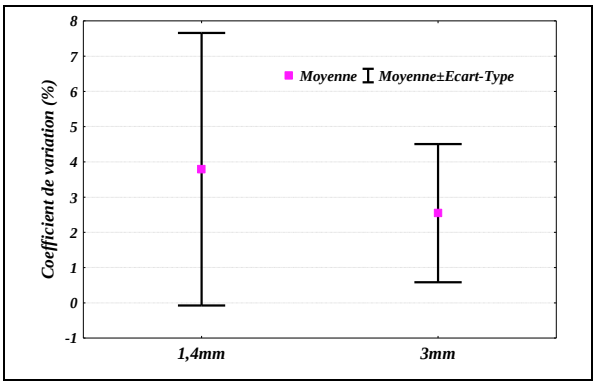


Figure III.35 - Variation du coefficient de variation suivant l'épaisseur nominale.

Notons que l'effet le plus accentué est celui de l'épaisseur nominale (F=22,82). On note un coefficient de variation moyen de 2,54 % pour 3 mm et 3,85 % pour 1,4 mm. Ce résultat est conforme à ce qui est observé usuellement sur bois homogène : plus le placage est mince plus il est difficile de parfaitement maintenir sa régularité d'épaisseur (Marchal, 1989 ; Marchal et al., 1997). Il en va parfois autrement sur bois hétérogène comme le Douglas. En effet, Mothe (1988) a signalé que les variations d'épaisseurs du placage issu du Douglas sont plus fortes lorsque l'épaisseur nominale est élevée.

1.3.4. Rugosité

L'analyse de variance indique que seuls le cultivar et l'interaction station*cultivar influencent significativement l'état de surface des placages. Toutefois ces deux effets n'expliquent qu'un très faible pourcentage de la variance totale, 94,25% de celle ci étant due aux facteurs non contrôlés.

Tableau III.12 - Résultats de l'analyse de variance de la rugosité

	SC	***Ddl***	***MC***	***F***	***P***	***R^2***
(1)Station	*279445*	*3*	*93148,30*	*0,85^{NS}*	*0,47*	*0,07*
(2)Cultivar	*2571437*	*9*	*285715,20*	*2,61**	*0,01*	*0,66*
(3)Epaisseur nominale	*17391*	*1*	*17391,50*	*0,16^{NS}*	*0,69*	*0,00*
(4)Placage (position radiale)	*23020*	*6*	*3836,70*	*0,03^{NS}*	*1,00*	*0,01*
(5)Face (Ouverte/Fermée)	*8280*	*1*	*8280,30*	*0,08^{NS}*	*0,78*	*0,00*
Station*Cultivar	*10698639*	*27*	*396245,90*	*3,61****	*0,00*	*2,74*
Station*Epaisseur nominale	*115726*	*3*	*38575,30*	*0,35^{NS}*	*0,79*	*0,03*
Cultivar*Epaisseur nominale	*103404*	*9*	*11489,40*	*0,10^{NS}*	*1,00*	*0,03*
Station*placage	*139144*	*18*	*7730,20*	*0,07^{NS}*	*1,00*	*0,04*
Cultivar*placage	*504814*	*54*	*9348,40*	*0,09^{NS}*	*1,00*	*0,13*
Epaisseur nominale*placage	*25516*	*6*	*4252,70*	*0,04^{NS}*	*1,00*	*0,01*
Station*face	*6138*	*3*	*2045,90*	*0,02^{NS}*	*1,00*	*0,00*
Cultivar*face	*65974*	*9*	*7330,50*	*0,07^{NS}*	*1,00*	*0,02*
Epaisseur nominale*face	*1189*	*1*	*1189,20*	*0,01^{NS}*	*0,92*	*0,00*
placage*face	*21953*	*6*	*3658,90*	*0,03^{NS}*	*1,00*	*0,01*
Station*Cultivar*Epaisseur nominale	*802507*	*27*	*29722,50*	*0,27^{NS}*	*1,00*	*0,21*
Station*Cultivar*placage	*1392231*	*162*	*8594,00*	*0,08^{NS}*	*1,00*	*0,36*
Station*Epaisseur nominale*placage	*162329*	*18*	*9018,30*	*0,08^{NS}*	*1,00*	*0,04*
Cultivar*Epaisseur nominale*placage	*523460*	*54*	*9693,70*	*0,09^{NS}*	*1,00*	*0,13*
Station*Cultivar*face	*157652*	*27*	*5839,00*	*0,05^{NS}*	*1,00*	*0,04*
Station*Epaisseur nominale*face	*26500*	*3*	*8833,40*	*0,08^{NS}*	*0,97*	*0,01*
Cultivar*Epaisseur nominale*face	*19490*	*9*	*2165,60*	*0,02^{NS}*	*1,00*	*0,00*
Station*placage*face	*59833*	*18*	*3324,10*	*0,03^{NS}*	*1,00*	*0,02*
Cultivar*placage*face	*241619*	*54*	*4474,40*	*0,04^{NS}*	*1,00*	*0,06*
Epaisseur nominale*placage*face	*10356*	*6*	*1726,00*	*0,02^{NS}*	*1,00*	*0,00*
1*2*3*4	*2139536*	*162*	*13207,00*	*0,12^{NS}*	*1,00*	*0,55*
1*2*3*5	*142833*	*27*	*5290,10*	*0,05^{NS}*	*1,00*	*0,04*
1*2*4*5	*878903*	*162*	*5425,30*	*0,05^{NS}*	*1,00*	*0,22*
1*3*4*5	*109055*	*18*	*6058,60*	*0,06^{NS}*	*1,00*	*0,03*
2*3*4*5	*349038*	*54*	*6463,70*	*0,06^{NS}*	*1,00*	*0,09*
1*2*3*4*5	*893762*	*162*	*5517,10*	*0,05^{NS}*	*1,00*	*0,23*
Erreur	*368505641*	*3361*	*109641,70*			*94,25*

**** : Variance significative au seuil de 0,1%.*
** : Variance significative au seuil de 5%.*
NS : Variance non significative.

La figure III.36 montre que la rugosité moyenne d'un même cultivar varie suivant les stations, mais il faut noter que pour tous les cultivars et pour toutes les stations les rugosités moyennes s'échelonnent entre 124 et 330 (mm d'eau), rappelons qu'une forte valeur correspond à une rugosité faible. La variabilité inter-cultivars est plus marquée au niveau des stations argileuse et riche. Les placages ayant le meilleur état de surface sont ceux issus du Blanc du Poitou, du Beaupré, du Raspalje et du Fritzi Pauley provenant respectivement des stations : argileuse, riche, profonde et humide. Par contre les placages du I-214 provenant de la station argileuse

paraissent comme les plus rugueux (124 mm d'eau). Cette variabilité suivant les cultivars et les stations serait le reflet des variations de la vitesse de croissance et de la densité qui sont fortement liées aux conditions de croissance et au génotype. Toutefois cette hypothèse reste faible car statistiquement la rugosité moyenne des billons déroulés n'est pas liée significativement à leurs densités (annexe V).

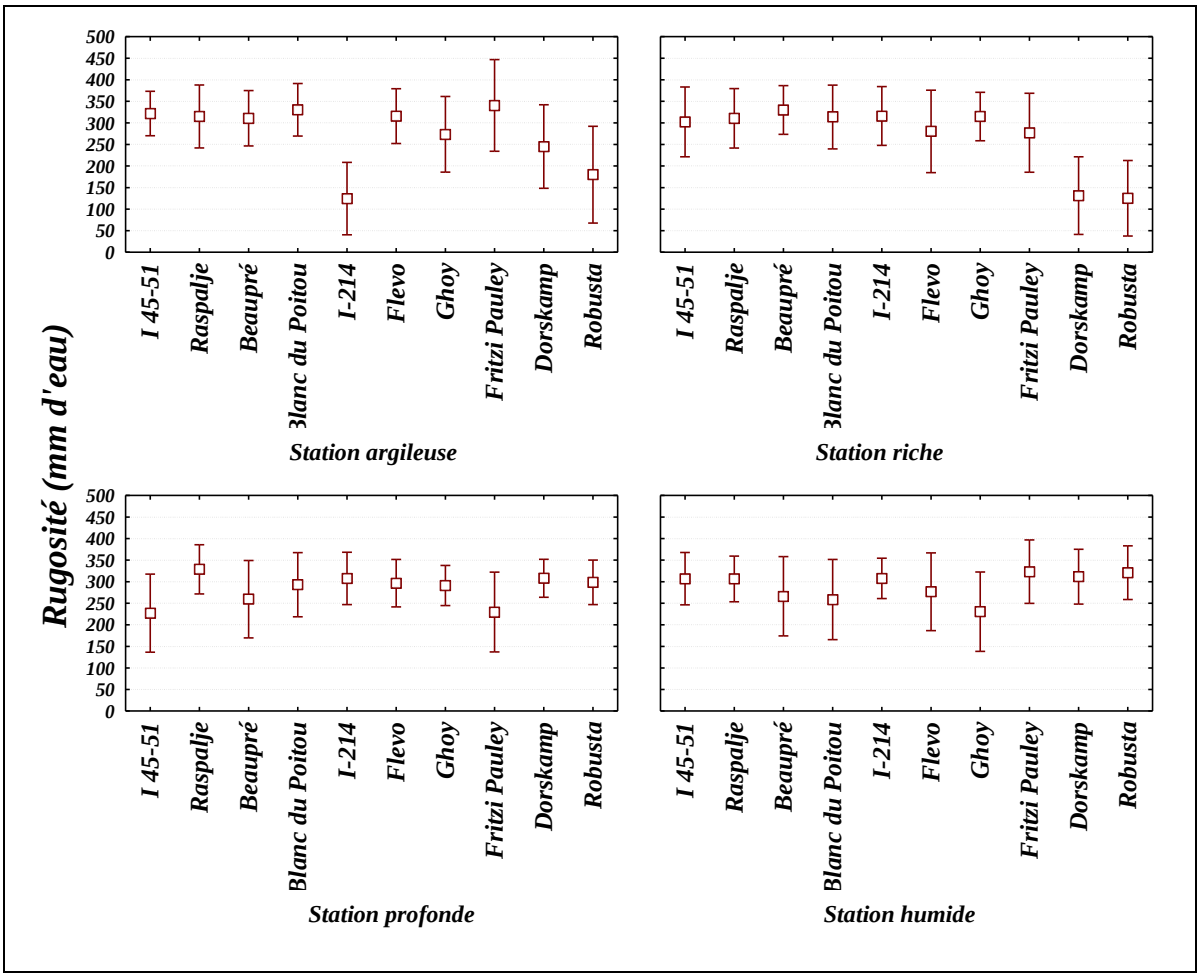


Figure III.36 - Variation de la rugosité suivant les cultivars dans les quatre types de stations étudiées.

Selon l'analyse de variance, la rugosité des placages ne varie pas selon l'épaisseur nominale du déroulage ni selon la position radiale. La valeur moyenne relevée sur le rugosimètre est de 280 (mm d'eau), valeur très proche de celle des surfaces lisses. Malgré leur aspect pelucheux les placages ne sont pas rugueux, cela pourrait être du au fait que le rugosimètre pneumatique ne perçoit pas les arrachements locaux dus à la peluche. D'ailleurs nous ne notons aucune corrélation significative entre la rugosité et le pourcentage de placage pelucheux (annexe V). Mothe (1985) suppose que les arrachements de surface ne sont pas perceptibles par la méthode pneumatique. Notons aussi qu'en général le bois de peuplier ne renferme que des vaisseaux fins qui de ce fait ne participe que fort peu à la rugosité et que de plus les variations d'épaisseur mesurées ne sont pas très importantes.

1.3.5. Fissuration

Pour une même feuille de placage l'état de surface reste homogène quelle que soit la face considérée (tableau III.12). La figure III.37 en témoigne, les rugosités moyennes des deux faces sont toutes les deux égales à 280 (mm d'eau). La différence non significative de la rugosité entre les deux faces peut signifier que les placages sont très peu fissurés.

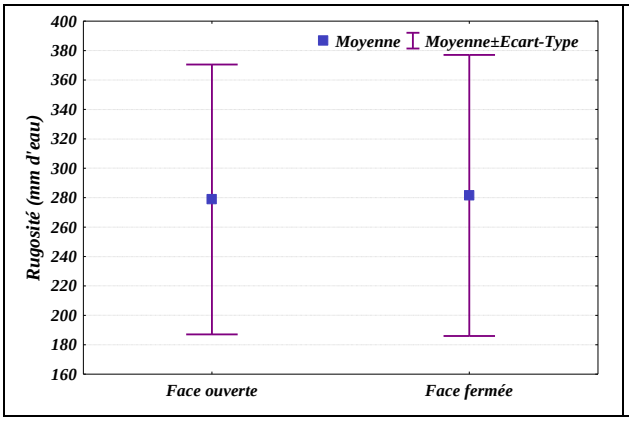


Figure III.37 - Variation de la rugosité suivant la face du placage.

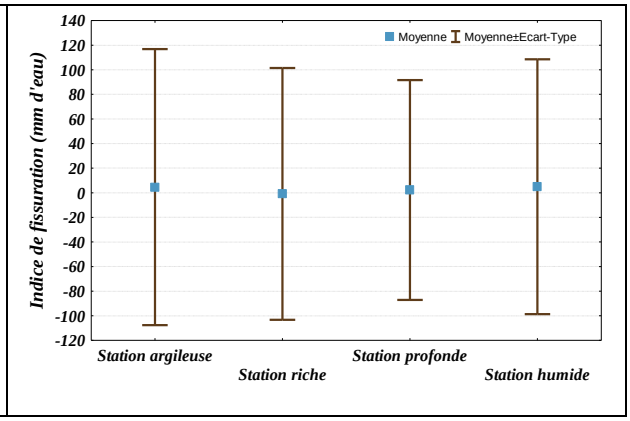


Figure III.38 - Variation de l'indice de fissuration selon le type de station.

Pour mieux visualiser cela nous avons calculé l'indice de fissuration qui n'est que la différence entre la rugosité de la face fermée et celle de la face ouverte du placage. Selon l'analyse de variance cet indice ne subit aucun effet significatif des facteurs étudiés.

Tableau III.13 - Résultats de l'analyse de variance de l'indice de fissuration

	SC	Ddl	MC	F	P
(1)Station	12267	3	4089,02	$0,39^{NS}$	0,76
(2)Cultivar	131985	9	14664,95	$1,42^{NS}$	0,18
(3)Epaisseur nominale	2383	1	2382,96	$0,23^{NS}$	0,63
(4)Placage (position radiale)	43877	6	7312,88	$0,71^{NS}$	0,64
Station*Cultivar	315344	27	11679,42	$1,13^{NS}$	0,30
Station*Epaisseur nominale	52965	3	17655,15	$1,70^{NS}$	0,16
Cultivar*Epaisseur nominale	38963	9	4329,26	$0,42^{NS}$	0,93
Station*placage	119664	18	6648,00	$0,64^{NS}$	0,87
Cultivar*placage	483296	54	8949,93	$0,86^{NS}$	0,75
Epaisseur nominale*placage	20709	6	3451,53	$0,33^{NS}$	0,92
Station*Cultivar*Epaisseur nominale	285677	27	10580,62	$1,02^{NS}$	0,43
Station*Cultivar*placage	1757546	162	10849,05	$1,05^{NS}$	0,33
Station*Epaisseur nominale*placage	218094	18	12116,36	$1,17^{NS}$	0,28
Cultivar*Epaisseur nominale*placage	698164	54	12928,95	$1,25^{NS}$	0,11
1*2*3*4	1788031	162	11037,23	$1,07^{NS}$	0,28
Erreur	17412252	1681	10358,27		

NS : Variance non significative.

En effet une simple comparaison des indices moyens obtenus par station permet de s'en rendre compte, les valeurs moyennes obtenues pour les quatre stations sont quasiment égales. La même remarque est valable pour les indices moyens obtenus par cultivars et par épaisseur nominale de placage. Les indices de fissuration sont très faibles les valeurs moyennes étant

aux alentours de 20 mm d'eau. Ceci serait la conséquence de l'homogénéité et la faible densité du bois de peuplier, car souvent dans le cas des bois non homogènes tel que le châtaignier et le douglas, le passage brutal du bois final au bois de printemps favorise la fissuration Movassaghi (1985). Ajoutons à cela le fait que les mesures soient faites sur des placages aplanis, ce qui ne permet pas de révéler facilement les fissures. Une amélioration de la méthode de mesure permettrait de faire une évaluation plus précise de ce défaut.

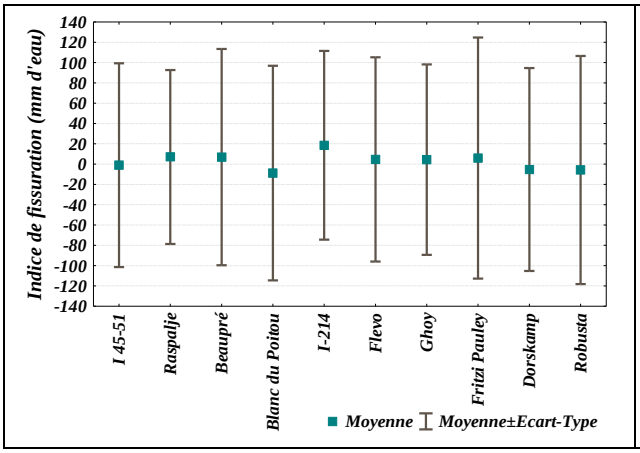


Figure III.39 - Variation de l'indice de fissuration suivant les cultivars.

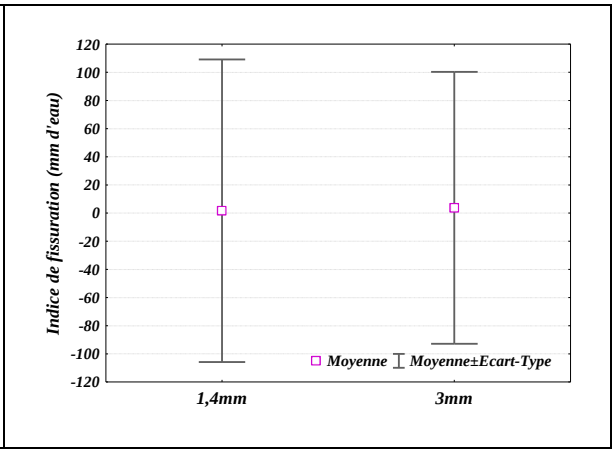


Figure III.40 - Variation de l'indice de fissuration selon l'épaisseur nominale.

Toutes les indications confirment que le peuplier quel qu'il soit présente une déroulabilité exceptionnelle et permet la production de placage de très bonne qualité. Il n'est absolument pas possible de classer les cultivars sur ce critère de déroulabilité et par conséquent le processus industriel en est fortement facilité.

2. Déroulage industriel

2.1. Rendement quantitatif

C'est le rendement en placage obtenu sans considérer la partie du noyau.

Tableau III.14 - Résultats de l'analyse de variance du rendement en placage.

	SC	Ddl	MC	F	p
Station	0,25712	3	0,08571	0,003^{NS}	0,999631
Cultivar	0,24424	9	0,02714	0,001^{NS}	1,000000
Station*Cultivar	1,81509	27	0,06723	0,003^{NS}	1,000000
Erreur	28,03890	1	28,03890		

NS : variance non significative

Statistiquement, le rendement en placage est indépendant des effets station et cultivar. Toutes les variances calculées sont non significatives. Cependant il est connu que le taux de croissance des arbres dépend fortement du génotype, des conditions de croissance et de la sylviculture. Par conséquent le rendement est supposé varier suivant les stations et les cultivars. Cela ne semble

pas concerner les arbres échantillonnés dans le cadre de cette étude, car ils sont relativement homogènes en taille et en géométrie puisque cela faisait partie de notre cahier des charges.

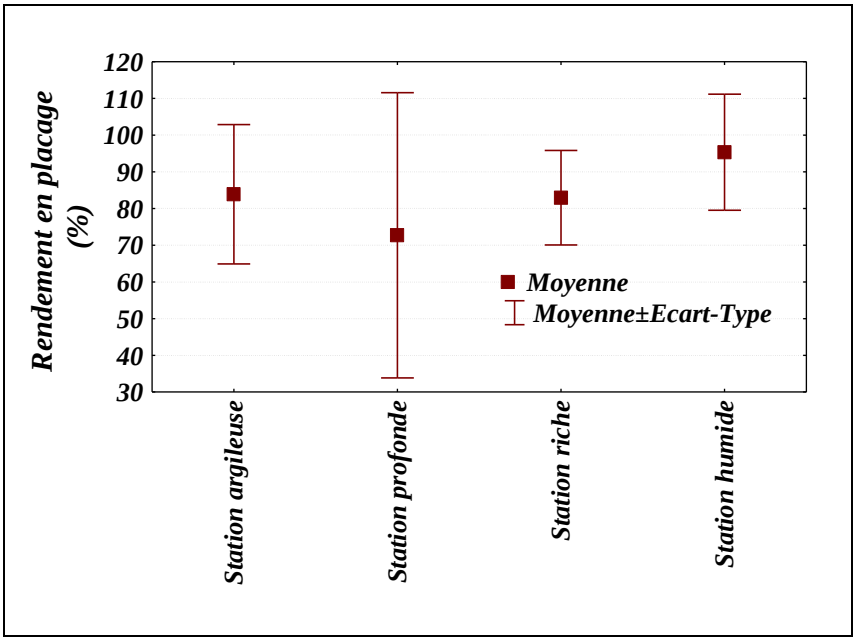


Figure III.41 - Rendement en placage moyen calculé pour chaque type de station.

Les rendements notés pour les quatre types de station sont approximativement identiques, ils varient entre 79% et 95%, il est donc difficile de faire une comparaison entre les quatre stations même à titre indicatif. Quant aux différences de rendement entre les cultivars elles ne sont pas très marquées non plus, les rendements moyens par cultivar allant d'une valeur maximale de 96 % (Fritzi Pauley) à une valeur minimale de 70% (Flevo).

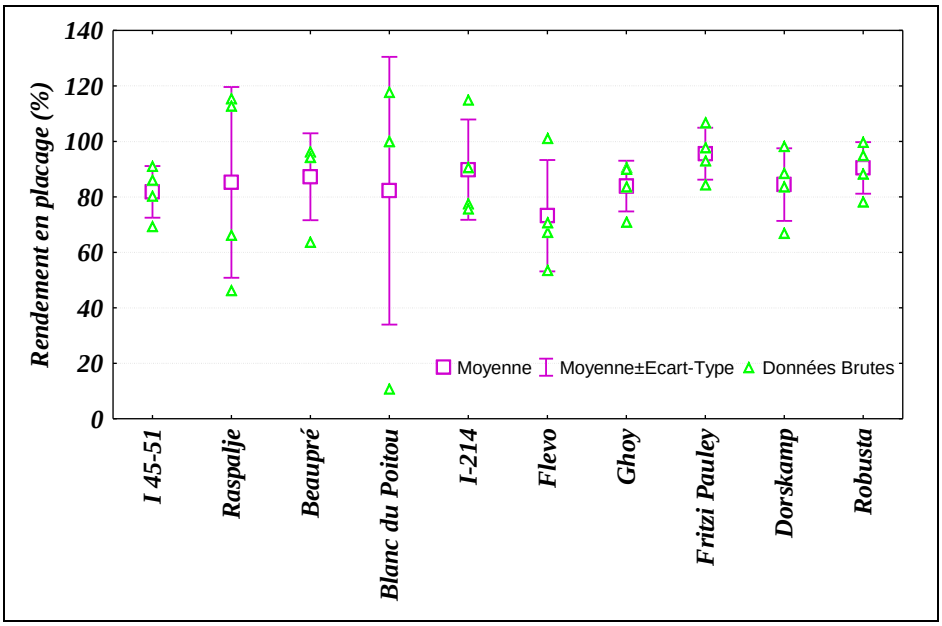


Figure III.42- Rendement en placage moyen calculé pour chaque cultivar.

Comme nous l'avons déjà précisé, les quatre stations sont représentées par 13 sites. Suite à cela nous avons supposé que la variabilité inter-station du rendement serait masquée par un effet

site. Or l'analyse de variance ne révèle aucun effet significatif du site, comme le confirme le tableau III.15. Notons que les rendements moyens calculés par site, sont très proches, tous supérieurs à 60%.

Tableau III.15- Résultats de l'analyse de variance du rendement en placage.

	SC	***Ddl***	***MC***	***F***	***P***
Site	*7017,9*	*12*	*584,8*	*0,98*^{NS}	*0,49*
Erreur	*16146,7*	*27*	*598,0*		

NS : variance non significative

Dans l'ensemble, les rendements obtenus sont majoritairement élevés. Ceci serait du au fait que les billons soient bien centrés sur les griffes de la dérouleuse, ce qui réduit les déchets et favorise l'obtention d'un meilleur rendement. Ajoutons aussi que la cylindricité des billons, qui était un des critères de l'échantillonnage, améliore le rendement, surtout que les billons déroulés sont tous prélevés à 3 m de hauteur.

Cependant il convient de dire que l'interprétation des valeurs moyennes obtenues nécessite de prendre en considération l'existence de quelques valeurs atypiques. En effet si nous prenons comme référence les graphiques III.42 et III.43, nous constatons que certains sites affichent des rendements supérieurs à 100%. Cette anomalie serait le résultat d'une sous-estimation des diamètres ou D'erreurs de comptage. Selon le dérouleur il arrive qu'un placage soit comptabilisé quand le massicot est actionné sans qu'il y ait réellement de placage, mais cela reste marginal. Une autre valeur (10%) paraît aussi éloignée des tendances générales, il s'agit d'un billon qui a explosé lors du déroulage.

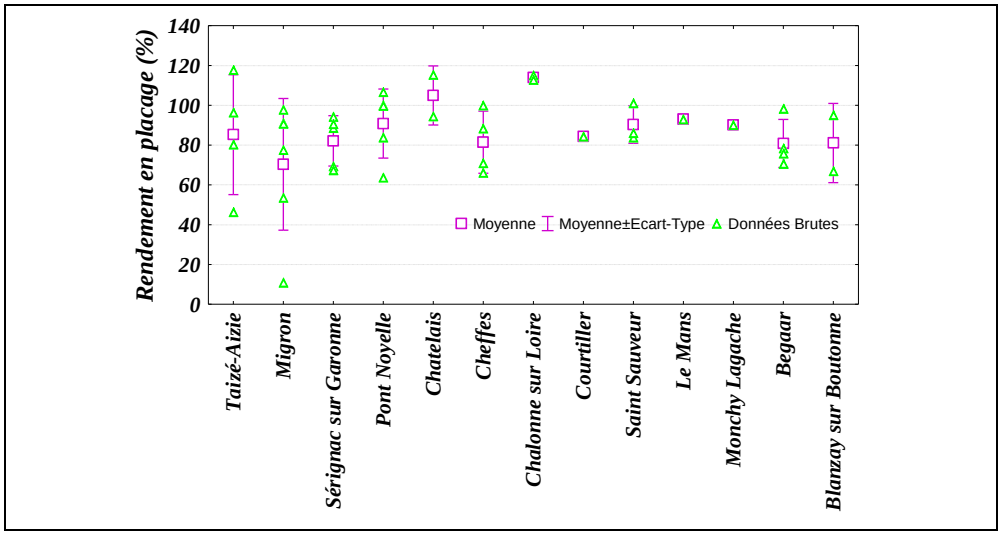


Figure III.43 - Rendement en placage moyen calculé par site.

2.2. Rendements qualitatifs

Tableau III.16 -Résultats de l'analyse de variance du rendement en qualité ''Contreplaqué mauvaise''

	SC	Ddl	MC	F	P
Station	4508,24	3	1502,75	0,015 NS	0,99
Cultivar	12610,62	9	1401,18	0,014 NS	0,99
Station*Cultivar	24418,22	27	904,38	0,009 NS	1
Erreur	94104,51	1	94104,51		

NS : variance non significative

Encore une fois, la station et le cultivar n'ont aucun effet significatif sur le rendement qualitatif. Ceci concorde bien avec l'appréciation globale du dérouleur qui ne voyait pas de disparité entre les cultivars. En effet à son sens les 40 billons déroulés présentent tous la même qualité de placage. Mais seulement 8 billons font exception de ce constat, il s'agit du Ghoy et du I-214, qui d'après le dérouleur donnent un placage clair non pelucheux.

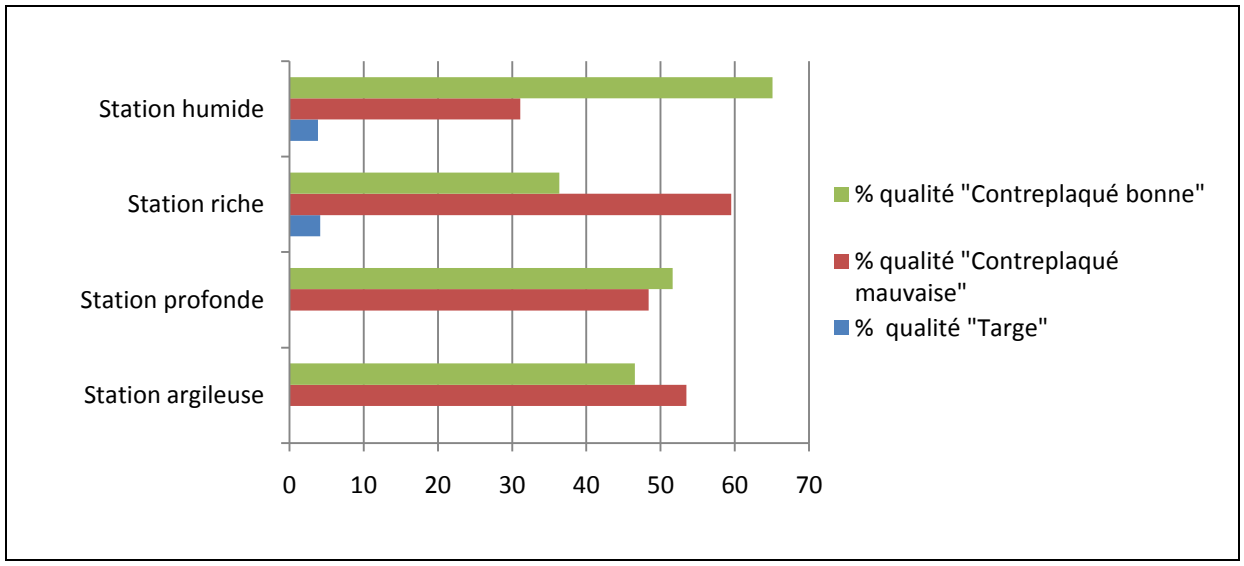


Figure III.44 - Variation des rendements qualitatifs selon les stations.

C'est au niveau des stations humides et riches que nous notions le rendement en qualité de targe le plus élevé, 4%. La station humide présente le meilleur rendement en qualité "Contreplaqué bonne" 65% tandis que la station riche affiche le plus faible pourcentage de qualité "Contreplaqué bonne" 36%. Le rendement en qualité "Contreplaqué mauvaise" le plus important est noté au niveau de la station riche.

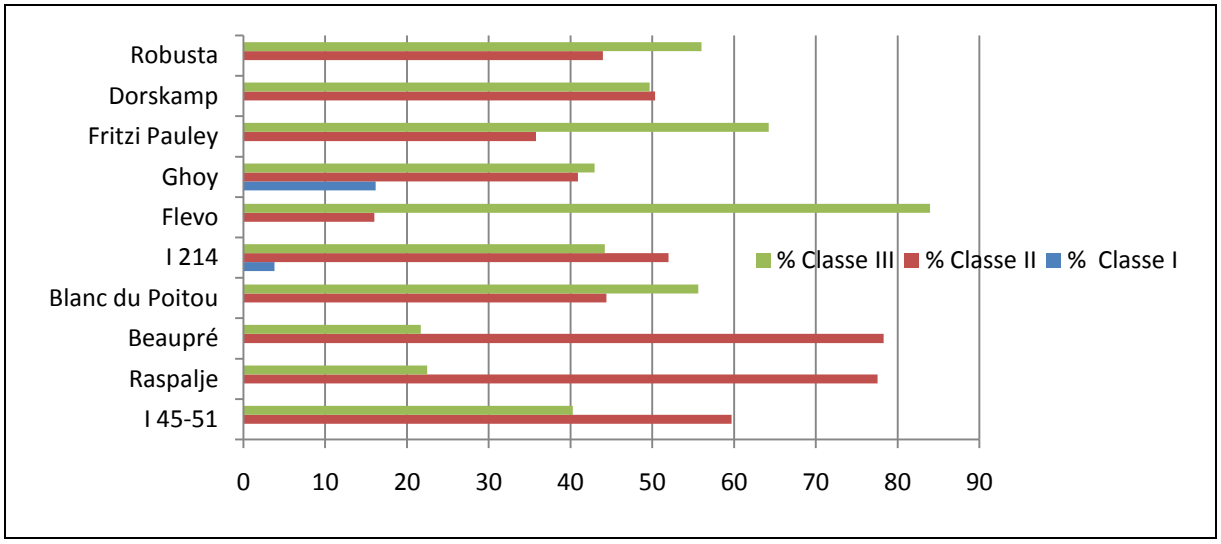


Figure III.45 - Variation des rendements qualitatifs selon les cultivars.

En comparant les cultivars, nous retrouvons les observations du dérouleur. En effet le Ghoy et le I-214 sont les seuls cultivars ayant produit de la qualité "targe". Mais leurs proportions restent très faibles. Seulement 16% des placages du Ghoy et 4% des placages du I-214 ont une qualité "Targe". Les autres cultivars sont tous classés hors qualité "targe". Le Beaupré et le Raspalje ont les meilleurs rendements en qualité "contreplaqué bonne" (78%). Pour le rendement en qualité contreplaqué "mauvaise", il est plus élevé chez le Flevo.

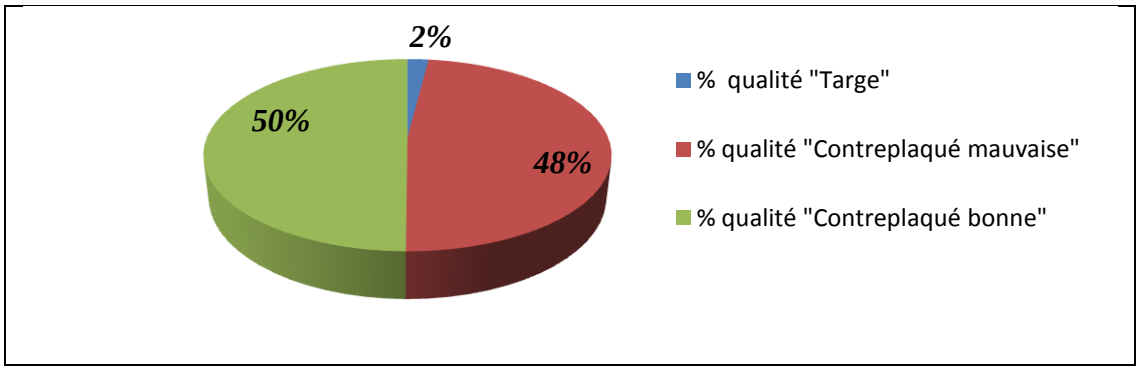


Figure III.46 - Rendements qualitatifs obtenus.

De façon globale les cultivars déroulés ont tendance à être plus aptes à une utilisation dans la fabrication des panneaux que dans l'emballage léger, car 98% du rendement total est classé comme qualité "Contreplaqué" alors que la qualité targe ne représente que 2% du rendement total. Cependant cette campagne a été largement faussée par la prise de teinte brunie par la plupart des billons du fait du stockage long dans l'eau. Cela a part conséquent provoqué la quasi-absence de production de targe dont l'un des critères est la clarté et l'homogénéité de teinte du bois.

Encore une fois, l'ensemble des cultivars ont tous les mêmes aptitudes, quel que soit leur provenance. Une différence de teinte ou de clarté aurait pu être mise en évidence si les billons n'ont pas été stockés longtemps dans l'eau. Une campagne industrielle sur des billons fraîchement abattus pourrait clarifier cet aspect.

3. Caractérisation mécanique des panneaux

Les placages (1,4 mm et 3 mm) issus du déroulage semi-industriel ont été assemblés et collés en utilisant deux types de colles (PVAC et MUF) pour fabriquer 320 panneaux contreplaqués et LVL, soit 8 types de panneaux par site et par cultivar (tableau II.4). Chaque panneau a été caractérisé par des essais non destructifs (méthode vibratoire BING) et destructifs en flexion et en cisaillement. Ainsi, nous avons mesuré les grandeurs suivantes :

- Le module d'élasticité statique ;
- La contrainte de rupture en flexion ;
- Le module d'élasticité dynamique ;
- La contrainte de rupture en cisaillement ;
- La masse volumique.

Pour chaque grandeur mesurée nous avons cherché à quantifier sa variabilité selon les facteurs : type de station forestière, cultivar, type de colle et épaisseur du placage, en se basant sur l'analyse de variance. Nous avons aussi essayé de mettre en évidence les corrélations éventuelles existantes entre les propriétés des panneaux fabriqués et celles du bois massif mesurés sur les mêmes arbres que nous avons utilisés.

3.1 Panneaux contreplaqués

Selon l'analyse de variance le type de station et le cultivar n'ont aucun effet significatif sur les propriétés mécaniques et la masse volumique des panneaux contreplaqué, tandis que le type de colle et l'épaisseur du placage ont des effets significatifs sur la rigidité, la résistance mécanique et sur la masse volumique des panneaux. En effet le type de colle influe significativement sur la contrainte de rupture en flexion au seuil de 0,1%, ainsi sur la contrainte de rupture en cisaillement et la masse volumique respectivement au seuil de 5 et 0,1%.

L'épaisseur du placage à un effet significatif au seuil de 5% sur le module d'élasticité dynamique et sur la masse volumique, elle a aussi un effet significatif mais au seuil de 0,1% sur le module de rupture en cisaillement. Remarquons que le module d'élasticité statique est statistiquement indépendant de tout effet. Il est à signaler aussi que toutes les interactions sont non significatives, chose qui nous permet d'interpréter les effets principaux.

Tableau III.17 -Résultats de l'analyse de variance.

	MOE stat		MOE dyn		MOR		τ		ρ	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
(1)Station	*0,63 NS*	*0,59*	*0,58 NS*	*0,63*	*0,06 NS*	*0,98*	*0,35 NS*	*0,79*	*0,26 NS*	*0,85*
(2)Cultivar	*0,93 NS*	*0,50*	*1,73 NS*	*0,08*	*0,34 NS*	*0,96*	*0,24 NS*	*0,99*	*0,56 NS*	*0,83*
(3)Colle	*0,65 NS*	*0,42*	*0,51 NS*	*0,47*	***25,37******	***0,00***	***5,50****	***0,02***	***6,68****	***0,01***
(4)Epaisseur du placage	*3,29 NS*	*0,07*	***6,30****	***0,01***	*0,09 NS*	*0,76*	***24,51******	***0,00***	***6,80****	***0,01***
1*2	*0,21 NS*	*1,00*	*0,29 NS*	*1,00*	*0,36 NS*	*1,00*	*0,35 NS*	*1,00*	*0,07 NS*	*1,00*
1*3	*0,07 NS*	*0,98*	*0,12 NS*	*0,95*	*1,82 NS*	*0,14*	*0,47 NS*	*0,70*	*0,02 NS*	*1,00*
2*3	*0,05 NS*	*1,00*	*0,04 NS*	*1,00*	*0,54 NS*	*0,84*	*0,55 NS*	*0,84*	*0,02 NS*	*1,00*
1*4	*0,04 NS*	*0,99*	*0,06 NS*	*0,98*	*0,48 NS*	*0,70*	*0,37 NS*	*0,78*	*0,02 NS*	*1,00*
2*4	*0,09 NS*	*1,00*	*0,09 NS*	*1,00*	*0,16 NS*	*1,00*	*0,37 NS*	*0,95*	*0,02 NS*	*1,00*
3*4	*0,09 NS*	*0,77*	*0,05 NS*	*0,82*	*0,11 NS*	*0,74*	*0,37 NS*	*0,54*	*0,69 NS*	*0,41*
1*2*3	*0,05 NS*	*1,00*	*0,03 NS*	*1,00*	*0,31 NS*	*1,00*	*0,26 NS*	*1,00*	*0,01 NS*	*1,00*
1*2*4	*0,08 NS*	*1,00*	*0,07 NS*	*1,00*	*0,27 NS*	*1,00*	*0,23 NS*	*1,00*	*0,02 NS*	*1,00*
1*3*4	*0,15 NS*	*0,93*	*0,03 NS*	*0,99*	*0,32 NS*	*0,81*	*0,41 NS*	*0,75*	*0,01 NS*	*1,00*
2*3*4	*0,08 NS*	*1,00*	*0,02 NS*	*1,00*	*0,18 NS*	*1,00*	*0,60 NS*	*0,80*	*0,01 NS*	*1,00*
1*2*3*4	*0,03 NS*	*1,00*	*0,06 NS*	*1,00*	*0,18 NS*	*1,00*	*0,29 NS*	*1,00*	*0,01 NS*	*1,00*

MOE stat: Module d'élasticité statique. ***: variance significative au seuil de 0,1%.
MOE dyn : Module d'élasticité dynamique. *: variance significative au seuil de 5%.
MOR : Contrainte de rupture en flexion. NS: variance non significative.
τ : Contrainte de rupture en cisaillement.
ρ : Masse volumique.

3.1.1 Module d'élasticité statique

Le module d'élasticité statique a été calculé suite à des essais de flexion quatre points sur 1920 éprouvettes de contreplaqué, soit 12 éprouvettes par panneau. La sollicitation étant perpendiculaire aux joints de colle. Ce module ne semble pas varier selon le type de station. Les bois issus des quatre stations produisent des contreplaqués affichant tous des modules très proches. Les stations : argileuse, riche et humide présentent des modules proches de 4500 MPa et la station profonde produit les contreplaqués au module le plus élevé (4921 MPa).

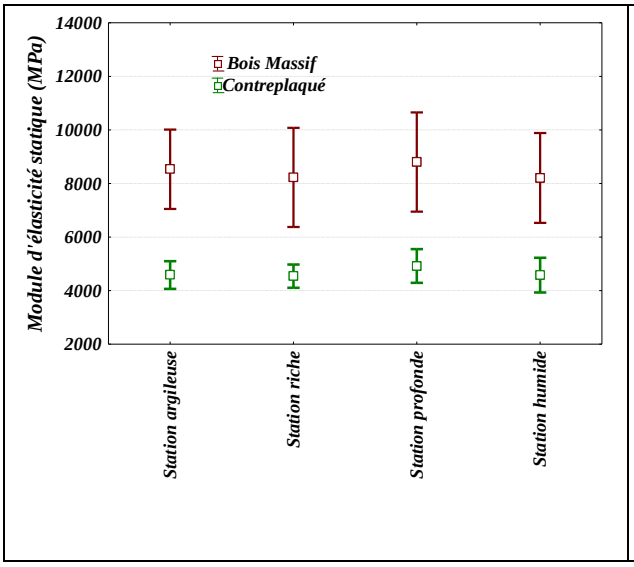


Figure III.47 - Variation du module d'élasticité statique des contreplaqués selon les stations.

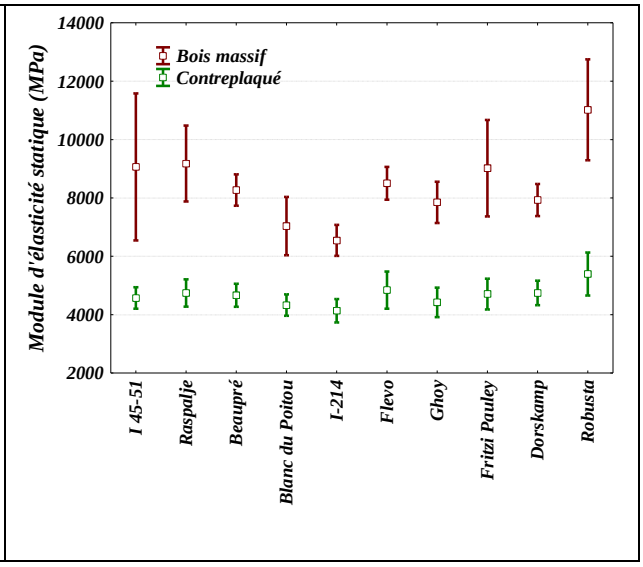


Figure III.48 - Variation du module d'élasticité statique des contreplaqués selon les cultivars.

Conformément aux résultats de l'analyse de variance, le module d'élasticité statique ne varie pas significativement selon les cultivars. La rigidité moyenne des 10 cultivars varient entre

4135 MPa et 5394 MPa. C'est le Robusta qui donne la meilleure rigidité (5394 MPa), suivi par le Flevo (4841 MPa). Le I 45-51, le Raspalje, le Beaupré, le Fritzi Pauley et le Dorskamp ont tous des modules entre 4574 MPa et 4841 MPa. Le Blanc du Poitou, le Ghoy et le I-214 apparaissent comme les moins rigides leurs modules étant entre 4136 et 4424 MPa. Bien qu'elle ne soit statistiquement significative, cette variabilité inter-cultivar serait le reflet des différences densimétriques entre les cultivars, en effet le module d'élasticité est corrélé positivement à la masse volumique du bois massif[10] au seuil de 0,1%, cette corrélation est plus marquée sur les contreplaqués collés à la MUF que sur ceux collés à la PVAC.

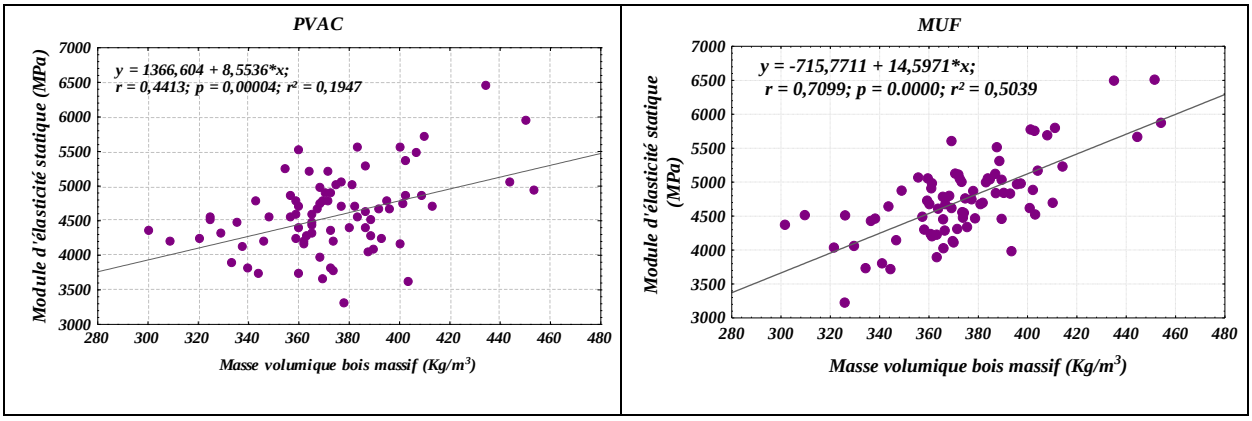


Figure III.49 - Variation du module d'élasticité statique des contreplaqués en fonction de la masse volumique du bois massif.

Notons que les classements suivant les types de station et les cultivars sont souvent quasiment ceux obtenus sur planches de bois massif, mais avec des écarts très importants, en effet la rigidité est parfois plus que doublée dans le cas du bois massif, l'écart moyen est de 3785 MPa. Cet écart a tendance à varier suivant les cultivars, cependant l'analyse de variance ne révèle aucun effet significatif sur cette différence (annexeVII). Il est à souligner que le module d'élasticité statique des contreplaqués est corrélé positivement à celui du bois massif au seuil de 0,1% avec une corrélation plus marquée dans le cas de la MUF (r =0,63) que dans le cas de la PVAC (r =0,55) (annexe V).

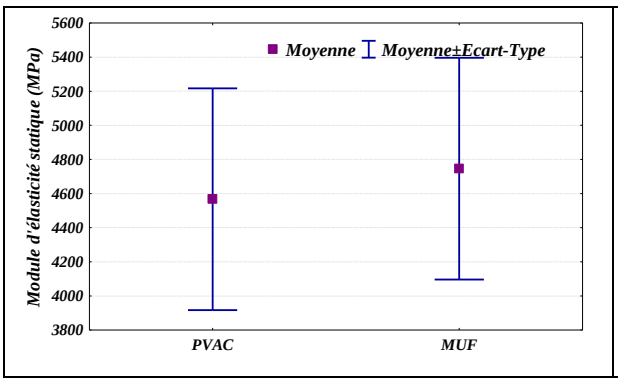


Figure III.50 - Variation du module d'élasticité statique suivant le type de colle.

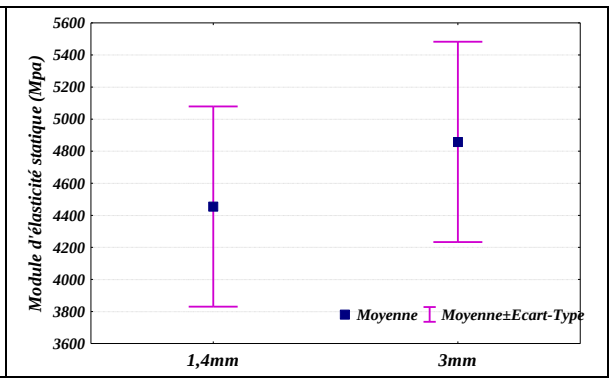


Figure III.51 - Variation du module d'élasticité statique suivant l'épaisseur du placage.

[10] Planches issues du billon 1 et testées en flexion 4 points par FCBA.

Le module d'élasticité statique des panneaux contreplaqué collés avec la MUF a tendance à être supérieur au module obtenu dans le cas des panneaux collés avec la PVAC. Ceci serait expliqué par le fait que la MUF est plus rigide que la PVAC qui est non structurelle. Un essai de compression effectué sur des éprouvettes de colles massives (5 x 5 x 6 mm^3), nous a confirmé cela. Le test a montré que la MUF a une rigidité de 3027 MPa, tandis que celle de la PVAC est de 1385 MPa.

Toutefois la rigidité des panneaux contreplaqués semble s'améliorer avec l'augmentation de l'épaisseur du placage. En effet le module d'élasticité passe de 4455 MPa dans le cas de l'épaisseur 1,4 mm à 4858 dans le cas de l'épaisseur 3 mm. Lanvin et al (2006) sont l'un des rares auteurs à avoir observé la même tendance sur des contreplaqués de chêne, avec une augmentation de 15%. Ce résultat est paradoxal car il est généralement observé une tendance inverse attribué à l'augmentation de la fissuration. Cependant la différence est statistiquement non significative, cela est probablement du au fait que les placages de 3 mm sont peu fissurés comme nous l'avons vérifié en utilisant le SMOF[11] qui nous a permis de constater que la profondeur des fissures ne dépasse pas 30 à 40 % de l'épaisseur du placage.

3.1.2 Module d'élasticité dynamique

Ce module a été obtenu à travers des essais de la méthode vibratoire BING en appliquant une percussion en flexion à plat sur les mêmes 1920 éprouvettes de contreplaqué testées en flexion 4 points. A l'instar du module statique, le module d'élasticité dynamique ne change pas notablement d'une station à l'autre. C'est encore au niveau de la station profonde qu'on note le module dynamique le plus élevé (6720 MPa) alors que le plus faible module est noté au niveau de la station riche (6169 MPa). Pour les cultivars, le Robusta et le Fritzi Pauley donnent les modules dynamiques les plus élevés. Par contre le Blanc du Poitou, le I-214 et le Ghoy affichent les modules les plus faibles.

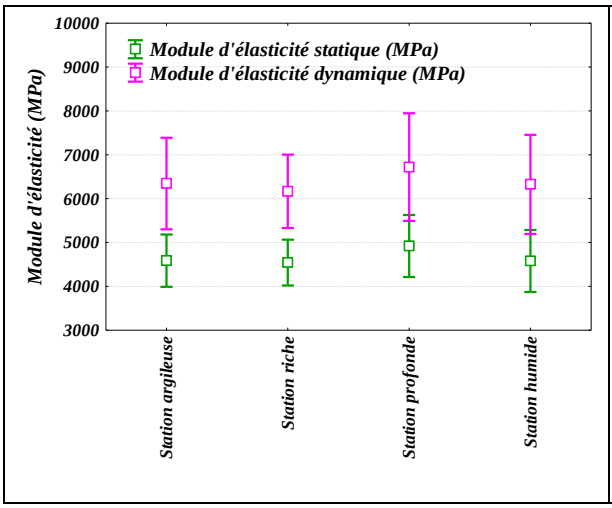


Figure III.52-Variation du module d'élasticité dynamique selon les stations.

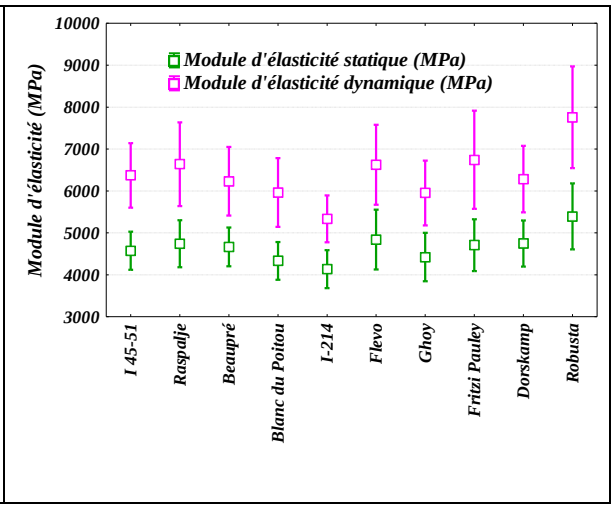


Figure III.53-Variation du module d'élasticité dynamique selon les cultivars.

[11] Dispositif permettant de mesurer la profondeur et la fréquence des fissures (Palubicki et al,. 2009).

Il s'avère que le classement du module dynamique suivant les stations et cultivars est pratiquement le même que celui du module statique. Une corrélation hautement significative au seuil de 0,1% existe entre les deux modules avec un coefficient de corrélation r = 0,85 (figure III.55). Cependant le module dynamique est constamment supérieur au module statique. La méthode vibratoire semble surestimer la valeur du module au près de 30%. L'analyse de variance ne dévoile aucun effet significatif sur cette différence, elle est perpétuellement invariable (annexe VII).

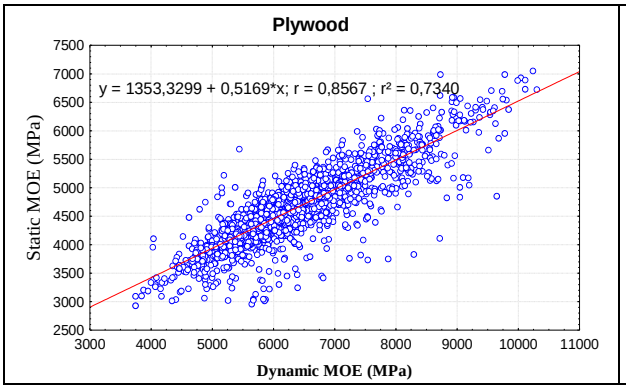


Figure III.54 - Corrélation entre le module statique et dynamique des contreplaqués.

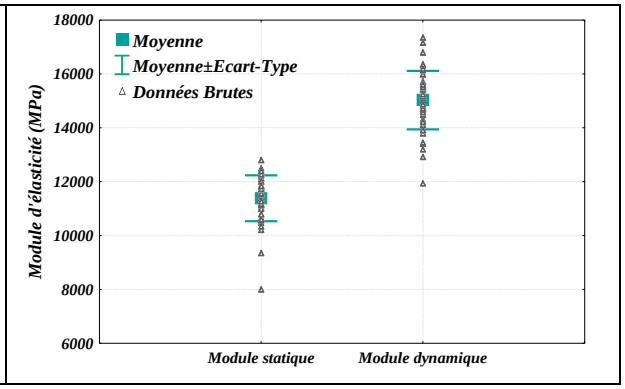


Figure III.55 - Modules statiques et dynamiques d'éprouvettes massives de peuplier.

Afin de vérifier que cet écart entre le module statique et dynamique n'est pas dû à la spécificité du contreplaqué (le croisement de fil notamment), ni à la présence de la colle, nous avons effectué des essais de flexion dynamique (méthode vibratoire BING) et statique (flexion 4 points) sur 48 éprouvettes massives[12] de peuplier. Ainsi nous avons constaté que même dans le cas du bois massif, l'écart moyen entre les deux modules (dynamique et statique) reste toujours aux alentours de 30%. Donc effectivement cet écart n'est pas dû à la présence de la colle, mais le que fait que la rigidité apparente augmente avec la vitesse de sollicitation.

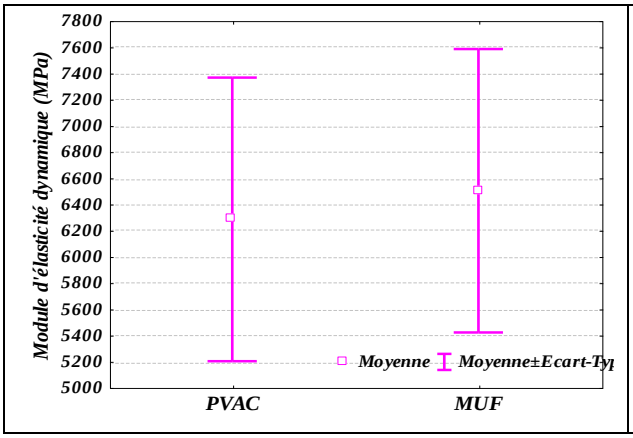


Figure III.56 - Variation du module d'élasticité dynamique suivant le type de colle.

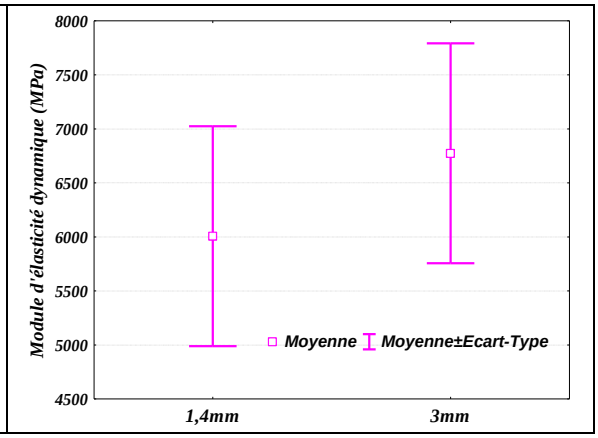


Figure III.57 - Variation du module d'élasticité dynamique suivant l'épaisseur du placage.

Bien que l'analyse de variance exclu l'effet de la colle sur le module d'élasticité dynamique, ce dernier tend à être plus élevé dans le cas des contreplaqués collés avec la MUF. Le module

[12] Eprouvettes issues d'un même arbre et de la même hauteur. Leurs dimensions sont identiques à celles des éprouvettes contreplaqués et LVL utilisées dans ces mêmes essais.

dynamique des contreplaqués augmente aussi avec l'épaisseur du placage. Nous notons un module de 6007 MPa dans le cas du placage à 1,4 mm et 6774 MPa dans le cas du placage à 3 mm. Le phénomène observé est plus accentué en valeur relative par rapport au module statique : l'augmentation étant de 11% dans le cas du module dynamique et de 8% dans le cas du module statique. Cela reste toutefois peu significatif.

3.1.3 Contrainte de rupture en flexion

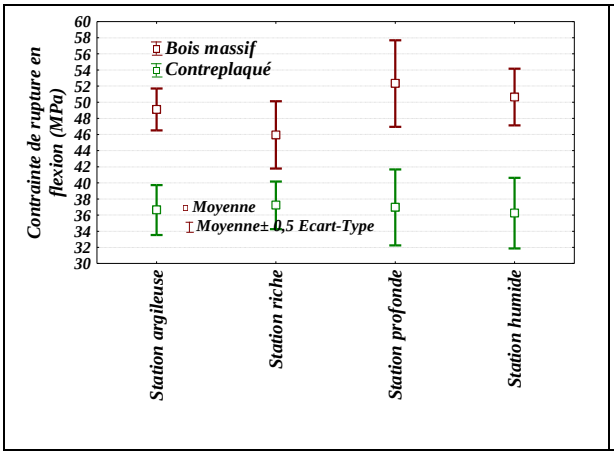


Figure III.58 - Variation de la contrainte de rupture des contreplaqués en flexion suivant les stations.

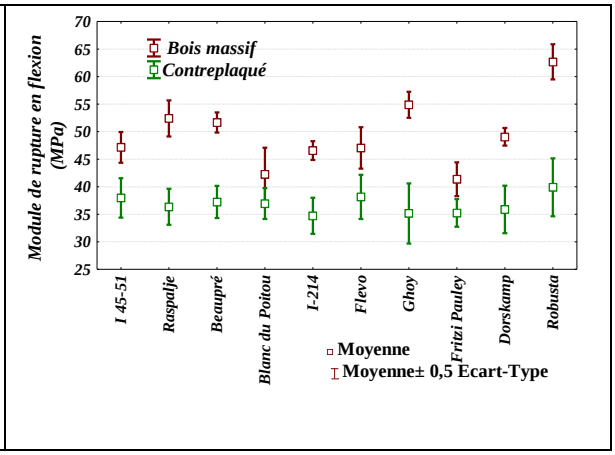


Figure III.59- Variation de la contrainte de rupture en flexion des contreplaqués selon les cultivars.

La contrainte moyenne par station est quasiment constante en allant d'une station à l'autre et est toujours située entre 36 à 37 MPa. Les cultivars présentent tous des résistances qui s'échelonnent entre 35 et 40 MPa. Le Robusta semble être le plus résistant en flexion (40 MPa) alors que le I-214 (35 MPa) est le moins résistant en flexion. Dans le cas du bois massif, la variabilité inter-station et inter-cultivar est plus prononcée que pour le bois massif même si elle n'est pas significative. Le classement des cultivars suivant la résistance du bois massif identifie 4 groupes :

- le cultivar dont la contrainte à la rupture est très élevée : Robusta (64 MPa) ;
- les cultivars avec une contrainte à la rupture élevée (Raspalje, Beaupré, Ghoy) ;
- cultivars avec une contrainte à la rupture moyenne (Dorskamp, Flévo, I 214, I 45-51, Raspalje) ;
- les cultivars avec une contrainte à la rupture faible (Blanc du Poitou, Fritzi Pauley) ;

Ce classement ressemble partiellement à celui obtenu pour les contreplaqués, mais bien évidemment avec un grand écart qui a tendance à être plus faible chez certains cultivars, notamment dans le cas du Blanc du Poitou où la différence entre les deux résistances n'est que de 14%, l'écart moyen étant d'environ 25%. Quelle que soit la valeur de cette différence, sa variation reste statistiquement indépendante de tout effet étudié (annexe VII). Notons aussi que seule la résistance des contreplaqués collés avec la MUF est corrélée significativement à celle du bois massif, contrairement à ceux collés avec la PVAC. Cela est conforme aux observations et interprétations faites précédemment pour le module d'élasticité.

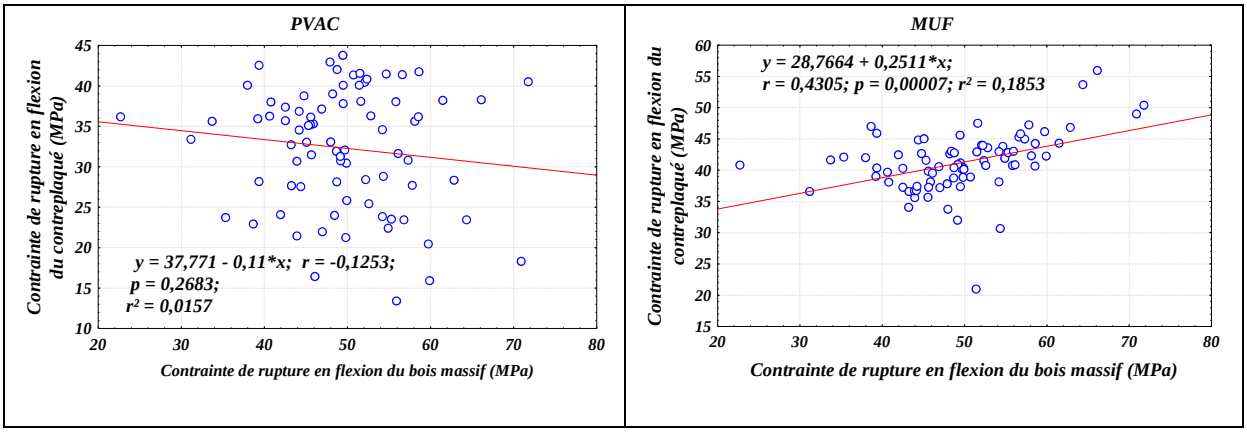


Figure III.60 - Variation du module d'élasticité statique des contreplaqués en fonction de la masse volumique du bois massif.

L'effet de la colle semble être encore plus prononcé sur la contrainte de rupture alors qu'il ne l'était pas pour le module d'élasticité. La résistance des contreplaqués augmente dans le cas de la MUF où elle atteint une valeur moyenne de 41 MPa, tandis qu'elle n'est que de 32 MPa dans le cas de la PVAC. Dans le premier cas, le point de rupture est dans le bois alors que dans le cas de la PVAC il se trouve dans le joint de colle. Ce résultat va dans le même sens que celui obtenu par Aydin et al (2005) dans le cadre d'une étude comparative de deux colles : MUF et UF. Ils ont mis en évidence un effet très significatif de la colle sur la résistance en flexion du contreplaqué de peuplier, la résistance dans le cas de la MUF étant de 60 MPa.

Par ailleurs, l'épaisseur du placage n'a aucun effet significatif sur la contrainte de rupture en flexion, celle-ci reste quasiment constante quelle que soit l'épaisseur, avec une légère tendance inverse à celle du module d'élasticité. La même tendance a été observée par Lanvin et al (2006) sur des contreplaqués de chêne.

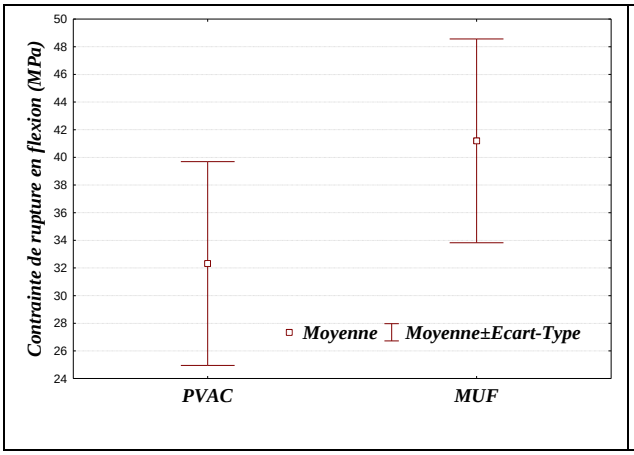


Figure III.61 - Variation de la contrainte de rupture en flexion des contreplaqués suivant le type de colle.

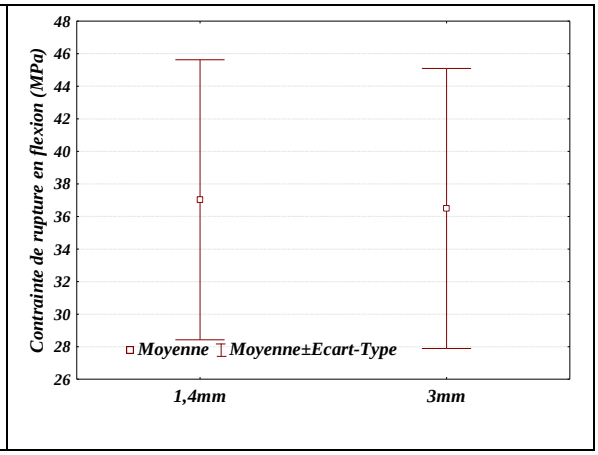


Figure III.62 - Variation de la contrainte de rupture en flexion des contreplaqués l'épaisseur du placage.

3.1.4 Contrainte de rupture en cisaillement

La contrainte de rupture en cisaillement à été obtenue suite à des essais de cisaillement en traction sur 1280 éprouvettes de contreplaqué à raison de 8 éprouvettes par panneau. La

contrainte de rupture en cisaillement de l'ensemble des panneaux contreplaqués est très faible et peu dispersée. Pour toutes les stations le module oscille entre 2,4 et 2,7 MPa. Les cultivars ont tous quasiment la même contrainte de rupture. Il est donc très difficile de classer les cultivars et les quatre types de station selon cette grandeur. Il est à noter que cette contrainte est corrélée positivement à la résistance en flexion au seuil de 0,1% (r = 0,55), mais seulement dans le cas de la MUF.

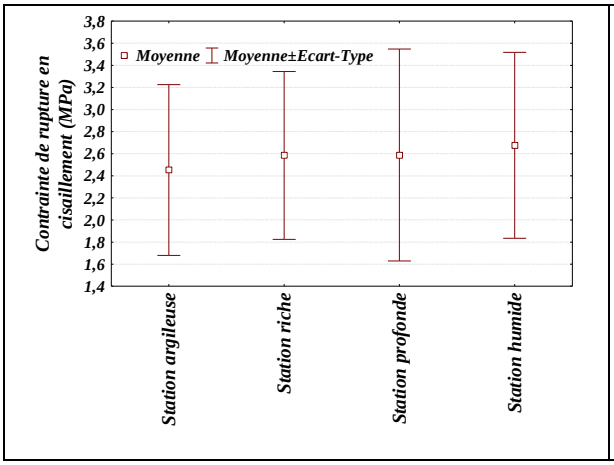


Figure III.63 - Variation de la contrainte de rupture en cisaillement des contreplaqués suivant les stations.

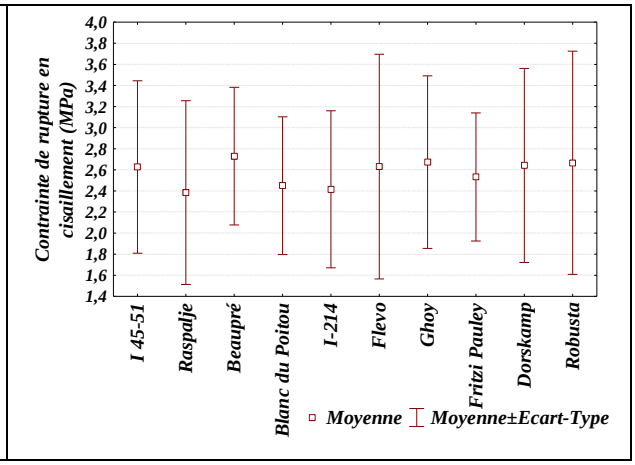


Figure III.64- Variation de la contrainte de rupture en cisaillement selon les cultivars.

Comme le montre l'analyse de variance, la résistance en cisaillement des contreplaqués dépend sensiblement du type de colle et de l'épaisseur du placage. En effet, la qualité du collage s'améliore dans le cas de la MUF et de l'épaisseur 1,4 mm. Cet effet significatif s'explique par la nature de la colle MUF et de la fissuration dont l'effet dans cet essai est plus apercevable qu'en flexion car pouvant altérer l'épaisseur du joint de colle en augmentant la quantité de colle "bue" par la face fissurée.

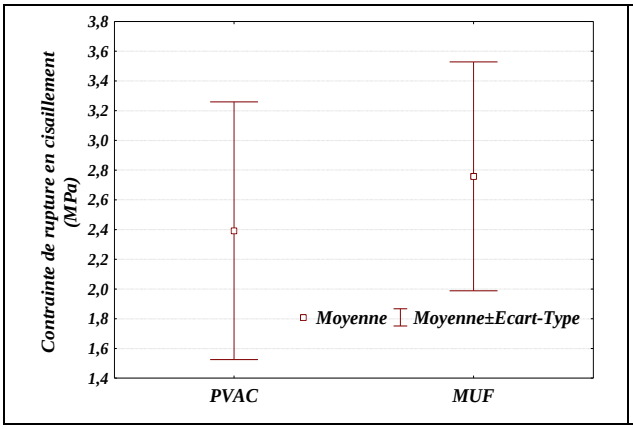


Figure III.65 - Variation de la contrainte de rupture en cisaillement des contreplaqués suivant le type de colle.

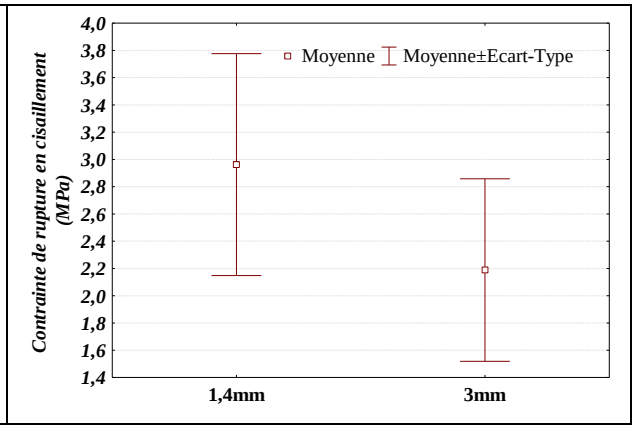


Figure III.66 - Variation de la contrainte de rupture en cisaillement des contreplaqués suivant l'épaisseur du placage.

3.1.5 Masse volumique

La masse volumique des panneaux contreplaqués ne semble pas varier selon les stations. La masse volumique est de l'ordre de 432 Kg/m^3 pour les stations argileuse et riche et de 437 Kg/m^3 pour la station humide. La station profonde affiche la valeur la plus élevée, 454 Kg/m^3. La masse volumique des contreplaqués issus des différents cultivars varient entre 487 Kg/m^3 et 399 Kg/m^3, le Robusta et le Ghoy étant les plus denses et le I-214 le moins dense.

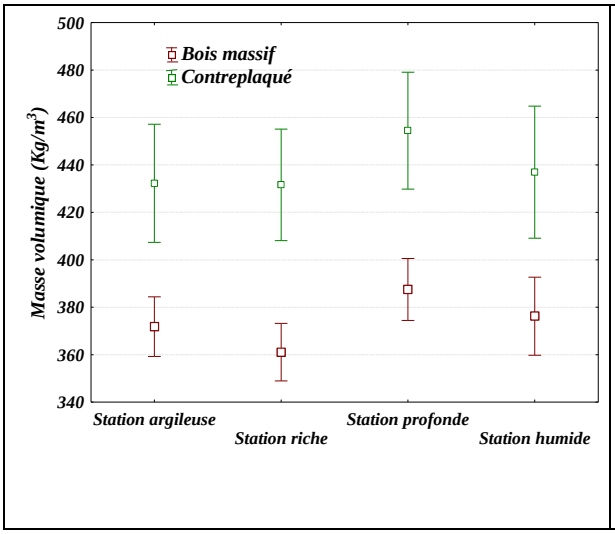


Figure III.67 - Variation de la masse volumique des contreplaqués suivant les stations.

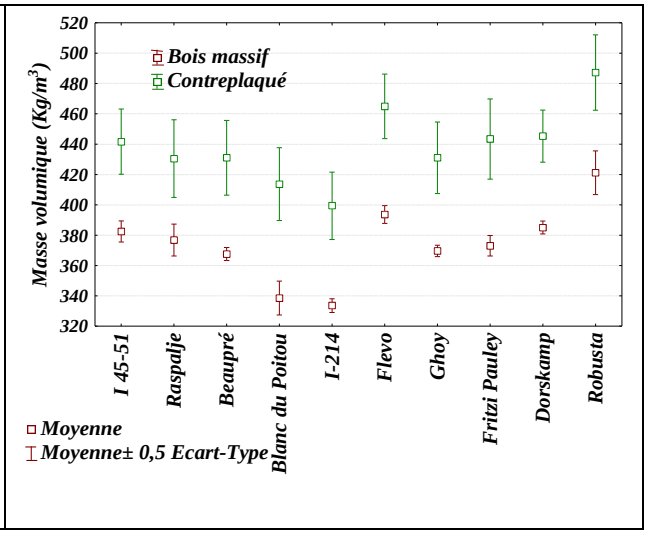


Figure III.68 - Variation de la masse volumique des contreplaqués selon les cultivars.

Remarquons que le profil de variation des masses volumiques du contreplaqué est parallèle à celui du bois massif avec une nette supériorité des contreplaqués. Le rapport entre les deux masses volumiques est de l'ordre de 20%, il reste toujours constant quel que soit le cultivar ou la station, par contre il est plus élevée dans le cas des panneaux collés avec la MUF (30%) que dans le cas de la PVAC (10%) (figure III.69). Ces résultats s'expliquent par la combinaison de deux effets : l'effet du grammage de la MUF qui est supérieur à celui de la PVAC et l'effet de la densification du panneau du au pressage.

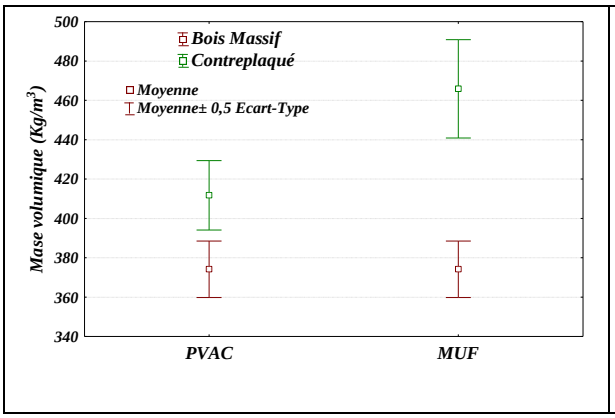


Figure III.69 - Variation de la masse volumique des contreplaqués suivant le type de colle.

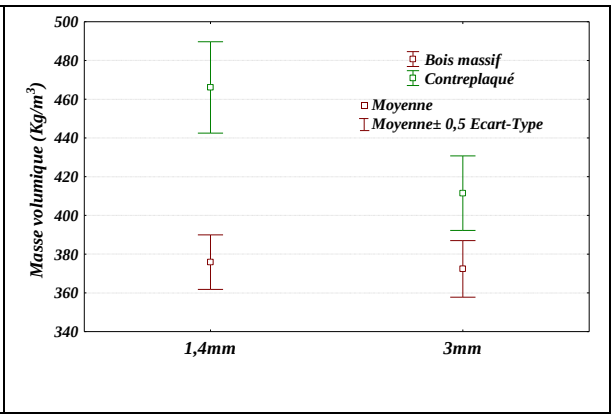


Figure III.70 - Variation de la masse volumique des contreplaqués selon l'épaisseur du placage.

Notons que l'augmentation de l'épaisseur du placage diminue la densité du panneau, ce qui semble logique, puisque les panneaux constitués de placages à 1,4 mm renferment plus de plis (15 plis) et donc forcément plus de colle que les panneaux à 7 plis.

La masse volumique des contreplaqués est sans doute liée à leurs propriétés mécaniques. En effet, les analyses statistiques effectuées pour chaque couple colle/épaisseur montrent que la masse volumique est corrélée positivement à la majorité des propriétés mécaniques étudiées. La corrélation la plus prononcée est celle existante entre la masse volumique et le module dynamique, vient après la corrélation avec le module statique et enfin celles avec les contraintes de rupture en flexion et en cisaillement. Le tableau III.17 permet de constater que la corrélation tend à s'accentuer dans le cas des contreplaqués collés à la MUF tandis qu'elle diminue avec l'augmentation de l'épaisseur.

Tableau III.18 – Coefficients des corrélations entre la masse volumique et les propriétés mécaniques des panneaux contreplaqués.

		MOE stat	MOE dyn	MOR	τ
PVAC	**1,4 mm**	0,47***	0,49***	0,24***	$0,09^{NS}$
	3mm	0,60***	0,67***	$0,04^{NS}$	$0,07^{NS}$
MUF	**1,4 mm**	0,53***	0,60***	0,41***	0,53***
	3mm	0,68***	0,65***	0,48***	0,38***

MOE stat: Module d'élasticité statique. ***: corrélation significative au seuil de 0,1%.
MOE dyn : Module d'élasticité dynamique. NS: corrélation non significative.
MOR : Contrainte de rupture en flexion.
τ : Contrainte de rupture en cisaillement.

De façon globale, nous pouvons déduire que le contreplaqué à base de peuplier présente des propriétés mécaniques spécifiques correctes. (rapport qualité mécanique/masse volumique). Une comparaison avec d'autres essences (tableau III.19) permet de s'en rendre compte. Il s'agit d'un contreplaqué moyen mais apporte grâce à sa légèreté un élément important pour l'élaboration de structures légères peu sollicitées.

Tableau III.19 - Situation du contreplaqué de peuplier par rapport aux autres essences.

	MOE stat	MOR (MPa)	τ (MPa)	ρ (Kg/m^3)	Référence
Okoumé	4000 (9)	40 (0,1)	3 (0,007)	450	AAESB 1984
Ozigo, sipo, sapelli	6000 (9,2)	50 (0,1)	4 (0,006)	650	AAESB 1984
Pin maritime	6000 (10)	50 (0,1)	3,5 (0,006)	580	AAESB 1984
Hêtre	6000	70	_	_	AAESB 1984
Bouleau	7500	90	_	_	AAESB 1984
Chêne (7 plis de 3 mm)	7027 (10)	57 (0,1)	3,6 (0,005)	687	Lanvin et al. 2006
Chêne (15 plis de 1.4 mm)	6696 (9)	64 (0,1)	4,4 (0,006)	769	Lanvin et al. 2006

Peuplier (7 plis de 3 mm)	4858 (12)	36 (0,1)	2 (0,1)	412	Cette étude
Peuplier (15 plis de 1.4 mm)	4455 (10)	37 (0,1)	3 (0,1)	466	Cette étude

( ) : valeurs spécifiques

3.2 Panneaux LVL

La caractérisation mécanique du LVL a été faite sur 160 panneaux qui ont subit les mêmes tests que ceux effectués sur le contreplaqué. La seule différence réside dans la direction de sollicitation en flexion statique et dynamique, en effet les panneaux LVL ont été sollicités parallèlement aux joints de colle (sur chant).

L'analyse de variance montre que les facteurs "type de station" et "cultivar" n'ont ici non plus aucun effet significatif sur les propriétés mécaniques des panneaux LVL. Cependant le type de colle influence significativement le module de rupture en cisaillement et la masse volumique des panneaux au seuil de 5%. L'épaisseur du placage n'a un effet significatif au seuil de 5% que sur la masse volumique. Compte tenue de la parfaite symétrie de l'échantillonnage contreplaqué et LVL, il est normal que les effets colle et épaisseur soient d'un niveau très proche dans les deux cas.

Notons aussi que l'interaction épaisseur*colle influence significativement la contrainte de rupture en cisaillement. Ajoutons que les modules d'élasticité statique et dynamique ainsi que le module de rupture en flexion sont statistiquement indépendant de tout effet. Toutes les autres interactions sont non significatives.

Tableau III.20 -Résultats de l'analyse de variance.

	MOE stat		MOE dyn		MOR		τ		ρ	
	F	p	F	p	F	P	F	p	F	p
(1)Station	$0,39^{NS}$	0,76	$0,32^{NS}$	0,81	$0,46^{NS}$	0,71	$0,64^{NS}$	0,59	$0,23^{NS}$	0,88
(2)Cultivar	$1,05^{NS}$	0,39	$1,67^{NS}$	0,09	$1,34^{NS}$	0,21	$1,49^{NS}$	0,15	$0,53^{NS}$	0,86
(3)Colle	$3,48^{NS}$	0,06	$0,35^{NS}$	0,55	$2,25^{NS}$	0,13	**4,82***	**0,03**	**7,07***	**0,01**
(4)Epaisseur du placage	$0,35^{NS}$	0,56	$0,00^{NS}$	0,95	$1,34^{NS}$	0,25	$0,32^{NS}$	0,57	**7,58***	**0,01**
1*2	$0,19^{NS}$	1,00	$0,26^{NS}$	1,00	$0,19^{NS}$	1,00	$0,29^{NS}$	1,00	$0,08^{NS}$	1,00
1*3	$0,09^{NS}$	0,96	$0,06^{NS}$	0,98	$0,07^{NS}$	0,98	$0,25^{NS}$	0,86	$0,02^{NS}$	1,00
2*3	$0,06^{NS}$	1,00	$0,03^{NS}$	1,00	$0,02^{NS}$	1,00	$0,18^{NS}$	1,00	$0,04^{NS}$	1,00
1*4	$0,07^{NS}$	0,98	$0,02^{NS}$	1,00	$0,02^{NS}$	1,00	$0,06^{NS}$	0,98	$0,02^{NS}$	1,00
2*4	$0,05^{NS}$	1,00	$0,07^{NS}$	1,00	$0,08^{NS}$	1,00	$0,35^{NS}$	0,96	$0,05^{NS}$	1,00
3*4	$0,14^{NS}$	0,71	$0,25^{NS}$	0,62	$0,40^{NS}$	0,53	**4,16***	**0,04**	$1,18^{NS}$	0,28
1*2*3	$0,03^{NS}$	1,00	$0,01^{NS}$	1,00	$0,02^{NS}$	1,00	$0,17^{NS}$	1,00	$0,04^{NS}$	1,00
1*2*4	$0,07^{NS}$	1,00	$0,06^{NS}$	1,00	$0,10^{NS}$	1,00	$0,16^{NS}$	1,00	$0,02^{NS}$	1,00
1*3*4	$0,03^{NS}$	0,99	$0,02^{NS}$	1,00	$0,03^{NS}$	0,99	$0,11^{NS}$	0,96	$0,01^{NS}$	1,00
2*3*4	$0,02^{NS}$	1,00	$0,02^{NS}$	1,00	$0,06^{NS}$	1,00	$0,25^{NS}$	0,99	$0,01^{NS}$	1,00
1*2*3*4	$0,02^{NS}$	1,00	$0,02^{NS}$	1,00	$0,04^{NS}$	1,00	$0,27^{NS}$	1,00	$0,02^{NS}$	1,00

MOE stat: Module d'élasticité statique.
MOE dyn : Module d'élasticité dynamique.
MOR : Contrainte de rupture en flexion.
τ : Contrainte de rupture en cisaillement.
ρ : Masse volumique.
*: variance significative au seuil de 5%.
NS: variance non significative.

3.2.1. Module d'élasticité statique

Ce module a été obtenu à travers des essais de flexion 4 points effectués sur 1920 éprouvettes, soit 12 éprouvettes par panneau LVL.

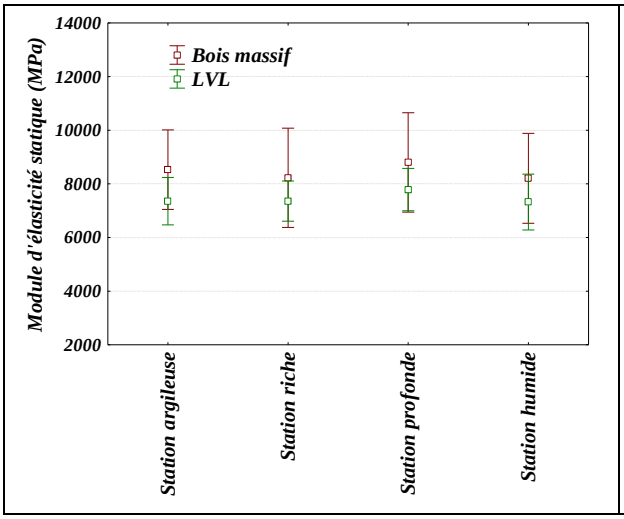


Figure III.71- Variation du module d'élasticité statique des LVL selon les stations.

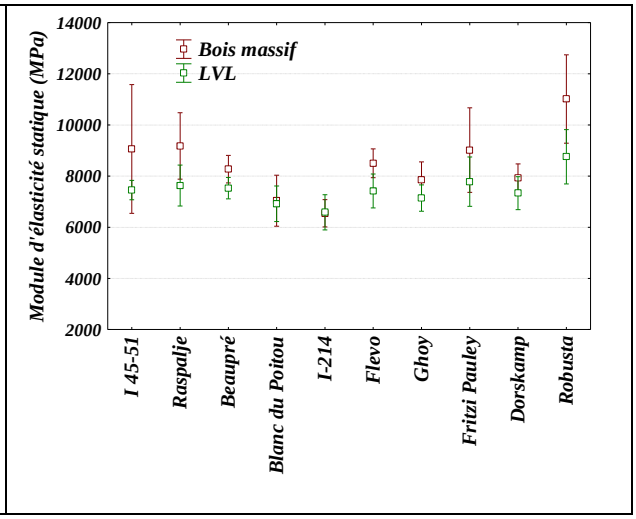


Figure III.72- Variation du module d'élasticité statique des LVL selon les cultivars.

Le module d'élasticité statique ne semble pas varier selon les stations, les quatre stations affichent toutes des modules très proches. Les stations argileuse, riche et humide présentent un module de l'ordre de 7300 MPa, et au niveau de la station riche nous notons le module le plus élevé de 7786 MPa. Ce sont les mêmes tendances que celles observées pour le contreplaqué.

Le module d'élasticité statique ne varie pas considérablement non plus selon les cultivars. La rigidité moyenne des dix cultivars varie entre 6500 MPa et 8700 MPa. Le Robusta se détache avec la meilleure rigidité (8700 MPa), suivi du Fritzi Pauley (7700 MPa). Le I 45-51, le Raspalje, le Beaupré, et le Flevo ont tous des modules entre 7500 MPa et 7600 MPa. Le Ghoy, le Dorskamp et le blanc du Poitou ont des modules variant entre 6900 MPa et 7400 MPa. Les panneaux du I-214 apparaissent comme les moins rigides (6500 MPa).

Remarquons que le classement des cultivars est identique à celui observé dans le cas des contreplaqués. Cette variabilité inter-cultivar serait due à la variabilité densimétrique entre les cultivars. En effet, le module d'élasticité est corrélé positivement à la masse volumique du bois massif au seuil de 0,1%. Notons aussi que la corrélation dans le cas de la PVAC est meilleure avec les LVL qu'avec le contreplaqué (figure III.50).

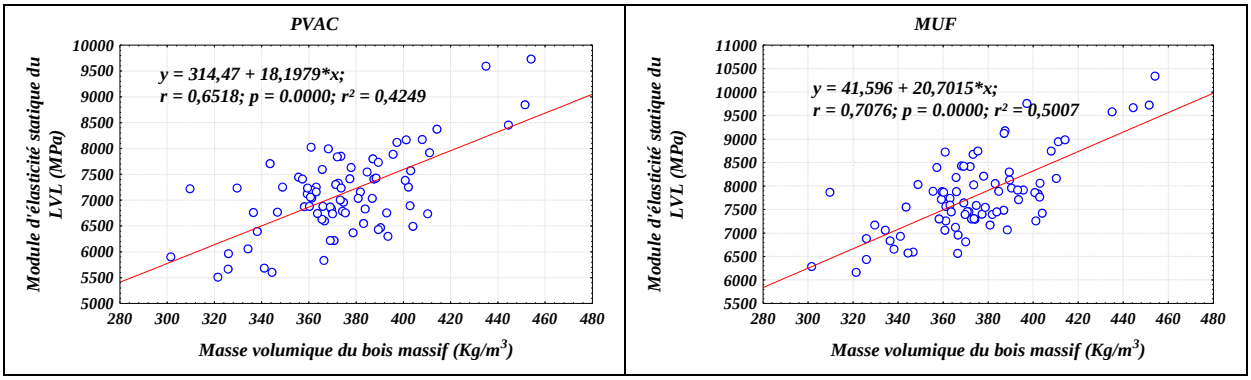


Figure III.73 - Variation du module d'élasticité statique des LVL en fonction de la masse volumique du bois massif.

Les figures III.71 et III.72 montrent que la rigidité des panneaux LVL évolue parallèlement à celle du bois massif. En effet il existe une corrélation statistiquement significative au seuil de 0,1% (annexe V) entre les deux rigidités. Ces dernières présentent un écart de 13% dont la variation selon les cultivars n'est pas significative (annexe VII). Toutefois certains cultivars comme le Robusta et le I 45-51 présentent des panneaux LVL à rigidité inférieure à celle du bois massif, ce qui peut être attribué au fait que les deux colles utilisées soient moins rigides que le bois (cf III 3.1.2).

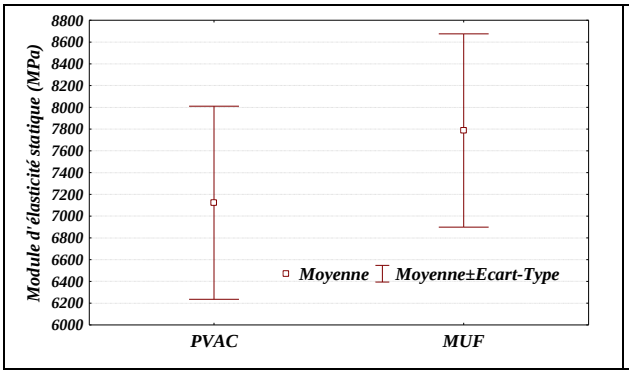


Figure III.74 - Variation du module d'élasticité statique des panneaux LVL suivant le type de colle.

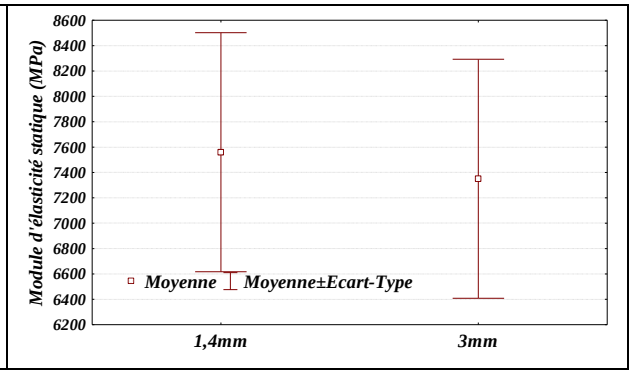


Figure III.75 - Variation du module d'élasticité statique des panneaux LVL suivant l'épaisseur du placage.

Le module d'élasticité statique des panneaux LVL collés avec la MUF a tendance à être supérieur au module obtenu dans le cas des panneaux collés avec la PVAC. Contrairement à ce que nous avons constaté pour les contreplaqués, la rigidité des panneaux LVL semble s'améliorer avec la diminution de l'épaisseur du placage. En effet le module d'élasticité passe de 7560 MPa dans le cas de l'épaisseur 1,4 mm à 7351 MPa dans le cas de l'épaisseur 3 mm. Ce résultat peut être dû à l'augmentation de la fissuration du placage avec l'épaisseur, cependant nous n'avons noté aucune corrélation significative entre la fissuration des placages et la rigidité des panneaux LVL (annexe V). Même si ce résultat est en parfaite concordance avec la bibliographie (Lanvin et al., 2006 ; Descamps et al., 2009) cette faible tendance reste ici non significative pour la même raison que celle exposée pour le contreplaqué.

3.2.2 Module d'élasticité dynamique

A l'instar des contreplaqués, ce module à été mesurés sur les mêmes éprouvettes LVL de la flexion statique (1920 soit 12 éprouvettes par panneau).

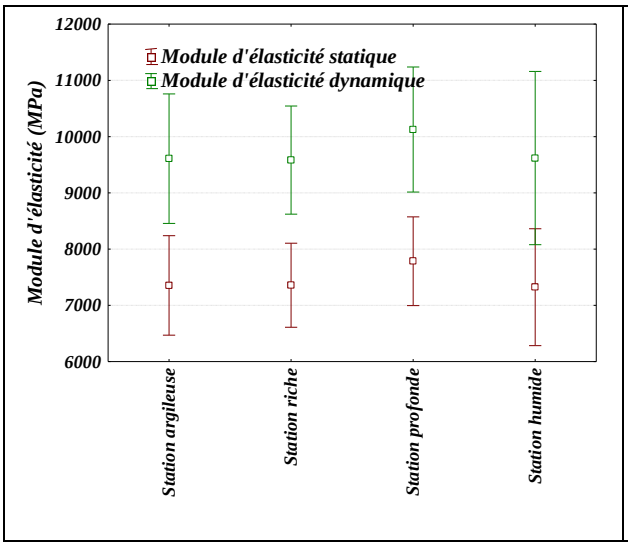


Figure III.76 - Variation du module d'élasticité dynamique des panneaux LVL selon les stations.

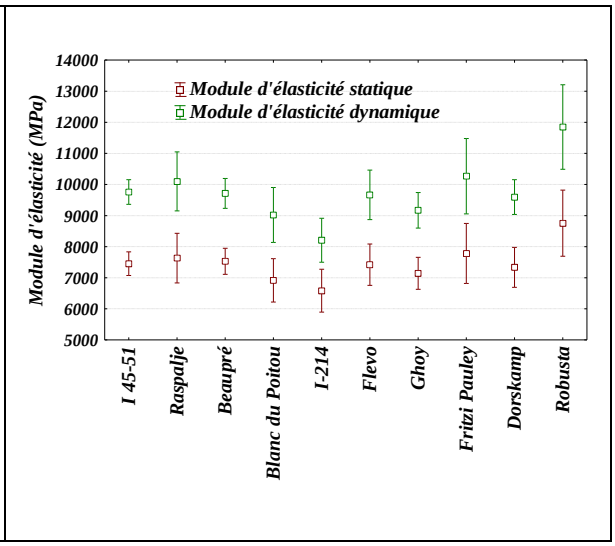


Figure III.77 - Variation du module d'élasticité dynamique des panneaux LVL selon les cultivars.

Le module d'élasticité dynamique ne change pas notablement d'une station à l'autre. C'est au niveau de la station profonde que l'on note le module dynamique le plus élevé (10100 MPa) alors que les stations argileuse, riche et humide ont toutes un module proche de 9600 MPa. Pour les cultivars c'est toujours le Robusta qui donne le meilleur module et le I-214 qui affiche le module le plus faible. Le classement est superposable à celui observé dans le cas des contreplaqués et du module statique des LVL.

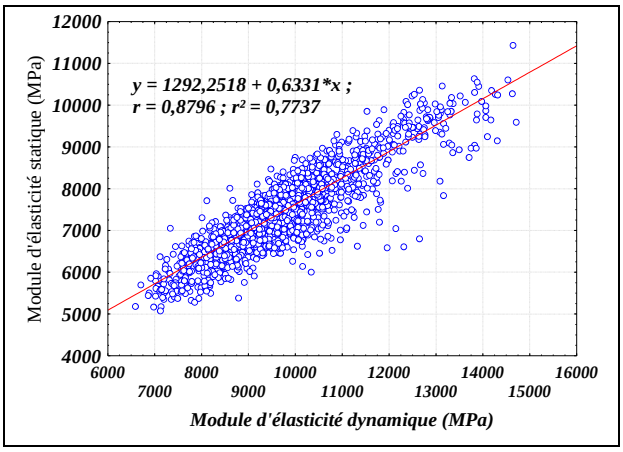


Figure III.78 - Variation du module d'élasticité dynamique des panneaux LVL selon les cultivars.

Une corrélation significative au seuil de 0,1% existe entre le module statique et dynamique des panneaux LVL un coefficient de corrélation r = 0,88. Comme pour le contreplaqué, le module dynamique est constamment supérieur au module statique : l'écart moyen entre les deux modules est aussi de 30%. L'analyse de variance ne dévoile aucun effet significatif sur cette

différence (annexe VII). Mothe et al. (1994) ont trouvé la même sorte de corrélation entre les deux modules dynamique et statique obtenus sur le LVL du chêne, avec aussi le module dynamique toujours supérieur au module statique. L'écart entre les deux groupes n'excèdait jamais 10%.

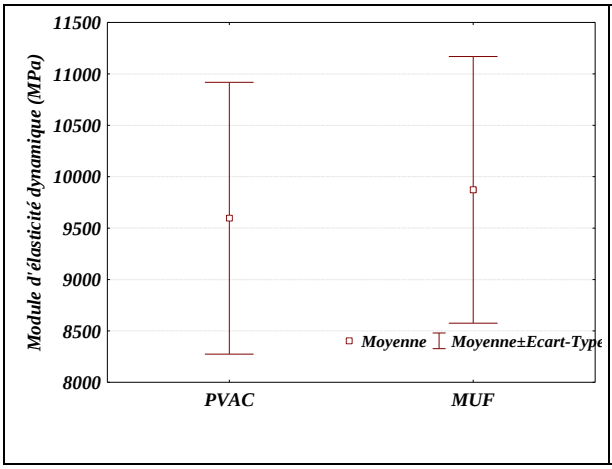


Figure III.79 - Variation du module d'élasticité dynamique des panneaux LVL selon le type de colle.

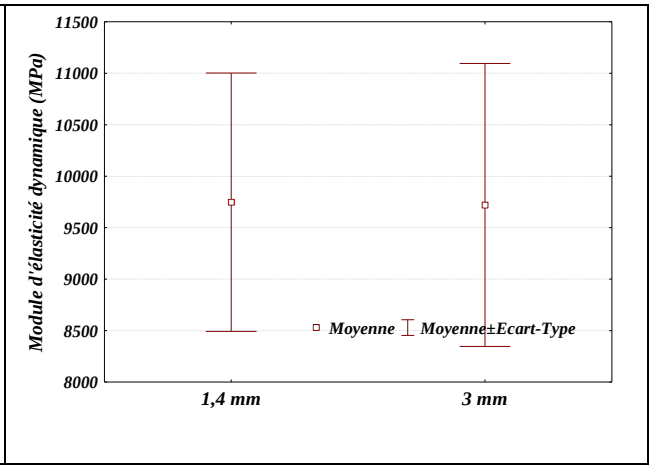


Figure III.80 - Variation du module d'élasticité dynamique des panneaux LVL selon l'épaisseur du placage.

Le module dynamique ne change pas considérablement suivant le type de colle, on note une légère augmentation de 300 MPa dans le cas de la MUF. Toutefois il est nettement indépendant de l'épaisseur du placage. Contrairement au cas du contreplaqué, l'effet de l'épaisseur s'atténue fortement dans la mesure dynamique par rapport à la mesure statique.

3.2.3 Contrainte de rupture en flexion

Même si elle n'est pas significative, la variabilité inter-station et inter-cultivar est plus visible dans le cas du LVL par rapport au contreplaqué. La contrainte de rupture en flexion moyenne est quasiment constante en allant d'une station à l'autre et est située entre 63 et 67 MPa. Les cultivars présentent des résistances qui s'échelonnent entre 58 et 78 MPa. Le Robusta semble être le plus résistant en flexion (78 MPa), alors que le I-214, le Blanc du Poitou (58 MPa) et le Fritzi pauley (60 MPa) sont les moins résistant en flexion. La résistance des autres cultivars est moyenne, elle varie entre 65 et 68 MPa.

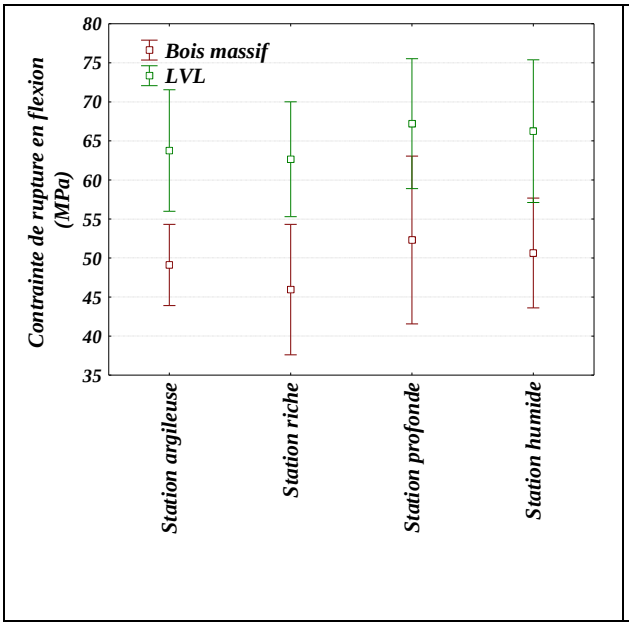


Figure III.81 - Variation de la contrainte de rupture en flexion des panneaux LVL suivant les stations.

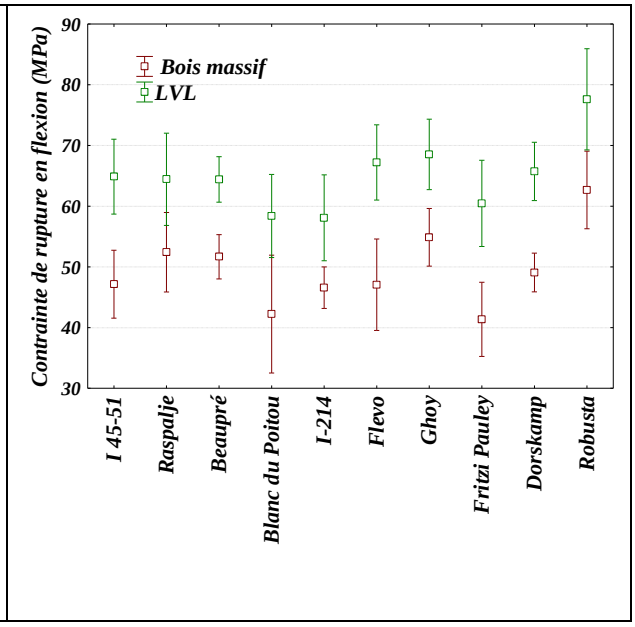


Figure III.82 - Variation de la contrainte de rupture en flexion des panneaux LVL selon les cultivars.

Ce classement est identique à celui obtenu pour le bois massif, mais ressemble partiellement à celui des contreplaqués. Notons que la résistance des LVL est supérieure à celle du bois massif avec un écart moyen de 33% qui est statistiquement invariable (annexe VII). Ce résultat est tout à fait normal et bien connu. La lamellation augmentant la résistance car elle distribue de manière aléatoire les défauts dans le panneau.

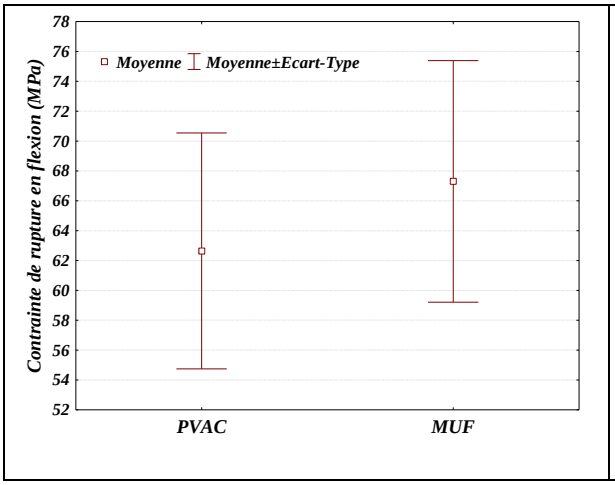


Figure III.83-Variation de la contrainte de rupture en flexion des panneaux LVL suivant le type de colle.

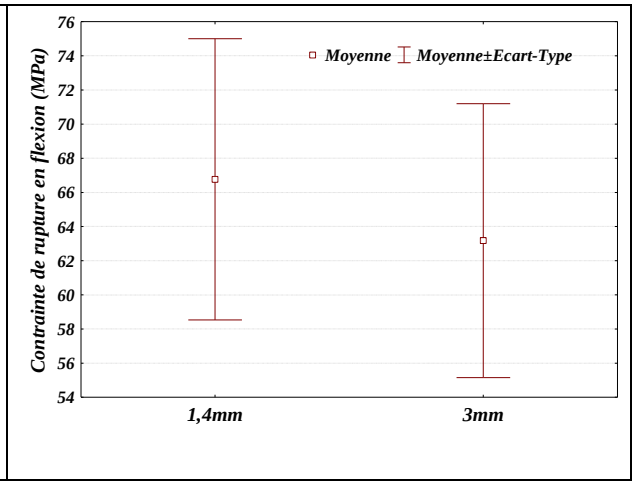


Figure III.845 - Variation de la contrainte de rupture en flexion des panneaux LVL selon l'épaisseur du placage.

Comme pour les contreplaqués, la résistance en flexion des LVL s'améliore dans le cas de la MUF (67 MPa), cependant l'effet colle est moins marqué ici que dans le cas des contreplaqués où l'écart entre les deux résistances est de l'ordre de 30%. Quant à l'effet de l'épaisseur, on note que la résistance des LVL évolue dans le sens inverse de l'épaisseur du placage, la différence entre les deux résistances n'étant que 4 MPa.

3.2.4 Contrainte de rupture en cisaillement

Rappelons que la contrainte de rupture en cisaillement de chaque panneau LVL a été obtenue sur 8 éprouvettes par panneau, soit au total 1280 éprouvette qui ont subit des essais de cisaillement en traction.

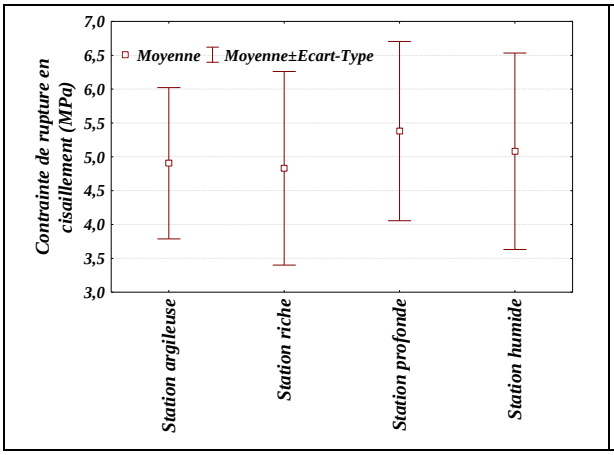


Figure III.85 - Variation de la contrainte de rupture en cisaillement des panneaux LVL suivant les stations.

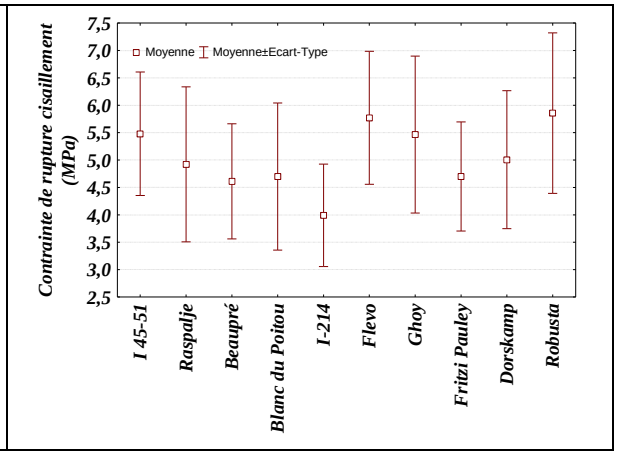


Figure III.86 - Variation de la contrainte de rupture en cisaillement des panneaux LVL selon les cultivars.

La contrainte de rupture en cisaillement est logiquement très faible en comparaison avec la contrainte de rupture en flexion. Pour toutes les stations elle oscille entre 5 et 6 MPa. Les cultivars ont tous quasiment la même résistance. S'il n'est pas possible de classer les cultivars et les stations, néanmoins nous retrouvons toujours les mêmes tendances : le Robusta est le plus résistant et le I-214 avec le plus faible module. Contrairement à ce que nous avons observé pour les contreplaqués, la contrainte de rupture en cisaillement des LVL est corrélée significativement à la contrainte de rupture en flexion et ce dans le cas des deux colles utilisées (annexe V).

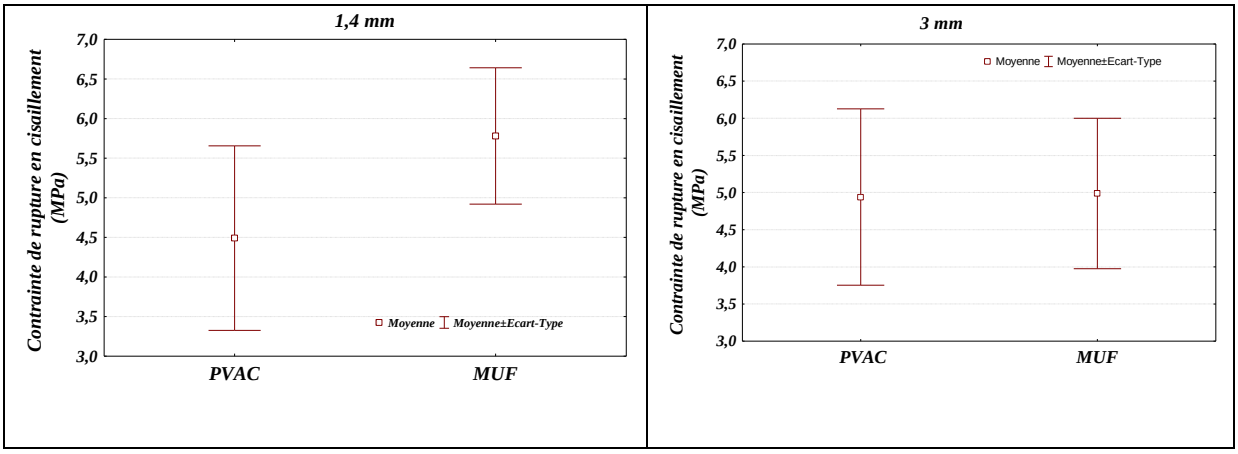


Figure III.87 - Variation de la contrainte de rupture en cisaillement des panneaux LVL suivant le type de colle et l'épaisseur du placage.

L'effet du type de colle sur la résistance en cisaillement des LVL dépend de l'épaisseur du placage (interaction significative). En effet pour les LVL à 15 plis, la résistance a tendance à augmenter dans le cas de la MUF tandis qu'elle reste invariable dans le cas des panneaux à 7

plis. Toutefois la résistance augmente très légèrement avec l'épaisseur dans le cas de la PVAC et diminue dans le cas de la MUF. Rappelons qu'il ne s'agit que de tendances car même si l'interaction entre ces deux effets (colle et épaisseur) est statistiquement significative, les écarts notés demeurent très faibles.

3.2.5 *Masse volumique*

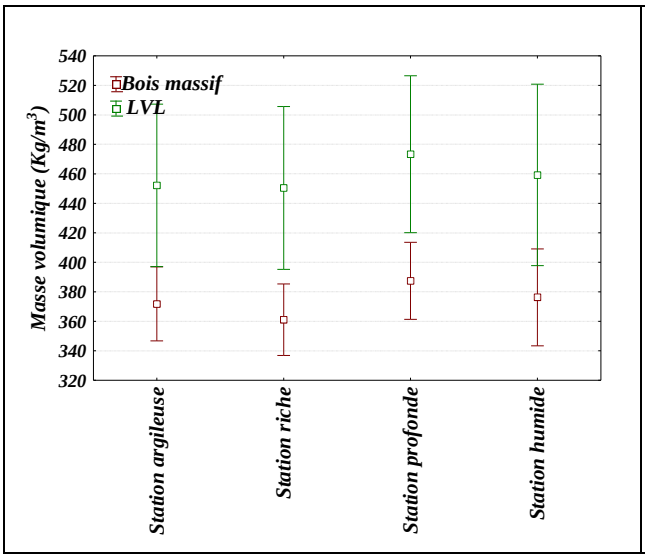


Figure III.88 - Variation de la masse volumique des panneaux LVL suivant les stations.

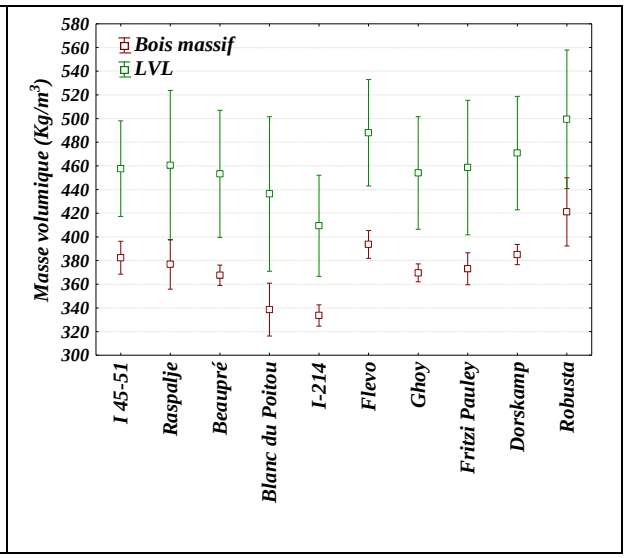


Figure III.89 - Variation de la masse volumique panneaux LVL selon les cultivars.

La masse volumique des panneaux LVL ne semble pas varier selon les stations. Elles présentent des masses volumiques variant entre 450 et 473 Kg/m^3. C'est la station profonde qui affiche la valeur la plus élevée. La masse volumique moyenne des différents cultivars varient entre 409 Kg/m^3 et 499 Kg/m^3, le classement selon la masse volumique met en avant le Robusta et le Flevo, le cultivar le moins dense étant le I-214. Les variations de masses volumiques ainsi que les valeurs sont logiquement superposables à celles obtenues sur les contreplaqués avec toutefois une différence systématique d'environ 20 Kg/m^3 en faveur du LVL.

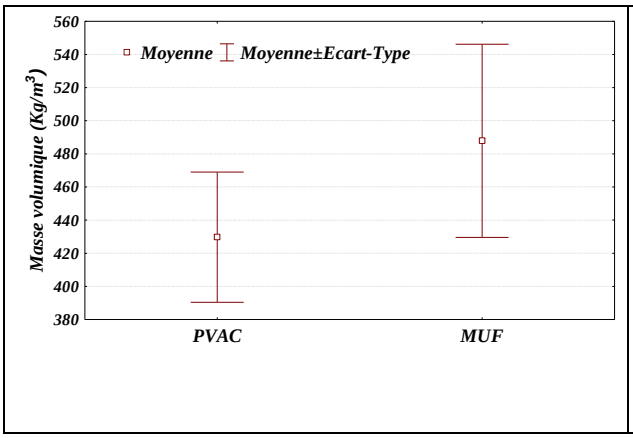


Figure III.90 - Variation de la masse volumique des panneaux LVL suivant le type de colle.

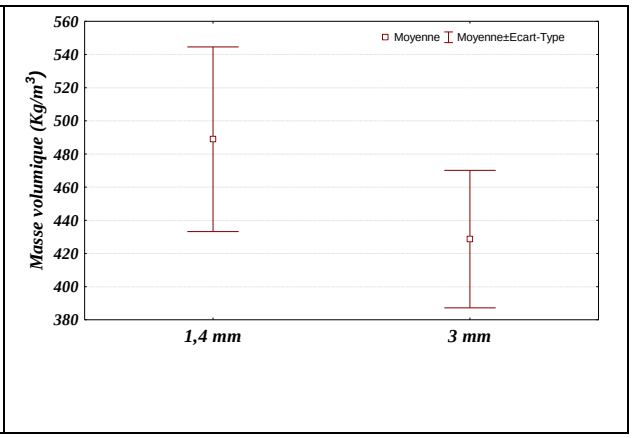


Figure III.91 - Variation de la masse volumique des panneaux LVL selon l'épaisseur du placage.

Pareillement aux contreplaqués, les LVL collés à base de la MUF sont plus denses que ceux collés avec la PVAC. L'augmentation de l'épaisseur du placage diminue la densité du panneau. Notons que dans le cas des LVL la variation selon l'épaisseur des propriétés mécaniques va dans le même sens que celui de la densité contrairement à ce qui est noté pour les contreplaqués.

Tableau III.21 – Coefficients des corrélations entre la masse volumique et les propriétés mécaniques des panneaux LVL.

		MOE stat	MOE dyn	MOR	τ
PVAC	**1,4 mm**	0,43***	0,41***	0,53***	0,41***
	3mm	0,78***	0,83***	0,85***	0,62***
MUF	**1,4 mm**	0,54***	0,59***	0,51***	0,63***
	3mm	0,78***	0,76***	0,76***	0,38***

MOE stat: Module d'élasticité statique. ***: corrélation significative au seuil de 0,1%.
MOE dyn : Module d'élasticité dynamique. NS: corrélation non significative.
MOR : Contrainte de rupture en flexion.
τ : Contrainte de rupture en cisaillement.

La masse volumique des panneaux LVL est significativement corrélée aux propriétés mécaniques. Les coefficients de corrélations notés sont tous supérieurs à 0,4 ce qui mène à conclure qu'en comparaison avec les contreplaqués, la masse volumique des LVL est plus corrélée aux propriétés mécaniques.

Malgré leur faible rigidité et résistance, les panneaux LVL du peuplier sont tout de même intéressants du point de vue rapport qualité/masse volumique (tableau III.22).

Tableau III.22 - Situation du LVL de peuplier par rapport aux autres essences.

	MOE stat (MPa)	MOR (MPa)	τ (MPa)	ρ (Kg/m^3)	Référence
Hêtre (7 plis de 3 mm)	13 235 (18)	184 (0,25)	–	730	Burdurlu et al., 2007
Peuplier (7 plis de 3 mm)	6819 (16)	84 (0,19)	–	438	Burdurlu et al., 2007
Chêne (7 plis de 3 mm)	11076 (15)	88 (0,12)	7,3 (0,01)	731	Lanvin et al., 2006
Chêne (15 plis de 1.4 mm)	11805 (15)	109 (0,14)	6,5 0,01	802	Lanvin et al., 2006
Peuplier (7 plis de 3 mm)	7351 (17)	63 (0,15)	5 (0,01)	429	Cette étude
Peuplier (15 plis de 1.4 mm)	7560 (15)	67 (0,13)	5 (0,01)	499	Cette étude

() valeurs spécifiques

Sur le plan mécanique, il s'avère que les panneaux contreplaqués et LVL du peuplier ne présentent pas des propriétés exceptionnelles par rapport aux autres essences. Ceci est vrai pour tous les cultivars étudiés quelle que soit leur station d'origine. En effet l'analyse statistique n'a révélé aucun effet significatif de cultivar ou de station. De ce fait il est difficile de distinguer des cultivars plus ou moins performants que d'autres, seul le Robusta a tendance à se détacher des autres cultivars. Par ailleurs l'épaisseur du placage et le type de colle semblent être les

facteurs les plus dominants. Les propriétés mécaniques du contreplaqué tendent à s'améliorer avec l'augmentation de l'épaisseur du placage, par contre celles du LVL s'améliorent avec la diminution de l'épaisseur du placage. Le choix de la colle apparaît déterminant, la résistance et la rigidité des panneaux étant meilleurs dans le cas de l'utilisation de la MUF que dans le cas de la PVAC.

Tableau III.23 –Tableau récapitulatif des valeurs moyennes des grandeurs mesurées.

			MOE stat (MPa)	MOE dyn (MPa)	MOR (MPa)	τ (MPa)	ρ (Kg/m^3)
Contreplaqué	**PVAC**	**1,4 mm**	4332	5862	33	3	430
		3mm	4802	6700	32	2	393
	MUF	**1,4 mm**	4577	6151	41	3	502
		3mm	4914	6849	41	2	430
LVL	**PVAC**	**1,4 mm**	7162	9494	63	4	448
		3mm	7084	9698	62	5	411
	MUF	**1,4 mm**	7958	10001	70	6	530
		3mm	7617	9743	64	5	446

4. *Résultats de l'enquête industrielle*

Cette enquête a été menée auprès des industriels du peuplier. Un questionnaire de 63 questions, dont 28 questions sur le déroulage, a été élaboré par le comité de pilotage du projet "Référentiel de la qualité du bois des cultivars de peuplier" et a été adressé à 125 industriels du secteur de l'emballage léger, du contreplaqué et du sciage. Le questionnaire avec les réponses est présenté en annexe II. Dans ce qui suit, nous n'abordons que la partie concernant le déroulage.

4.1. Choix des grumes et classement des cultivars

Les exigences du choix de grumes ne semblent pas être les mêmes pour l'ensemble des industriels. Cependant, pour tous les industriels il est important que les arbres soient élagués, sans nœuds secs et non sinueux. Les industriels de l'emballage et certains du contreplaqué préfèrent des bois avec des inter-verticilles longs et des verticilles peu branchus. Les producteurs de l'emballage léger s'intéressent plus que les autres à la couleur du bois ; ils préfèrent une teinte assez claire et un faible taux de faux-cœur.

Chez 78 % des répondants, le choix du cultivar à dérouler est important, et cela quel que soit le type d'utilisation. Il existe cependant des avis divergents en ce qui concerne le choix du cultivar, 16 classements différents ont été obtenus. Ces classements diffèrent suivant le type de production, cependant la majorité des industriels interrogés ont tendance à préférer certains cultivars plus que les autres. Le I 214, le Robusta, le Blanc du Poitou et le Beaupré seraient plutôt appréciés tandis que le Fritzi Pauley, le I 45/51 et le Dorskamp le serait moins.

Tableau III.24 - Classement des 10 cultivars suivant les différents critères étudiés.

Aptitude au déroulage	Qualité de placage vert	Déroulage Lacroix	Qualité mécanique des panneaux
Flevo	Flevo	I-214	Robusta
Raspalje	I 45-51	Ghoy	Flevo
I 45-51	Dorskamp	Beaupré	Dorskamp
I-214	Ghoy	Raspalje	Fritzi pauley
Ghoy	Raspalje	I 45-51	Ghoy
Dorskamp	I-214	Dorskamp	Beaupré
Fritzi pauley	Blanc du Poitou	Blanc du Poitou	Raspalje
Blanc du Poitou	Fritzi pauley	Robusta	I-214
Robusta	Robusta	Fritzi pauley	Blanc du Poitou
Beaupré	Beaupré	Flevo	I 45-51

Par ailleurs ce classement ne semble pas être corrélé aux classements obtenus lors de notre étude. Le tableau III.24 montre que le classement des 10 cultivars suivant les différents critères qualitatifs étudiés. Notons que le classement suivant l'aptitude au déroulage ainsi que la qualité du placage vert mettent en avant le Flevo. Le classement selon la qualité mécanique des

panneaux met en avant le Robusta et le Flevo . Seul le classement Lacroix met en dernière position le Flevo, mais ceci est certainement du à la coloration brunâtre des placages qui a du faussé les appréciations des dérouleurs. Ainsi il ressort de cette comparaison que les cultivars bien connus par les industriels ne sont pas forcément les meilleurs, en effet certains nouveaux cultivars peuvent être prometteurs notamment le Flevo.

4.2. Caractéristiques du déroulage

Quel que soit leur production, 66% des dérouleurs répondants n'appliquent aucune adaptation des machines en fonction de la saison ou des cultivars. L'épaisseur du déroulage la plus usuelle serait 3 mm, la plus faible est 1,5 mm, la maximale étant 5 mm. En ce qui concerne l'effet de la température sur la qualité du placage, les avis sont partagés ; 50% des répondants affirment que la température influence la qualité du placage.

La barre de pression angulaire est la plus utilisée et cela quel que soit le type d'utilisation. La fréquence de changement de la lame et de la barre de pression est très variable suivant le type de production, mais se situe en majorité entre 4 et 8 heures pour la lame et entre 35 et 150 heures pour la barre. Le massicot Backroll est plutôt utilisé par l'industrie de l'emballage et le massicot rotatif en aval est utilisé par les fabricants de contreplaqué.

4.3. Qualité des placages

Tous les critères qualitatifs proposés revêtent une grande importance pour les deux familles de production, contreplaqué et emballage. Toutefois quelques exceptions existent comme l'aspect pelucheux, l'irrégularité d'épaisseur et la rugosité qui sont des critères importants pour les industriels du contreplaqué, mais pas toujours pour les industriels de l'emballage. D'autres critères sont aussi importants notamment le retrait au séchage, la couleur et l'odeur.

Pour 50% des répondants, la peluche n'engendre pas de problèmes à part la détérioration de l'aspect. Les autres répondants signalent que la peluche cause des problèmes de "bourrage" d'encolleuse et une mauvaise qualité d'impression ou de marquage. La plupart des industriels tolèrent une variation maximale d'épaisseur de plus ou moins 5%. Les épaisseurs supérieures à 2 mm seraient les plus exposées aux irrégularités.

4.4 Qualité des panneaux

Pour la majorité des fabricants de contreplaqué, le contrôle qualité sur les panneaux est quasi permanent. Les contrôles sont souvent des contrôles visuels, des essais de cisaillement et de flexion ou encore des mesures de variations dimensionnelles.

En résumé, nous pouvons conclure que finalement les industriels accordent une grande

importance au choix du cultivar. Ils sont aussi très exigeants en ce qui concerne la qualité du placage. Cette exigence peut varier suivant l'utilisation finale du placage. L'enquête a également mis en avant les principaux critères qualitatifs pris en considération par les industriels. En effet, pour eux la qualité du placage se définit depuis le stade grume jusqu'au produit final. Ainsi, il s'avère que certains des critères que nous avons pris en compte dans notre étude sont validés par les réponses au questionnaire, cependant d'autres critères n'ont pas été intégré dans notre approche, mais mériteront de l'être dans une autre étude, il s'agit surtout de la couleur et des variations dimensionnelles après séchage des placages. Par ailleurs, il est à signaler que le nombre de réponses au questionnaire n'est pas suffisant pour tirer des conclusions affirmatives, tous les constats faits suite à cette enquête demeurent des tendances à interpréter avec prudence.

IV- CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude a contribué à l'évaluation de la variabilité de la qualité de placage et de panneaux contreplaqués et LVL de 10 cultivars de peuplier. Il s'agit des principaux cultivars présents actuellement sur le marché français et/ou y arrivant bientôt avec des volumes conséquents. En effet, nous avons pu éclairer l'éventuel impact du cultivar et du type de station forestière sur cette variabilité. Celle-ci a été évaluée à travers trois aspects :

- L'aptitude au déroulage qui a été appréciée en mesurant le taux d'humidité des billons avant le déroulage et les efforts de coupe au cours du déroulage.
- La qualité du placage : nous avons quantifié le tuilage, l'état de surface, la fissuration et l'irrégularité d'épaisseur.
- La qualité mécanique des panneaux contreplaqués et LVL déterminée en mesurant leurs rigidités et leurs résistances en flexion et en cisaillement.

Cependant, il n'a pas été mis en évidence d'effets cultivar et type de station forestière sur ces trois aspects. Si les cultivars ne semblent pas particulièrement influant sur les caractéristiques des produits du déroulage, on ne peut conclure de manière aussi définitive pour ce qui est de l'effet type de station, son effet est biaisé par la multitude des sites (13 au total) représentant chacune des stations. L'effet du site n'a pas pu être associé aux autres facteurs, les sites n'étant pas représentés par les mêmes cultivars. De ce fait, l'échantillonnage devient inadapté pour nous permettre d'interpréter l'effet station et mettre en évidence des stations particulières. Cela n'aurait été atteint que si chaque station avait été représentée par des parcelles où les conditions climatiques étaient identiques.

Aptitude au déroulage

Quel que soit le cultivar ou le type de station, le peuplier reste une essence exceptionnellement facile à dérouler. En effet, tous les cultivars présentent des taux d'humidité élevés, le faux-cœur étant toujours plus humide que l'aubier, une densité faible et une grande homogénéité de densité, ce qui leur permet d'être déroulés à l'état vert sans aucun traitement hygrothermique préalable. Ajoutons à cela que pour tous les cultivars, les efforts de déroulage sont très faibles par rapport aux principales essences déroulées.

Qualité du placage

La qualité des placages produits est globalement satisfaisante. Elle est parfois liée à la qualité intrinsèque du bois et ne semble pas varier considérablement suivant le cultivar ou le type de station. La majorité des critères qualitatifs étudiés l'indiquent. L'amplitude et la fréquence du tuilage sont très faibles ce qui rend ce phénomène non rédhibitoire. L'irrégularité de l'épaisseur est également insignifiante pour l'ensemble des cultivars. Une faible tendance à une irrégularité

cyclique de l'épaisseur dans le sens radial a été révélée, et serait à clarifier en ayant le profil densitométrique radial de chaque billon déroulé. Cela reste possible à faire car il nous reste d'importantes quantités de bois.

A l'instar des autres critères, la rugosité et la fissuration de l'ensemble des placages sont très faibles et ce quelle que soit l'épaisseur ou la position radiale du placage. Cependant la méthode de mesure utilisée est perfectible. La mesure de la fissuration par le SMOF (dispositif permettant la mesure de la profondeur et de la fréquence des fissures) permettrait d'avoir plus de précision sur ce critère, une première mesure a été déjà faite sur quelques cultivars et donne des résultats satisfaisant.

L'aspect pelucheux des placages reste toujours le défaut majeur du peuplier. Les pourcentages de placages pelucheux relevés pour l'aspect pelucheux sont très élevés pour tous les cultivars. Le I-214 apparaît de ce point de vue le plus intéressant, ce qui explique en partie sa bonne réputation dans la profession du déroulage. Notons aussi que la forte liaison entre cet aspect et la proportion du bois de tension fournit un critère de tri du bois rond en amont intéressant pour viser une production de placages sans peluche. Cependant, ces constats sont à prendre avec prudence car la méthode d'évaluation adoptée était très subjective et nivelait un peu les résultats. Il conviendra de quantifier la peluche des placages par analyse d'image comme nous l'avons amorcé dans le cadre d'une étude visant à contribuer à la mise en place d'une procédure industrielle en vue d'atténuer le phénomène de peluchage lors du déroulage (annexe VIII).

Qualité mécanique des panneaux

Dans le cas du peuplier la qualité mécanique des panneaux n'est pas influencée par le cultivar même si les essais effectués mettent en avant le Robusta. Seuls les panneaux LVL issus du Robusta apparaissent aptes aux utilisations dans la structure. Cela est sans doute lié à la vigueur de croissance plus modérée de ce cultivar et donc à la proportion beaucoup plus importante de bois adulte dans ce cultivar. Ainsi, l'emploi du bois de peuplier dans la structure nécessitera un changement radical du régime sylvicole pratiqué en adoptant des révolutions plus longues ou en trouvant un moyen d'accélérer la transition bois juvénile/bois adulte. L'effet cultivar serait intéressant à être considéré sur ce critère un peu oublié dans notre étude faite sur un échantillonnage composé uniquement d'arbres jeunes.

Le type de colle et l'épaisseur du placage sont les seuls facteurs qui ont un effet significatif sur cette qualité. Une colle MUF donnera une meilleure résistance mécanique aux panneaux par rapport à une colle PVAC. Pour les panneaux LVL, les propriétés mécaniques ont tendance à s'améliorer avec la diminution de l'épaisseur du placage, tandis que celles des contreplaqués restent stables.

Plusieurs voies de recherche apparaissent en vue de compléter ces travaux concernant la variabilité du peuplier. En effet, à ce stade nous pensons que des recherches sur les axes

suivants participeraient à aller de l'avant:

- Une étude approfondie sur la variabilité inter-cultivar de l'aspect pelucheux du placage via l'analyse d'image associée à une observation microscopique descriptive pour mieux comprendre la genèse des surfaces pelucheuses. Il est aussi prévu d'optimiser les paramètres de déroulage en vue de réduire les surfaces pelucheuses. Une première démarche exploratoire a été déjà faite et devrait être consolidée sur un échantillonnage plus important et sur un matériel frais.
- L'enquête auprès des industriels a révélé qu'il peut être pertinent d'améliorer l'estimation globale de la qualité des bois en analysant les retraits au séchage et la couleur des placages.
- Dans le but de réduire les surfaces pelucheuses, certains industriels ne déroulent leur bois qu'après une période plus ou moins longue de ressuyage. Pour vérifier cette tendance nous envisageons une étude portant sur les 10 cultivars, évoqués dans ce travail, et visant à déterminer le taux d'humidité minimal nécessaire pour produire un placage de bonne qualité.
- Une évaluation de la durabilité naturelle des panneaux contreplaqués et LVL des 10 cultivars évoqués dans cette thèse.
- Enfin nous envisageons une poursuite de cette recherche sur d'autres cultivars susceptibles d'être utilisés, en intégrant de nouveaux critères qualitatifs, tels que la couleur, la stabilité dimensionnelle du placage et l'âge de la transition bois juvénile/ bois adulte.

En effet, si le bois de peuplier est réputé pour sa déroulabilité, il faudra diversifier ses débouchés afin d'assurer la pérennité de la filière peuplier. Une réflexion pour faire du peuplier un bois de structure doit être menée, du fait des besoins croissant en bois pour la construction. La production d'un bois de structure passe par une sylviculture accélérant la transition bois juvénile bois adulte et exige de continuer l'inspection des cultivars pour repérer certains capables de produire des bois à faible proportion de bois juvénile.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1) AFNOR BOIS, 1985 : Détermination de l'humidité NF B 51-004, 3 p.

2) AFNOR BOIS, 2000 : Contreplaqué classification et terminologie NF EN 313-2, 20 p.

3) AFNOR BOIS, 2005 : Contreplaqué qualité du collage Partie 1 : Méthodes d'essai NF EN 314-1, 17 p.

4) AFNOR BOIS, 2005 : Lamibois (LVL) - Définitions, classification et spécifications NF EN 14279, 20 p.

5) AFNOR BOIS, 2005 : Structures en bois - Méthodes d'essai - Détermination des propriétés mécaniques des panneaux à base de bois NF EN 789, 30 p.

6) AEESB., 1984 : Pense Précis Bois. Editions H. Vial ISBN 2-85101-009-3, janvier, 564 p.

7) ALEON, D., 2003 : Le séchage du peuplier avec phases vapeurs. Rapport CTBA, 65 p.

8) AYDIN I., G. COLAKOGLU, S. COLAK, C. DEMERKIR, 2005 : Effects of moisture content on formaldehyde emission and mechanical properties of plywood. *Elsevier Science Ltd., 2005. 05.011. pp.1311-1316*

9) BADIA, M.A., 2003 : Modélisation de la distribution du bois de tension dans une grume de peuplier à partir de l'empilement tridimensionnel des cernes. Cas des cultivars I214, Luisa Avanzo et I-MC, Thèse de doctorat en Sciences du Bois, ENGREF, 215p.

10) BALDASSINO, N., P. ZANON, R. ZANUTTINI, 1998 : Determining mechanical properties and main characteristic values of Poplar plywood bymedium-sized test pieces. Materials and Structures, vol. 31, January-February, pp 64-67.

11) BAO, F., S. LIU., 2001: modeling de relationships between wood properties and quality of veneer and plywood of Chinese plantation poplars. Wood and Fiber Science, 33 (2), the society of wood science and technology, pp 264-274.

12) BAO, F., F FU., E.T CHOONG., C.Y HSE., 2001: Contribution factor of wood properties of three poplar clones to strength of laminated veneer lumber, Wood and Fiber Science, 33 (3), the society of wood science and technology, pp 345-352.

13) BARNEOUD, C et P. BONDUELLE, J. DUBOIS., 1983: Manuel de populicuture, AFOCEL, Paris, 317 p.

14) BEAUCHENE, J. 1996: Evolution du comportement mécanique du bois vert avec la température. Application à l'étude du déroulage et du tranchage de quelques bois guyanais. ENGREF, these de doctorat, Montpellier. 164 p

15) BENOIT, Y., D. DIROL., 2000 : Coffret de reconnaissance des bois de France : 16 essences, les observer, les identifier, les utiliser. CTBA, Paris 56 p.

16) BERTHELOT, A., G. CHANTRE., 2004 : La peupleraie française : un maillon essentiel de la filière bois. Biofutur vol. 247, pp. 20-23.

17) BERTHELOT, A., C. BASTIEN, M. VILLAR, J. PINON, B. HEOIS, M. Menard., 2005: Le GIS Peuplier 4 ans après sa création. Informations forêt- N°2, fiche N°708, AFOCEL, 6 p.

18) BERTHELOT, A., D. REULING, D. ALEON, H. EL HAOUZALI, R. MARCHAL, E. PAILLASSA., 2009: Référentiel qualité des bois des cultivars de peuplier- Rapport final, 151 p.

19) BIGUE, B., A. Bouchard, A. Cogliastro, G. Lambany, P. Périnet., 2006 : La populiculture. Rapport mission en France sous la responsabilité du réseau ligniculture Québec, 32 p.

20) BORDONNE, P.A., 1989: Module dynamique et frottement intérieur dans le bois : mesures sur poutres flottantes en vibration naturelle, Thèse de Doctorat de l'INPL, Nancy, 104 p.

21) BOURY, S., 1993 : Estimation quantitative de la répartition du bois de tension chez le peuplier (Populus x euramericana cv. I214) à partir de l'hétérogénéité circonférentielle de la densité du bois, Laboratoire de recherches sur la qualité du bois, INRA, Nancy-Champenoux, 36 p.

22) BRETON, V., 2000: Évolution de la Populiculture- Période 1996-1999. Rapport national de la France. *Commission Internationale du Peuplier (FAO) XIXè session, septembre, Portland, Oregon.*

23) BURDURLU, E., M. Kilic, A. Cemil Ilce, O. Uzunkavak., 2007: The effects of ply organization and loading direction on bending strength and modulus of elasticity in laminated veneer lumber (LVL) obtained from beech (Fagus orientalis L.) and lombardy poplar (Populus nigra L.) Construction and Building Materials (21), pp 1720–1725.

24) BUTAUD J-C., C. DECES-PETIT, R. Marchal., 1995: An Experimental Device for the Study of Wood Cutting Mechanisms: the Microlathe. *Poster Session Proceedings of the 12th International Wood Machining Seminar, October 2-4, KYOTO (Japan), pp 479-485.*

25) CASTERA, P., G. NEPVEU, F. MAHÉ, G.VALENTIN, 1994: A Study on growth stresses, tension wood distribution and other related defects in poplar (*Populus euramericana* cv I214): end plits, specific gravity and pulp yield. Annals of Forest Science, 51 (3), pp 301-313.

26) CHANTRE, G., 1994 : Variabilité de la qualité de placages de peuplier déroulés en conditions industrielles, en fonction de la position dans la grume et de l'origine génétique des arbres. Annales de recherches sylvicoles ISSN 0398-494X, AFOCEL, Paris, pp 91-122.

27) CHANTRE, G., G. JANIN, S. CHAUNIS, A. DILEM., 1994: Comparaison de deux méthodes d'estimation de la variabilité clonale des qualités papetières du peuplier. Canadian Journal of Forest Research, vol. 24, no7, pp. 1419-1425.

28) CHANTRE, G., 1995: Variabilité clonale des caractéristiques technologiques chez le peuplier, état et perspectives de la populiculture. *Comptes rendus de l'académie d'agriculture de France, état et perspectives de la populiculture, pp 207-223.*

29) CHANTRE, G., 1996 : Aptitude au déroulage de 7 clones de peuplier cultivés en forêt domaniale de Chautagne. ONF/AFOCEL, rapport final, 50 p.

30) CHARDENON, J., 1982: Le Peuplier Aujourd'hui et Demain, IDF, Paris, 280 p.

31) CHFFEY, N., 2000: Microfibrill orientation in wood cells: new angles on an old topic. Trends in Plant Science, 5 (9), 360-362 pp.

32) CINOTTI, B., 1989 : La gélivure des Chênes : front de gel source de contraintes internes, incidence des propriétés anatomiques et mécano-physiques. Thèse de doctorat en Sciences du Bois, INPL, 158 p.

33) COGNARD, P., 2005 : Collage du bois : colles et adhésifs et leurs caractéristiques. Techniques de l'Ingénieur, BM 7634, 18p.

34) COLLARDET, J et J. BESSET., 1992 : Bois commerciaux - Tome 2 : Feuillus des zones tempérées. H/VIAL et CTBA, 400 p.

35) C.T.B., 1971 : Etude du bois de peuplier Trichocarpa 'SP 126'. Cahier CTB, Paris, 24 p.

36) C.T.B., 1973 : Etude du bois de peuplier. Compte rendu des essais de déroulage n°1, 6 p.

37) C.T.B.A., 1984 : le Peuplier en Structure, cahier N° 123, Paris, 27 p.

38) DAI, C., G. ETROUGHTON, B.J. WANG., 2003: Development of a new incising technology for plywood/LVL production: part I. Incising at the lathe and its effects on veneer quality and recovery, Forest Product Journal, 53 (3), pp 73-79.

39) DESCAMPS, C., R. MARCHAL, L. BLERON, R. COLLET., 2009: Influences of lathe checks on LVL mechanical properties. *Fourth International Symposium on Veneer Processing and Products, 24-27 May 2009, Espoo, Finland.*

40) DECES -PETIT, C., 1996: Etude des phases transitoires au cours du déroulage de bois, Thèse de doctorat ENSAM, Cluny, 120 p.

41) DENAUD, L.E., 2006 : Analyses vibratoires et acoustiques du déroulage. Thèse de doctorat, ENSAM Cluny, 236 p.

42) DEVALLANCE, D.B., J.W. FUNCK, J.E. REEB., 2007: Douglas-fir plywood glue-bond quality as influenced by veneer roughness, lathe checks and annual ring characteristics. Forest Products Journal 57 (1/2), pp 21-28.

43) DUCHAUFOUR, P.H., 1965: Précis de pédologie, Masson, Paris, 280 p.

44) DUPRE, E., 2004: Suivi phénologique des peupliers noirs dans la réserve naturelle de St-Pryvé-St-Mesmin. Etude de la floraison, de la fructification et du débourrement végétatif. Maîtrise Biologie des Populations et des Ecosystemes, Université Rennes 1.

45) ECKENWALDER, J.E., 1996: Systematics and evolution of Populus. In: Stettler RF, Bradshaw HD Jr, Heilman PE, Hinkley TM, editors. Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation. Part I, Chapter 1. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, Canada, pp. 7–32.

46) EBIHARA T., 1982: The performance of composite beams with laminated-veneer lumber". Mokuzai Gakkaishi, vol.28, n° 8, pp 216-224.

47) ECHOLS R.M., R.A. CURRIER., 1973: Comparative properties of Douglas-Fir made from Parallel-Laminated Veneers vs Solid Wood. Forest Products Journal, vol. 23, n° 2, pp 45-47.

48) FANG, C., 2007: Contribution of gelatinous layer to tension wood behavior in poplar: growth stresses and wood material properties. These de doctorat de l'université Montpellier II et Anhui Agricultural University, 204p.

49) FAO, 1980 : Peupliers et saule dans la production du pois et l'utilisation des Terres. Ed. ISBN 92-5-200500-5 Rome, 343 p.

50) FAO, 2003 : Le rôle des peupliers et des saules dans le développement rural durable : Leur contribution sociale, écologique et économique. *Trente-deuxième session de la Conférence de la FAO, 29 novembre–10 décembre. Disponible sur: http://www.fao.org/forestry/media/ 6415/1/0/.*

51) FAO., 2004: Le Peuplier dans le Monde. *Rapport de La 22ème session de la Commission Internationale du Peuplier.*

52) FEIHL, O., 1986 : Venner cutting manual, Forintek Canada Corp, Special publication SP 510, ISBN 0-86488-507-1, 266 p.

53) FONDRONNIER, J et J.GUILLERM, 1979 : Technologie du déroulage, Cahier du Centre Technique du Bois, ISSN 0528-4937, 64 p.

54) GABORIK, J., K. KACEROVA, 2007: Bending properties of laminated wood from juvenile poplar. *Second international scientific conference – woodworking techniques, 11-15 september, Zalesina, Croatia, pp 233-240.*

55) GAMA, A et Y. DUMAS., 1995: Application sur Essence Forestière (peuplier) d'un Test de Sélectivité Racinaire Proposé en Arboriculture et Viticulture. *Communication*

au 16ème conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, 6-8 décembre, Reims.

56) GAUSSEN, H., et J-F. LEROY, P. OZENDA, 1982 : Précis de Botanique Tome 2 Végétaux Supérieurs, Masson, paris, 579 p.

57) GRIFFOEN, K., 1973: Investigation of the properties of poplar wood. *Proceding of the Meeting of the Wood Exploitation and Utilization Working Group of the International Poplar Comission. Firenze, 12-13 september, 8 p.*

58) GRZESKOWIAK, V., F. SASSUS, M. FOURNIER., 1996 : Coloration macroscopique, retraits longitudinaux de maturation et de séchage du bois de tension du peuplier (*Populus x euramericana* cv I.214). Ann Sci For, (53), pp 1083-1097.

59) HOOVER, W.L., C.A. ECKELMAN, R.W. JOKERST, J.A. YOUNGQUIST., 1979: Utilization of red oak press-lam as upholstered furnitude frame stock. Forest Products Journal, vol.29, n°5, pp 30-40.

60) HOOVER W.L., J.M. RINGE, C.A. ECKELMAN, J.A. YOUNGQUIST., 1987: Material design factors for hardwood laminated-veneer-lumber". Forest Products Journal, vol.37, n° 9, pp 15-23.

61) HUANG, R., F. BAO, D. ZHANG, 2005 : Model for maturation age of wood property and extend of juvenile wood zone in poplar trunks. Scientia Silvae Sinicae, vol. 41 N°3, pp 103-109.

62) JUAN, J., 2008 : Travail mécanique du bois ; Principales opérations d'usinage. Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique B 7 306, 23 p.

63) JOUREZ, B., A. RIBOUX, A. LECLERCQ, 2001: Anatomical characteristics of tension wood and opposite wood in young inclined stems of poplar (Populus euramericana cv 'Ghoy'). IAWA Journal 22 (2): 133-157.

64) KOCH, P., 1967: Super-strength beams laminated from rotary-cut southern pine veneer. Forest Products Journal, vol.17, n° 6, pp 42- 48.

65) KIM, Y., M. OKUMA, T. YOKOTA, 1998: Study on sheet material made from zephyr strands V: Properties of zephyr strand board and zephyr strand lumber using the veneer of fast-growing species such as poplar. Japan Wood Research Society, N° 44, pp 438-443.

66) KUNESH, R.H., 1978: Micro-Lam: structural Laminated Veneer Lumber. Forest Products Journal, vol. 28, n° 7, pp 41-44.

67) LAFARGUETTE, F., 2003 : Identification et caractérisation de gènes régulés lors de la formation du bois de tension chez le peuplier. Thèse de doctorat de l'université d'Orléans, 181 p.

68) LANGBOUR, P., 1989: Rigidité de l'arbre sur pied, indication de l'élasticité longitudinale du bois. Application aux peupliers. Thèse de doctorat INPL, 143 p.

69) LANVIN, J.D., F. SIMON, D. REULING, R. MARCHAL., 2006: *Oak and LVL Plywood: A New Way to Technical Panels. Second International Symposium Veneer Processing and Products (ISVPP2), Vancouver 9-10 may, pp 219-228.*

70) LEBLANC, S., 2006 : Le peuplier hybride remplacera-t-il le peuplier faux-tremble dans la fabrication du LVL et du contreplaqué. Le Couvert Boréal, pp 18-19. Disponible sur le site web : www.partenariat.qc.ca.

71) LE FLOCH, S., 1996: Regards sur le Peuplier, un Arbre entre champs et Forêts du Rationnel au Sensible, ENGREF, 298 p.

72) LE FLOCH, S et TERASSON, D., 1999: Entre Agriculture et Forêt, des Enjeux Majeurs pour un Arbre Ordinaire: le Peuplier, Annales de géographie, pp 603-614.

73) LEGIONNET, A., P. FAIVRE RAMPANT, M. VILLAR, F. LEFÈVRE., 1997: Sexual and asexual reproduction in natural Stands of *Populus nigra*. Botanica Acta, pp 257-263.

74) LECLERCQ, A., 1989 : la Qualité du bois de quelques nouveaux cultivars belges de peuplier. Document interne, Station de Technologie Forestière de Gembloux, 54 p.

75) LE NET, E et BERTHELOT, A., 2006: Peupliers et Economie. Fiche AFOCEL, 4 p.

76) LEPISTÖ, V.M., R, MASSEY., 2008: Popularity of poplar grows. Plyvisions, Raute Customer Magazine, n° 10 january, pp 10-13.

77) LEPLE, J.C., Pilate G, JOUANIN L, 1999 : Transgenic poplar trees (Populus species). In Biotechnology in Agriculture and Forestry. Springer-Verlag, vol. 44, pp 221-244.

78) MARCHADIER, H., SIGAUD P., 2005 : Les peupliers dans la recherche biotechnologique, Unasylva 21231, Vol. 556, 20035, pp 38-39.

79) MARCHAL, R., 1983 : Intérêt de la prise en compte de caractéristiques physiques et anatomiques simples du bois de chêne pur l'appréciation de la qualité des placages d'ébénisterie, DEA Sciences du Bois, INPL, Nancy, 105 p.

80) MARCHAL, R., 1989 : Valorisation par tranchage et déroulage des bois de chênes méditerranéens (Quercus ilex, Quercus pubescens, Quercus suber), Thèse de Doctorat de l'INPL, Nancy, 294 p.

81) MARCHAL R., D. JULLIEN, F. MOTHE, B. THIBAUT, 1993: Mechanical aspects of heating wood in rotary veneer cutting. *Proceedings of the 11th International Wood Machining Seminar, May 25-27, HONNE (Norway), pp 257 - 278.*

82) MARCHAL, R., 1995 : Une alternative pour les bois feuillus de qualité secondaire : les LVL (Laminated Veneer Lumber), lamellés collés de placages. Revue Forestière Française, XLVII- 4, pp 375-382.

83) MARCHAL, R., F. MOTHE, 2001: Influence of the nose bar settings on tool instabilities in the peeling process. *15th International Wood Machining Seminar, July 30 – August 2nd,Los Angeles, pp 309-328.*

84) MARCHAL, R., F. MOTHE, L.E. DENAUD, B. THIBAUT, L. BLÉRON, 2009: Cutting forces in wood machining – Basics and applications in industrial processes. Review Paper. Holzforschung, vol. 63, pp 157-167.

85) MASSON, D., M.C TROUY-TRIBOULOT., 2003 : Matériaux dérivés du bois. Techniques de l'ingénieur, C-928, 17 p.

86) MATYAS, C., I. PESZLEN, 1997: Effect of age on selected wood quality traits on poplar clones. Silvae Genetica, vol 46, N° 2/3, pp 64-72.

87) MERTENS, P., CULOT, et R. EVRARD, 2003 : Le Peuplier en Wallonie et dans les régions Voisines. Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement, ministère de la région Wallonne, 483 p.

88) MONCEL, D., et P. CHANRION, 2004 : Les emballages en bois. Modernité et réactivité face à des marchés très concurrentiels. Revue Forestière Française, numéro spécial le bois dans son futur, pp 73-80.

89) MOODY, R.C., 1972: Tensile strength of lumber laminated from 1/8-inch-thick veneers. Research paper , FPL n° 181, 28 p.

90) MOTHE, F., 1985 : Essai et comparaison de trois méthodes de classement de surface de bois massif pour leur rugosité : méthodes pneumatique et sensorielles. Annales Sciences Forestières 42 (4), pp 435-452.

91) MOTHE, F., 1988 : Aptitude au déroulage du bois de Douglas, conséquences de l'hétérogénéité du bois sur la qualité des placages, Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Technologies du Languedoc, INPL, 183 p.

92) MOTHE, F., 1990: Evaluation de la qualité d'un placage déroulé application au cas de l'Epicéa. *Actes du 3eme colloque des Sciences et Industries du Bois, 14-15 mai 1990, Bordeaux, pp 83-92*.

93) MOTHE F., R. MARCHAL, V. BUCUR, 1994: Mechanical Characterisation of Laminated Veneer Lumber (LVL) from European Oak Wood by Acoustival Methods. *Proceedings of the « First European Symposium on Nondestructive Testing of Wood », SOPRON (Hungary), 21-23 septembre, pp 197 – 206.*

94) MOVASSAGHI, E., 1985 : Influence des paramètres microdensimétriques du Bois, sur les efforts de coupe et la qualité des placages de Douglas et de Châtaigner obtenus par déroulage, Thèse de doctorat, INPL, Nancy, 181p.

95) MORIIZUMI, S., N. MAEDA, Y. SANADA, T. OGURA., 1984: The strength properties of Japanese larch LVL (I). The wood quality of small Japanese larch logs and the bending strength of clear LVL. Journal of the Hokkaido Forest Products Research Institute 1984 n° 384, pp 1-7.

96) NANSON, A., 2004 : Génétique et amélioration des arbres forestiers. Les presses agronomiques de Gembloux, 712 p.

97) NBN EN 1316-2,1997 : Bois ronds feuillus - Classement qualitatif - Partie 2: Peuplier.

98) NEESE, J.L., J.E. REEB, J.W. FUNCK., 2004: Relating traditional surface roughness measures to gluebond quality in plywood. Forest Products Journal, 54 (1), pp 67-73.

99) NEPVEU, G., R KELLER, E. TEISSIER, 1978 : Sélection juvénile pour la qualité du bois chez certains peupliers noirs. Annales Sciences Forestières n° 35 (1), pp 69-92.

100) NEPVEU, G., 1984 : la Variabilité de la qualité du bois chez les peupliers, quelques résultats de la recherche. Document à distribution limitée, INRA, Station de la Recherche sur la Qualité du Bois. 50 p.

101) NEPVEU, G., 1994 : le Bois matériau d'ingénierie, Chapitre IV : Variabilité. ARBOLOR Nancy, pp 127-182.

102) NEPVEU, G., C.M PIUSSAN, S. GARROS, S. BOURY, J. SENAC, 1995 : Le peuplier en bois d'œuvre problème de qualité ; déterminisme génétique sylvicole et environnemental des propriétés et aptitudes technologiques ; Une tentative de synthèse des travaux de recherche publiés ou en cours. Comptes rendus de l'académie d'agriculture de France, état et perspectives de la populiculture, Paris, vol 81- n°3, pp 225-242.

103) NEGRI M., MARCHAL R., MOTHE F., 1997: Analysis of the European Douglas Fir Rotary Cutting Lathe Settings and Steaming Process. *Proceedings of the 13th International Wood Machining Seminar, June 17-20, Vancouver (Canada), pp 561-572*.

104) NEGRI, M., R. MARCHAL, R. COLLET, 1999: Peeling parameters for Black locust (Robinia pseudoacacia L.). *14th International Wood Machining Seminar, September 13-18 1999, Cluny (France), pp 407-416.*

105) OKUYAMA, T., H. YAMAMOTO, M. IGUCHI, M. YOSHIDA., 1990: Generation process of growth stresses in cell walls II. Growth stresses in tension wood. Mokuzai Gakkaishi 36 (10), pp 797-803.

106) PAILLASSA, E., 1999 : Fiche technique clone de peuplier. Forêt Entreprise N°125, IDF, Paris.

107) PAŁUBICKI, B., R. MARCHAL, J.C. BUTAUD, L.E. DENAUD, L. BLÉRON, R. COLLET, G. KOWALUK, 2009: A Method of Lathe Checks Measurement; SMOF device and its software. In press, Wood Science and Technology.

108) PIEGAY H, G. PAUTOU, C. RUFFINONI., 2003: Les forêts riveraines des cours d'eau. Ecologie, fonctions et gestion. IDF, 464 p.

109) PLYSOROL, 2006 : Le contreplaqué peuplier. Fiche technique, Bois mag, N° 56 Mars/Avril.

110) REVOL-JUNELLES, A.M., R. MIGUINDOU-MABIALA, D. ROGER-MAIGNÉ, A.B. MILLIÈRE., 2005: Behavior of Escherichia coli cells and Bacillus cereus spores on poplar wood crates by impedance measurements. Journal of Food Protection, Volume 68, Number 1, January, International Association for Food Protection, pp 80-84.

111) ROBIN, E., F. HESSER, J.C. DUPRE, F. BREMAND., 2004 : Etude in situ de la déformée de troncs de peupliers lors d'essais de flexion. *Colloque Photomécanique, 4mai, Albi, pp. 209-216.*

112) ROOSEN, P., 1956 : la teneur en eau des tiges des peupliers euraméricains en Belgique. Bull. inst. Agron. Et stat. Rech. Gembloux, 25, 1-2, pp 179-197.

113) ROUSSEL, L., 1972 : Photologie forestière. Masson, Paris, 144 p.

114) SACRE, E., 1977 : Caractéristiques anatomiques et physiques du bois des peupliers 'I. 214', 'Robusta' and 'Gelrica' aux stades précoce et adulte. Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique 84 (6), pp 321-338.

115) SACRE, E., 1959 : Le bois de tension des peupliers. Bulletin Institut. Agronomique et Station de Recherche Gembloux XXVII (4), pp 435-444.

116) SACRE, E., 1974 : Etude du bois des peupliers 'I. 214', 'Robusta' et 'Gelrica' (2ème partie). Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique 80 (3): pp 157-230.

117) SALES, C., 1995: Le peuplier dans la filière bois. Comptes rendus de l'académie d'agriculture de France, état et perspectives de la populiculture, pp 15-22.

118) SASSUS, F., M. FOURNIER, B. THIBAUT, 1995: Longitudinal growth strains and drying shrinkage in tension wood of poplars. IAWA Bulletin 16 (1): 16-17.

119) SBAY, H., H. TAROQ., 2003: The culture of the poplar in Morocco Realities and Perspectives. *International Conference on the future of poplar culture, Rome, 13 p.*

120) SCHAFFER E.L., R.W. JOKERST, R.C. MOODY, C.C. PETERS, J.L. TSCHERNITZ, J.J. ZAHN., 1972: Feasibility of producing a high-yield laminated sructural product: General Summary. Research paper FPL n° 175, 18 p.

121) SCOTT, E.S., 1984: Populations of bacteria in poplar stems. European Journal of Forest Pathology, Vol. 14 No, 2, pp 103-112.

122) SELL, J., ET KROPF, F., 1990 : Propriétés et caractéristiques des essences de bois. Lignum, 93 p.

123) SENAC, J., 1994 : Possibilité de sélection pour l'aptitude au déroulage chez le peuplier : Application aux clones : Alcinde, Dorskamp, I214 et Robusta.rapport de stage 58ème promotion, INRA centre de Nancy, 49 p.

124) SENSOGUT, C., M. OZALP, H. YESIL., 2009: The effect of borax pentahydrate addition to urea formaldehyde on the mechanical characteristics and free

formaldehyde content of plywood. International Journal of Adhesion & Adhesives n°29, pp 589–592.

125) SIGAUD, P., 2004 : Conservation génétique et utilisation des peupliers en chine, avec une attention particulière pour la chine du nord. 12 p, disponible sur: www.fao.org/forestry/media/ 6500/1/0/.

126) SOULERES, G., 1992: Les milieux de la populiculture. Institut pour le Développement Forestier, Paris, 308 p.

127) STEWART, C.M., 1967: Moisture Content of living trees. Nature, 214, 5084, pp 138-140.

128) SVORADOVÁ, M., L. BLÉRON, R. MARCHAL, G. GIACOMO, F. COTTIN., 2002: Influence of Wood Extractibles on the Gluing Quality in Oak LVL. 3rd International Conference Wood Science and Engineering (ICWSE-3), November 20-22th, 2002 Brasov, Romania, pp 370 – 378.

129) THIBAUT, B., 1988 : Le processus de coupe du bois par déroulage, Thèse de doctorat d'état, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 386 p.

130) THIVOLLE-CAZAT, A., 2003: Disponibilité en Bois de peuplier en France de 2002 à 2020. Fiche AFOCEL, Laboratoire Economie et Compétitivité, 4 p.

131) TSOUMIS, G.T., 1991: Science and technology of wood: structure, properties, utilization. Vannostrand Reinhold, New York, 494 p.

132) USDA, 1987: Wood handbook, wood as an engineering material. Agric. Handb.72. Washington, D.C., 466 p.

133) VASSILOU, V., 1996 : Bending strength of thin 3-ply poplar plywood in relation to core veneer joints. Springer-Verlag n° 54, p 360.

134)WANG, J., C. LI, G. ZHAO, R. DU, Y. LENG., 1998: Drying of poplar veneer. China Wood Industry, Vol 12, No 5, pp 3-7.

135)YOUNGQUIST, J.A., B.S. BRYANT., 1979: Production and marketing feasibility of parallel-laminated veneer products". Forest Products Journal, vol.29, n° 8, pp 45-48.

136)YOUNGQUIST, J.A., T.L. LAUFENBERG, B.S. BRYANT., 1984: End jointing of laminated veneer lumber for structural use". Forest Products Journal, vol.34, n° 11/12, pp 25-32.

137) ZHENG, H., Y. DAI, P. ZHANG, T. GUO, B. LIANG., 2006: Surveys on red heart disease of poplars. Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology, Vol. 33 No 1, pp 22-24.

138) ZHUGE, Q., M. HUANG, H. PAN, H. LI, W. FENG., 1997: Study on chemical characteristics and formation mechanism of poplar wet heartwood. Scientia Silvae Sinicae, Vol 33, No.3, pp 259-266.

ANNEXES

Annexe I : Fiches techniques des deux colles utilisées.

Annexe II : Questionnaire de l'enquête industrielle.

Annexe III : Cartographies d'humidité.

Annexe IV: Répartition du pourcentage de placages pelucheux entre l'aubier et le faux cœur.

Annexe V: Matrice de corrélations entre les différents critères étudiés.

Annexe VI: Evolution de l'épaisseur en fonction de la position radiale.

Annexe VII : Résultats de l'analyse de variance.

Annexe VIII : Contribution à la mise en place d'une procédure industrielle en vue d'atténuer le phénomène de peluchage lors du déroulage.

Annexe I- Fiches techniques des deux colles utilisées

KLEIBERIT®
KLEBSTOFFE • ADHESIVES

Supracolle 303.8

Colle industrielle monocomposante pour collages résistants à l´eau selon DIN EN 204; qualité de collage D 3.

Domaine d'application
- Collage de portes et fenêtres
- Collage de surfaces dans la fabrication de cloisons et d'éléments sandwich
- Collage de bois durs et bois exotiques, par exemple dans la fabrication d´escaliers
- Convient au collage de placage
- Collage haute fréquence

Critères
- Si utilisée en tant que colle monocomposante, prête à l'emploi
- Convient au collage à chaud et à froid

Caractéristiques du collage
- Utilisée en tant que colle monocomposante, la supracolle 303.8 correspond au groupe de contraintes D 3 selon DIN EN 204.
- Pouvoir adhésif élevé, même pour bois durs et exotiques
- Film de colle ferme et dur, incolore

Caractéristique de la colle

Base:	dispersion PVAC
Densité:	env. 1,1 g/cm³
pH du mélange:	3 - 4
Couleur de la colle:	blanc
Consistance:	viscosité moyenne
Viscosité :	
Brookfield br. 6/20tr/mn	7.000 ± 1.000 mPa·s
Temps ouvert 20 °C:	5 - 6 mn
Point blanc:	env. + 7 °C
Identification de la colle:	non soumise à une Identification selon les règles en vigueur en RFA
Identification du durcisseur:	soumis à une identification selon les règles en vigueur en RFA. Protéger mains et yeux ! En cas d'éclabous-sures, laver immédiatement à l'eau.

Méthode d'application
- manuellement au pinceau, à la spatule ou au rouleau encolleur
- systèmes encolleurs de cadreuses et d´installations pour aboutage
- encolleuses automatiques

Les outils d'application doivent être en acier inoxydable ou en matière plastique.

Application
Les matériaux à coller doivent être propres, exempts de poussière et de graisse et climatisés. La température d'application la plus favorable se situe entre 18 et 20 °C, l'humidité du bois la plus favorable se situe entre 10 et 14 %. Ne pas travailler en-dessous de + 10 °C. Une application en simple enduction est suffisante. Dans le cas de collage de bois dur, il est conseillé d´appliquer la colle en double enduction.

Grammage:
120 - 200 g/m² dans le cas d´une application manuelle
80 - 100 g/m² dans le cas d´une application automatique
Le grammage dépend de la structure de la surface et de l´encolleuses utilisée.

Temps ouvert: 5 - 6 minutes
Le temps ouvert est influencé par le grammage, l´aptitude à l'absorption des matériaux, de l´humidité contenue dans l´air et dans le bois et de la température.

Fenêtres ou assemblages de cadres similaires peuvent être retirés de la presse immédiatement après chevillage ou clouage provisoire. La résistance à l´eau des éléments collés selon DIN/EN204 est obtenue après 7 jours environ.

Le bois et ses dérivés étant des produits naturels, certaines essences spécifiques peuvent avoir, au contact des colles, des réactions provoquant des colorations ou décolorations.

Nettoyage
Machines, encolleuses et emballages sont nettoyés avec de l'eau.

Copyright © by KLEIBERIT

KLEIBERIT CHIMIE • Chemin Départemental 63 • F-67116 Reichstett
Téléphone: 03 89 75 73 75 • Fax: 03 89 75 72 76 • E-Mail: info@kleiberit.com http://www.kleiberit.com

KLEIBERIT®
KLEBSTOFFE • ADHESIVES

Supracolle 303.8

Conditionnement

KLEIBERIT 303.8 :
seau en matière plastique de 28,0 kg net
container perdu en matière plastique d'env. 1000 kg

Stockage

KLEIBERIT 303.8 peut être stockée pendant un an environ dans son emballage d'origine fermé et à une température de 20 °C. La colle résiste au gel jusqu'à - 25 °C. Avant emploi, porter progressivement à température ambiante et bien remuer.

EX0202

Copyright © by KLEIBERIT

Elimination des déchets
Les déchets de colle et les emballages doivent être éliminés ou évacués selon les prescriptions des autorités nationales et locales. Nos emballages sont recyclables.

Service
Notre Service Technique se tient à votre entière disposition pour résoudre vos problèmes de collage. Les indications données ci-dessus se fondent sur nos expériences actuelles et sont à considérer comme informations sans engagement de notre part. Nous vous recommandons de procéder à des essais pour vérifier si notre produit convient à vos besoins. Notre garantie n´excède pas la valeur de notre produit et ne peut résulter des indications précédentes. Ceci vaut également pour les informations données gratuitement et sans engagement par notre Service Technique.

KLEIBERIT CHIMIE • Chemin Départemental 63 • F-67116 Reichstett
Téléphone: 03 89 75 73 75 • Fax: 03 89 75 72 76 • E-Mail: info@kleiberit.com, http://www.kleiberit.com

icabois

ertsau - B.P. 77 - 67802 BISCHHEIM CEDEX - Tél. +33 (0)3 88 33 50 15 - Fax +33 (0)3 88 18 93 61

PREFERE 4535

Colle Mélamine-Urée-Formol liquide pour Bois-Lamellé-Collé.

DOMAINE D'UTILISATION

Prefere 4535 est une résine liquide qui est toujours utilisée en combinaison avec le durcisseur liquide ***prefere 5035*** pour l'aboutage et la lamellation dans l'industrie du bois lamellé collé.

Prefere 4535 permet d'obtenir des joints garnissants, résistant à l'eau et aux intempéries.

Les joints obtenus sont clairs et ne noircissent pas dans le temps. Ils répondent aux caractéristiques demandées par les normes européennes EN 301 et EN 302 pour le type I.

Le CTBA et le NTI (Institut norvégien de contrôle) ont approuvé la résine *prefere 4535* associée au durcisseur *prefere 5035* pour la fabrication des structures en bois lamellés collés résineux utilisées dans les classes de climat 1, 2 et 3 (intérieur et extérieur)

Prefere 4535 associée au durcisseur ***prefere 5035*** a également été agréée par le MPA selon les normes allemandes DIN 68141 et DIN 1052.

Prefere 4535 est aussi recommandée pour de nombreuses autres applications de collage.

Elle peut être utilisée pour le collage à chaud, à froid, ainsi que pour le collage sous presse "Haute-Fréquence".

Prefere 4535 présente un faible taux de dégagement de formaldéhyde et ainsi permet de maintenir une atmosphère de travail saine et par ailleurs de présenter des joints de collage à dégagement minimal de formaldéhyde.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA RESINE

Aspect	*liquide blanc laiteux*
Matière sèche	*63 à 65 %*
Viscosité	*3000 à 3500 mPa.s à 25°C*
pH	*9,5 à 10*
Masse volumique	*1,22 à 1,24 g/cm3 à 25°C*

STOCKAGE

Selon la température de stockage, ***prefere 4535*** peut être stockée jusqu'à 6 mois.

Le tableau suivant indique les durées de conservation à partir de la date de fabrication pour diverses températures :

Température de stockage	Durée de conservation
5° à 10°C	environ 6 mois
15°C	environ 5 mois
20°C	environ 4 mois
25°C	environ 3 mois
30°C	environ 2 mois

SAS au capital de 37 000 € - 480 773 845 RCS Strasbourg
Siège social : 20, avenue de la Paix - 67000 STRASBOURG

La température idéale de stockage se situe entre 10 et 15°C. Cependant la résine froide est très visqueuse et devient alors difficilement pompable.
Prefere 4535 n'est pas inflammable.
Les clients qui sont livrés en vrac dans leurs propres cuves de stockage peuvent se référer à notre brochure technique n° 5 E qui contient des conseils utiles à ce sujet.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU DURCISSEUR

Aspect	liquide blanc grisâtre
Viscosité	environ 3000 mPa.s à 25°C
pH	environ 1
Masse volumique	environ 1,3 g/cm3 à 25°C

STOCKAGE DU DURCISSEUR

Le durcisseur *prefere 5035* peut être stocké pour une durée maximale de 6 mois dans son récipient d'origine. Ce produit doit être protégé du gel.

PREPARATION DU MELANGE-COLLANT

La réactivité du mélange collant peut être adaptée aux besoins de la production (durée d'utilisation, temps d'attente et temps de pressage).
Les différents mélanges exposés au tableau suivant ont été approuvés pour la fabrication de bois lamellé collé.

Proportions en poids	A	B	C	D	E
Résine prefere 4535 liquide	100	100	100	100	100
Durcisseur prefere 5035 liquide	15	20	25	30	35

Ce mélange collant se prépare très facilement dans une installation automatique de dosage et de mélange. Dans le cas d'une préparation manuelle du mélange, il est important de savoir que le durcisseur a une masse volumique supérieure à celle de la résine et par conséquent il faut agiter le mélange en partie basse du mélangeur pour obtenir un mélange collant homogène.
Le mélange de la résine et du durcisseur provoque une notable augmentation de la température du mélange. Plus la température initiale sera élevée, plus la température du mélange croîtra. Ainsi en partant d'une température de la résine de 20°C, l'augmentation de température peut être de 5°C.
En stockant la résine à la température optimale de 10-15°C, une durée de vie en pot du mélange collant optimale est obtenue.
Les équipements de dosage / mélange automatique sont tout-à-fait appropriés pour cette opération.
Il ne faut ajouter ni charges ni produits d'allonge.

La température idéale de stockage se situe entre 10 et 15°C. Cependant la résine froide est très visqueuse et devient alors difficilement pompable.
Prefere 4535 n'est pas inflammable.
Les clients qui sont livrés en vrac dans leurs propres cuves de stockage peuvent se référer à notre brochure technique n° 5 E qui contient des conseils utiles à ce sujet.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU DURCISSEUR

Aspect	liquide blanc grisâtre
Viscosité	environ 3000 mPa.s à 25°C
pH	environ 1
Masse volumique	environ 1,3 g/cm3 à 25°C

STOCKAGE DU DURCISSEUR

Le durcisseur *prefere 5035* peut être stocké pour une durée maximale de 6 mois dans son récipient d'origine. Ce produit doit être protégé du gel.

PREPARATION DU MELANGE-COLLANT

La réactivité du mélange collant peut être adaptée aux besoins de la production (durée d'utilisation, temps d'attente et temps de pressage).
Les différents mélanges exposés au tableau suivant ont été approuvés pour la fabrication de bois lamellé collé.

Proportions en poids	A	B	C	D	E
Résine prefere 4535 liquide	100	100	100	100	100
Durcisseur prefere 5035 liquide	15	20	25	30	35

Ce mélange collant se prépare très facilement dans une installation automatique de dosage et de mélange. Dans le cas d'une préparation manuelle du mélange, il est important de savoir que le durcisseur a une masse volumique supérieure à celle de la résine et par conséquent il faut agiter le mélange en partie basse du mélangeur pour obtenir un mélange collant homogène.
Le mélange de la résine et du durcisseur provoque une notable augmentation de la température du mélange. Plus la température initiale sera élevée, plus la température du mélange croîtra. Ainsi en partant d'une température de la résine de 20°C, l'augmentation de température peut être de 5°C.
En stockant la résine à la température optimale de 10-15°C, une durée de vie en pot du mélange collant optimale est obtenue.
Les équipements de dosage / mélange automatique sont tout-à-fait appropriés pour cette opération.
Il ne faut ajouter ni charges ni produits d'allonge.

APPLICATION DE COLLE

Le grammage dépend du temps d'assemblage requis.
Dans la fabrication de structures lamellées-collées, la colle est appliquée sur une face avec un grammage de l'ordre de 300 à 500 grs/m2 dans le cas d'une encolleuse à filets et de 150-250 g/m2 sur chaque face pour une encolleuse à rouleaux.
En aboutage, il est recommandé de déposer de la colle aux deux extrémités des lames pour s'assurer du bon encollage de toutes les entures.
Contrôler que la colle est expulsée sur toute la longueur du joint lorsque le serrage est effectué.
Pour les autres opérations de collage et dans le cas du collage par haute-fréquence, des grammages inférieurs peuvent être suffisants, en fonction de la qualité de l'état de surface des pièces à coller. En général, l'application "double face" est vivement conseillée pour des bois denses et difficiles à coller.

TEMPS D'ASSEMBLAGE

Le temps d'assemblage est défini comme le temps s'écoulant entre l'application de la colle et la mise sous pression des bois. Il peut être subdivisé en :
- **temps ouvert** (temps décompté entre l'application de la colle et l'affichage des bois),
- **temps fermé** (temps séparant l'affichage des bois et leur mise sous pression).

Le temps ouvert doit être aussi court que possible . Par contre, en particulier pour le collage de bois denses, 10 à 15 minutes de temps fermé est favorable.
Le temps d'assemblage maximal dépend en premier lieu du grammage de colle, ensuite du type de bois, de sa température et de son humidité résiduelle puis de la température, l'humidité relative et la vitesse de circulation de l'air dans l'atelier.
Plus le grammage sera faible, plus la température sera élevée et l'air sec, plus court sera le temps d'assemblage. Pour des lamelles assemblées immédiatement après application de la colle, le temps maximal d'assemblage pour 400 à 450 g/m2 est :

Température ambiante	A : 100 + 15	B : 100 + 20	C : 100 + 25	D : 100 + 30	E : 100 + 35
20°C	2 h 30	2 h 10	2 h	1 h 45	1 h30
25°C	1 h 40	1 h 30	1 h 20	1 h 15	1 h

Ces chiffres s'appliquent pour du bois tendre et une humidité relative de 60 % environ.
Dans tous les cas, la colle doit être encore poisseuse au moment de la mise sous pression.
Le perlage de la colle le long du joint mis sous pression est l'indice que le temps d'assemblage n'est pas dépassé.

PRESSION

La pression est déterminée par l'essence du bois (tendre ou dure) et par le type de collage.
Dans la production de charpente en B.L.C. la pression doit être 0,6-1 N/mm2 pour les bois tendres et 0,8 -1,2 N/mm2 pour les bois durs.
Pour les autres collages, une pression inférieure peut être suffisante.

En aboutage, la pression longitudinale doit être adaptée à la longueur de l'enture à la qualité du bois, son humidité et à la section. Elle est déterminée par expérience.
Une pression de 2 à 5 N/mm2 est suffisante pour des bois tendres et des joints d'aboutage de 25 mm de long. Pour des joints courts, la pression finale de 5-10 N/mm2 est nécessaire.
Dans le cas de bois préchauffé, il existe un risque que la pression provoque des fractures internes du bois, surtout si l'humidité résiduelle du bois est élevée.
Ainsi dans ce type d'application, il faut diminuer la pression à 7 N/mm2 pour des bois à 15 % d'humidité et à 5 N/mm2 pour des bois à 22 % d'humidité.

TEMPS DE PRESSAGE

a) Structures B.L.C.

Mélange collant	Temps de pressage suivant la température			
	20°C	25°C	30°C	40°C
A : 100 + 15	12 h	5 h 30	3 h 15	1 h
B : 100 + 20	9 h	4 h 30	2 h 30	45 min
C : 100 + 25	6 h 30	3 h 30	1h 45	30 min
D : 100 + 30	5 h 15	2 h 45	1 h 30	30 min
E : 100 + 35	4 h 30	2 h 30	1 h 15	30 min

Il s'agit des temps de pressage minima donnant 50 % de rupture du bois dans le test de cisaillement sur des poutres droites en pin ou en épicéa.
Les poutres en arc nécessitent des temps de pressage prolongés. Plus court sera le rayon de courbure, plus long sera le temps de pressage.
Si le collage est réalisé à température élevée dans une étuve, au temps de base indiqué ci-dessus doit être rajouté le temps de pénétration de la chaleur jusqu'au joint le plus profond.
Ce temps complémentaire dépend de la température de l'étuve, la température initiale du bois et en particulier de la largeur des lamelles et de la distribution de la température dans l'étuve.

L'institut norvégien de la technologie du bois, le NTI, a développé un modèle de calcul du degré de polymérisation de la colle dans un atelier de production de B.L.C.
Ce modèle mathématique est basé sur le fait que la polymérisation de la colle se déroule pendant le chauffage des poutres dans l'étuve et que la vitesse de cette polymérisation s'accélère en même temps que la température du joint de colle augmente.
Ce modèle mathématique calcule le degré de polymérisation pour chaque élévation de température d'un degré, et intègre les variations pour obtenir la courbe de polymérisation en fonction de la température du joint de colle.
On obtient ainsi la mesure du degré de polymérisation qui permet de déterminer le moment à partir duquel la colle est suffisamment prise, permettant l'arrêt du pressage.
On tient compte du fait que la colle n'a pas besoin d'être totalement polymérisée à coeur pour supprimer la pression.

La colle de la périphérie de la poutre en B.L.C. est suffisamment bien polymérisée pour permettre aux lamelles de tenir ensemble, sachant que la colle du centre de la poutre continue à se polymériser pendant le refroidissement après relâchement de la pression.

Notre service technique se tient à la disposition de la clientèle pour calculer les temps de pressage nécessaires ou donner toute précision supplémentaire.

En fin de temps de pressage, les joints de colle sont suffisamment polymérisés pour permettre l'usinage des poutres. Cependant la résistance maximale à l'humidité du collage sera atteinte ultérieurement. Le temps nécessaire à ce post-durcissement est fonction du temps de pressage, de la température au cours du pressage et de la stabilisation.
Par exemple si la température au cours du pressage et de la stabilisation est de 20°C, la durée de post durcissement nécessaire dépend de la proportion du mélange collant utilisé.
Il est de 3 jours pour le mélange A (100 + 15) et de 1 ½ jour pour le mélange E (100 + 35)

Le post durcissement n'est rapide qu'au-dessus de 20°C. Dans le cas d'un chauffage par haute-fréquence, le post durcissement est obtenu en quelques heures.
Si la polymérisation s'effectue dans une étuve à 40-60°C, le temps de post durcissement s'établira entre les 2 limites précédentes.

Notre service technique peut vous assister dans la détermination des temps de post durcissement nécessaires.

Durant la phase de post durcissement, les structures de B.L.C. peuvent être manipulées, rabotées etc... mais ne doivent pas être soumises à des efforts qui fragiliseraient les joints de colle.

b) Aboutage

Les aboutages peuvent s'effectuer soit dans un atelier chauffé, dans le cas contraire la polymérisation de la colle est accélérée par l'utilisation de coins chauffés, de la haute fréquence ou de bois préchauffés.
Comme il existe un grand nombre de méthodes pour augmenter la vitesse de polymérisation et que les dimensions des poutres et des entures influent sur le temps de serrage, il n'est pas possible de donner des chiffres précis concernant les temps de pressage. Des essais sur site sont nécessaires.

c) Collage à chaud

Temps de pressage

Température °C	50	60	70	80	90	100
A : 100 + 15	20 min	6 min	3 min	2 min 30	1 min 15	30 sec.
B : 100 + 20	15 min	5 min	2 min 30	2 min	1 min	30 sec.
C : 100 + 25	10 min	4 min	2 min	1 min 30	45 sec.	30 sec.
D : 100 + 30	8 min	3 min	2 min	1 min 15	45 sec.	30 sec.
E : 100 + 35	6 min	2 min	1 min 45	1 min	45 sec.	30 sec.

Les temps de pressage indiqués (temps de base) ne concernent que les températures du joint de colle et il faut ajouter une durée supplémentaire pour le transfert de la chaleur des plaques de presse vers l'intérieur du joint de colle.
Le temps de pénétration de la chaleur va varier en fonction de la densité du bois, de l'humidité résiduelle du bois et de la distance jusqu'au joint de colle le plus profond.
Le tableau ci-dessous indique le temps complémentaire pour des bois de densité moyenne :

Température de presse	Temps complémentaire par mm de bois à traverser jusqu'au joint de colle le plus profond
50 - 60° C	3 minutes
70 - 80° C	2 minutes
90-100° C	1 minute

d) Collage par Haute-Fréquence :

La ***prefere 4535*** est particulièrement bien adaptée au collage par "haute- fréquence". Comme les temps de pressage dépendent de nombreux paramètres tels que la forme des pièces à assembler, la position des électrodes, le type de générateur, etc... il est recommandé d'optimiser le temps de pressage par essais successifs. Il est toutefois nécessaire d'atteindre une température du joint de colle d'au-moins 70°C à l'ouverture de la presse.
Notre service technique peut vous renseigner dans ce but.

NETTOYAGE

Les appareils de mélange et d'application de colle doivent être nettoyés en fin de journée après utilisation.
Si la colle s'épaissit dans l'encolleuse, il faut tout de suite vidanger l'appareil et le nettoyer, sinon on court le risque de la prise en masse de la colle, ce qui nécessiterait un nettoyage mécanique long et fastidieux.
Les différents matériels sont nettoyés le plus facilement avec de l'eau chaude (40-60°C) néanmoins comme cette colle se nettoie très facilement, de l'eau tiède à partir de 25°C peut être utilisée.
Avant le nettoyage à grande eau du matériel, les tuyaux d'amenée d'eau doivent être purgés de l'eau froide s'y trouvant.
Les résines Mélamine-Urée-Formol sont des sources potentielles de pollution. Les résidus de colle et l'eau de lavage ne peuvent être évacués dans le réseau d'assainissement sans autorisation préalable.
Des conseils pratiques concernant ces points font l'objet de notre fiche d'information n° 2 *"Traitement des déchets de colle - Comment éviter la pollution".*

MESURES DE SECURITE / PRECAUTIONS

La ***prefere 4535*** est classée Irritant (Xi) et le durcisseur ***prefere 5035*** est corrosif (C).
La ***prefere 4535*** renferme une quantité faible de formaldéhyde, ce produit étant considéré dans certains pays comme potentiellement cancérogène en classe III, où l'on trouve des produits chimiques ayant provoqués des cancers sur des animaux dans des circonstances très différentes de l'utilisation courante. En effet les concentrations nécessaires pour développer le cancer chez l'animal sont bien supérieures à celles rencontrées au cours de manipulations normales de ces produits pour l'homme.
Dans tous les cas, il faut manipuler la ***prefere 4535*** et le durcisseur ***prefere 5035*** avec les mêmes précautions d'usage que pour les produits chimiques et veuillez vous référer à la fiche de données de sécurité de la *prefere 4535* et du durcisseur *prefere 5035* pour toute information complémentaire.

REMARQUE

La fabrication de charpentes en BLC est normalement soumise à des contrôles réalisés par les autorités compétentes ou par d'autres organismes officiels.
Pour satisfaire à ces contrôles, la fabrication doit suivre certaines procédures variant d'un pays à l'autre. Sur certains points, elles peuvent différer des instructions données ci-dessus.

Dans de telles situations, le fabricant se doit de respecter les règlements en vigueur.

TRADUCTION NOTICE OCTOBRE 2003 en anglais
REV. MAI 05

Les conseils que nous vous donnons verbalement ou par écrit dans le cadre de notre assistance technique et de nos essais n'engagent pas notre responsabilité - même en ce qui concerne d'éventuels droits de tiers en matière de propriété industrielle - et ne vous dispensent pas de la nécessité de vérifier au préalable si nos produits conviennent aux procédés et applications que vous envisagez. L'utilisation, la mise en oeuvre et la transformation des produits fournis échappent à notre contrôle et relèvent , dès lors exclusivement de votre responsabilité. Si notre responsabilité devait néanmoins se trouver engagée, elle se limiterait pour tous les dommages, à la valeur de la marchandise fournie par nous et mise en oeuvre par vos soins. Bien entendu, nous garantissons la qualité de nos produits dans le cadre de nos conditions générales de vente et de livraison.

Annexe II - Questionnaire de l'enquête industrielle

Ce questionnaire a été envoyé par courrier à 125 industriels. Une relance a été nécessaire, suite au premier envoi. 45 réponses ont été obtenue soit un taux de retour de 36 %. Les résultats de l'enquête sont présentés dans ce qui suit question par question

Question 1 - Quelle est votre production ?

contreplaqué	4	8,9%
emballage léger	22	48,9%
sciage	19	42,2%
Total répondants	45	100,0%

☞ Les entreprises d'emballage léger et de sciages sont largement représentées, avec un poids quasi équivalent. Les entreprises de contreplaqué sont, quant à elles, peu représentées.

1. Cahier des charges grumes peuplier

1.1. Classement des grumes

Question 2 - Utilisez – vous le système de classement professionnel des grumes feuillus EN1927 (classes A, B, C, D) ?

o Oui *o Non* *o Sans réponse*

Effectifs **Classement**	oui	non	sans réponse	Total
contreplaqué	0	3	0	3
emballage léger	1	19	1	21
sciage	1	18	0	19
Total	2	40	1	43
%	4,7%	93,0%	2,3%	100

☞ La réponse est quasi unanime : pas d'utilisation du système de classement professionnel des grumes feuillus EN1927 (classes A, B, C, D).

***Question 3** - Si Oui, quelles sont les proportions de chaque classe que vous recherchez ?*
A = …. % *B = …. %* *C = …. %* *D = …. %*

☞ Vu les réponses obtenues à la question 4, la question 5 est devenue sans objet.

***Question 4** – Notez de 1 à 5 (1 = pas important ; 5 = très important) les critères grumes suivants :*

Sinuosité	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
Méplat	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
Présence nœuds secs	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
Présence fentes à la culée	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
Longueur inter verticille	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
Volume moyen	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
Hauteur élaguée	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
Importance de la branchaison du verticille	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*

Note : Pour simplifier, les notes 1 et 2 sont regroupées sous le terme pas important, et les notes 4 et 5 sous le terme important.

Effectifs **Sinuosité**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
contreplaqué	0	0	3	0	3
emballage léger	6	3	7	1	17
sciage	0	6	9	0	15
Total	6	9	19	1	35
%	17,1%	25,7%	54,3%	2,9%	100

☞ Le critère sinuosité est important pour 54 % des industriels, en particulier pour le sciage et le contreplaqué. Il devrait être satisfait dans l'avenir étant donné la rectitude des nouveaux cultivars qui arrivent sur le marché.

Effectifs **Méplat**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
contreplaqué	0	1	2	0	3
emballage léger	3	4	8	2	17

sciage	7	4	3	0	14
Total	10	9	13	2	34
%	29,4%	26,5%	38,2%	5,9%	100

☞ Le critère méplat n'apparaît pas comme un critère majeur, mais comme un critère secondaire.

Effectifs **présence noeuds secs**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
contreplaqué	0	1	2	0	3
emballage léger	3	4	11	0	18
sciage	3	3	9	0	15
Total	6	8	22	0	36
%	16,7%	22,2%	61,1%	0,0%	100

☞ Le critère présence de nœuds sec est important à moyennement important pour 83 % des industriels, toutes productions confondues Il justifie donc la nécessité de réaliser des élagages soignés.

Effectifs **présence fentes à la culée**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
contreplaqué	0	0	3	0	3
emballage léger	0	2	16	0	18
sciage	4	5	6	0	15
Total	4	7	25	0	36
%	11,1%	19,4%	69,4%	0,0%	100

☞ Le critère présence de fentes à la culée est important pour 69 % des industriels, en particulier pour l'emballage léger et le contreplaqué.

Effectifs **longueur inter verticille**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
contreplaqué	1	1	1	0	3
emballage léger	0	8	7	2	17
sciage	4	8	3	0	15
Total	5	17	11	2	35
%	14,3%	48,6%	31,4%	5,7%	100

☞ Le critère longueur inter verticille est un critère moyennement important à important pour 80 % des industriels, en particulier pour l'emballage léger et le contreplaqué. L'existence d'inter verticilles long chez un cultivar est donc un élément positif pour les industriels.

Effectifs **volume moyen**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
contreplaqué	0	1	2	0	3
emballage léger	1	3	12	1	17
sciage	1	4	10	0	15
Total	2	8	24	1	35
%	5,7%	22,9%	68,6%	2,9%	100

☞ Le critère volume moyen est important pour 68 % des industriels, toutes productions confondues Il justifie donc de commercialiser des bois de dimensions suffisantes pour une bonne productivité des process.

Effectifs **hauteur élaguée**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
contreplaqué	0	1	2	0	3
emballage léger	0	2	16	0	18
sciage	2	4	9	0	15
Total	2	7	27	0	36
%	5,6%	19,4%	75,0%	0,0%	100

☞ Le critère hauteur élaguée est important pour 75 % des industriels, toutes productions confondues. Le bois sans nœuds est donc bien une priorité.

Effectifs **importance de la branchaison du**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total

verticille					
contreplaqué	0	2	1	0	3
emballage léger	1	3	9	4	17
sciage	5	3	6	0	14
Total	6	8	16	4	34
%	17,6%	23,5%	47,1%	11,8%	100

☞ Le critère importance de la branchaison du verticille est un critère moyennement important à important pour 70 % des industriels, en particulier pour l'emballage léger et le contreplaqué.

1.2. Bois de tension

Question 5 - Le bois de tension est-il un problème pour votre production ?

o Très important o Important o Peu important o Sans importance

Note : Pour simplifier, "Très important" et "Important" sont regroupés sous le terme important.

Effectifs	important	peu important	sans importance	Total
contreplaqué	4	0	0	4
emballage léger	16	5	0	21
sciage	13	5	0	18
Total	33	10	0	43
%	76,7%	23,3%	0,0%	100

☞ Le bois de tension est une préoccupation majeure pour 76 % des industriels, toutes productions confondues.

Question 6 - Le bois pelucheux est-il un problème pour votre production ?

o Très important o Important o Peu important o Sans importance

Note : Pour simplifier, "Très important" et "Important" sont regroupés sous le terme important.

Effectifs	important	peu important	sans importance	Total
Contreplaqué	3	1	0	4
emballage léger	18	4	0	22
Sciage	15	3	1	19
Total	36	8	1	45
%	80,0%	17,8%	2,2%	100

☞ Le bois pelucheux est une préoccupation majeure pour 80 % des industriels, toutes productions confondues.

1.3. Masse volumique grume

Question 7 – La masse volumique grume est-elle importante pour votre production ?

o Oui o Non o Sans réponse

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total
contreplaqué	1	3	0	4
emballage léger	11	9	2	22
sciage	11	7	1	19
Total	23	19	3	45
%	51,1%	42,2%	6,7%	100

☞ La masse volumique des grumes apparaît importante pour un industriel sur deux. Pour le contreplaqué, ce critère ne ressort pas comme essentiel.

Question 8- Si oui, quels sont les bois les plus adaptés à votre production ?

o bois lourds (+ de 850 kg/m^3) o bois "moyens" (de 750 et 850 kg/m^3) o bois légers (-de 750 kg/m^3)

Effectifs	bois lourds (+ de 850 kg/m3)	bois moyen (de 750 à 850 kg/m3)	bois léger (- de 750 kg /m3)	Total
contreplaqué	0	0	1	1
emballage léger	5	5	1	11
sciage	2	8	1	11

Total	7	13	3	23
%	30,4%	56,5%	13,0%	100

☞ Les industriels, pour lesquels la masse volumique est importante, souhaitent plutôt à 56 % des grumes de densité moyenne (entre 750 et 850 kg). Les grumes de faible densité ne sont pas particulièrement recherchées.

1.4. Couleur du bois

Question 9 - La couleur de l'aubier est-elle importante pour votre production ?

o Oui o Non o Sans réponse

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total
contreplaqué	1	3	0	4
emballage léger	13	8	0	21
sciage	3	15	0	18
Total	17	26	0	43
%	39,5%	60,5%	0,0%	100

☞ La couleur de l'aubier n'est pas importante pour 60 % des industriels, toutes productions confondues. L'industrie de l'emballage léger apparaît comme la plus exigeante sur la couleur de l'aubier.

Question 10 - Le faux cœur (cœur coloré) est-il un problème pour votre production ?

o Oui o Non o Sans réponse

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total
contreplaqué	0	4	0	4
emballage léger	11	8	3	22
sciage	1	16	0	17
Total	12	28	3	43
%	27,9%	65,1%	7,0%	100

☞ Le faux coeur n'est pas un problème pour 65% des industriels, toutes productions confondues. L'industrie de l'emballage léger apparaît comme la plus gênée par la présence de faux cœur.

Question 11 - Si oui, quel est le pourcentage que vous pouvez accepter à la réception des grumes?

- ..... %

Répondants	Moyenne	Ecart-Types	Minimum	Maximum	Intervalle de Confiance
11	28,4	24,6	5 ,0	70,0	13,8 à 42,9

☞ Le taux de faux coeur acceptable serait en moyenne de 28 % soit 1/3 de la grume, avec cependant un minimum très faible à 5 % et un maximum important à 70 %.

Question 12 – Quelles sont les teintes que vous recherchez pour l'aubier ?

o Assez claire o Très claire o Sans importance o Sans réponse

Effectifs	assez claire	très claire	sans importance	sans réponse	Total
contreplaqué	0	1	3	0	4
emballage léger	12	6	3	1	22
sciage	4	2	11	0	17
Total	16	9	17	1	43
%	37,2%	20,9%	39,5%	2,3%	100

☞ Les industries de l'emballage léger et du sciage souhaitent une teinte assez claire. Cependant, la majorité de l'industrie du sciage considère la teinte comme sans importance.

Question 13 – Avez-vous des marquages ou impressions à faire sur vos produits ? (hors marquage règlementaire et logo)

o Oui o Non o Sans réponse

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total

contreplaqué	1	3	0	4
emballage léger	20	1	1	22
sciage	6	12	0	18
Total	27	16	1	44
%	61,4%	36,4%	2,3%	100

☞ Le marquage est nécessaire dans 61% des cas. Pour l'industrie de l'emballage léger, le marquage est quasi permanent.

2. Les sciages

2.1. Caractéristiques des sciages

Question 14 - Pour quelles applications réalisez-vous des sciages ?

Structurelle

- *o Palettes perdues (à usage unique*
- *o Palettes multi rotations*
- *o Autres palettes (préciser) : ……*
- *o Charpentes traditionnelles*
- *o Charpentes lamellées collées*
- *o Autres (préciser) :*

Non structurelle

- *o Menuiserie*
- *o Bardage*
- *o Platelage*
- *o Destiné à l'ameublement*
- *o Autres (préciser) : ……..*

Non-Répondants	19	.
palettes perdues	17	28,8%
palettes multirotations	7	11,9%
charpentes traditionnelles	4	6,8%
charpentes lamellé collé	0	0,0%
menuiserie	6	10,2%
bardage	6	10,2%
platelage	1	1,7%
destiné ameublement	5	8,5%
Autre (emballage)	13	22,0%
Total répondants	59	100,0%

☞ Les sciages peupliers sont destinés surtout à la fabrication de palettes (40 % des réponses) et d'emballages (20 % des réponses). La menuiserie et le bardage correspondent à 20 % des réponses.

Note : Par la suite, seuls 2 types d'utilisation sont retenus : palettes/charpente et menuiserie/ bardage/emballages.

Question 15 – Effectuez-vous un classement qualitatif de vos sciages ?

o Oui *o Non* *o Sans réponse*

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total
palette - charpente	6	12	0	18
menuiserie - bardage - emballage	5	11	0	16
Total	11	23	0	34
%	32,4%	67,6%	0,0%	100

☞ Un classement des sciages est réalisé dans 32 % des cas, quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

Question 16 - Si oui, suivant quelles normes ?

o NF B 52 001 *o P 12246* *o Autre(s) norme(s) (préciser) : ……..*

Effectifs	NF B 52 001	P 12246	autres	Total
palette - charpente	0	0	4	4
menuiserie - bardage - emballage	0	0	4	4
Total	0	0	8	8
%	0,0%	0,0%	100,0%	100

☞ Chez 100 % des répondants, le classement ne suit pas une norme, mais correspond à un classement interne à l'entreprise.

Question 17 – Effectuez-vous le classement des sciages avant ou après séchage ?

o Avant *o Après* *o Sans réponse*

Effectifs	avant	après	sans réponse	Total
palette - charpente	6	0	9	15
menuiserie - bardage - emballage	5	1	8	14
Total	11	1	17	29
%	37,9%	3,4%	58,6%	100

☞ Le classement des sciages se ferait généralement avant séchage, et cela quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

Question 18 – Avez-vous un cahier des charges spécifique pour classer vos sciages ?

o Oui *o Non* *o Sans réponse*

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total
palette - charpente	7	6	5	18
menuiserie - bardage - emballage	6	8	3	17
Total	13	14	8	35
%	37,1%	40,0%	22,9%	100

☞ Chez un répondant sur deux, il existe un cahier des charges spécifique, et cela quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

Question 19 - Si oui, suivant quels critères classez-vous vos sciages ? (plusieurs réponses possibles)

- *o Taille des nœuds*
- *o Discoloration*
- *o Dégâts champignons et/ ou insectes*
- *o Largeur de cernes*
- *o Bois de tension*
- *o Peluche*
- *o Déformations liés au séchage*
- *o Autres (préciser) : ……..*

Effectifs	taille des noeuds	discoloration	dégâts champignons ou insectes	largeur de cernes	bois de tension	peluche	déformations au séchage	autres	Total
palette - charpente	7	0	2	0	2	4	1	0	16
menuiserie - bardage - emballage	6	0	4	1	4	4	2	0	21
Total	13	0	6	1	6	8	3	0	37
%	35,1%	0,0%	16,2%	2,7%	16,2%	21,6%	8,1%	0,0%	100

☞ Pour la qualité des sciages, la taille des nœuds, la peluche, le bois de tension et les dégâts de champignons ou insectes sont les préoccupations majeures, et cela quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

Question 20 – Accordez-vous une importance au choix des cultivars sciés ?

o Oui *o Non* *o Sans réponse*

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total
palette - charpente	7	7	2	16
menuiserie - bardage - emballage	7	6	2	15
Total	14	13	4	31
%	45,2%	41,9%	12,9%	100

☞ Chez un répondant sur deux, le choix du cultivar scié est sans importance, et cela quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

Question 21 - Si oui, pouvez-vous classer par ordre de qualité décroissante les cultivars que vous sciez ?

…… > …… > ……>……> …… > ……>……

☞ Sept classements ont été obtenus. Le I 214, le Robusta et le Beaupré (Unal) seraient plutôt appréciés tandis que le Fritzi Pauley le serait moins. Pour Blanc du Poitou et I 45/51, les avis divergent.

1er	2ème	3ème	4ème	5ème	6ème
Beaupré	Unal	Blanc du Poitou	I 214	Dorskamp	I 45/51
I 214	Beaupré				
I 45/51	Robusta	Blanc du Poitou			
I 214	Robusta	Fritzi Pauley			
I 214	Robusta	Fritzi Pauley			
Blanc du Poitou	I 214	I 45/51			
I 214	Robusta	Fritzi Pauley			

Question 22 – Adaptez-vous vos paramètres machines suivant les saisons ?

o Oui *o Non* *o Sans réponse*

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total
palette - charpente	1	14	0	15
menuiserie - bardage - emballage	2	14	0	16
Total	3	28	0	31
%	9,7%	90,3%	0,0%	100

☞ Chez 90 % des répondants, aucune adaptation des machines ne se fait en fonction des saisons, et cela quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

Question 23 – Appliquez-vous les mêmes réglages pour les différents cultivars ?

o Oui *o Non* *o Sans réponse*

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total
palette - charpente	10	3	1	14
menuiserie - bardage - emballage	12	2	0	14
Total	22	5	1	28
%	78,6%	17,9%	3,6%	100

☞ Chez 78 % des répondants, les mêmes réglages sont appliqués aux différents cultivars, et cela quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

2.2. Caractéristiques des palettes

Question 24 – Faites-vous des contrôles de vos assemblages par des essais mécaniques ?

o Oui *o Non* *o Sans réponse*

oui	1	4,0%
non	22	88,0%
sans réponse	2	8,0%
Total répondants	25	100,0%

☞ Chez 88 % des répondants, aucun contrôle des assemblages n'est réalisé.

Question 25 - Si oui, lesquels ? *……Suivant quel référentiel : ……..*

☞ Pour la réponse "oui", les contrôles sont des tests de flexion, de compression et de solidité.

2.3. Caractéristiques des cagettes

Question 26 – Faites-vous des contrôles de vos assemblages par des essais mécaniques ?

o Oui *o Non* *o Sans réponse*

oui	4	19,0%
non	13	61,9%
sans réponse	4	19,0%
Total répondants	21	100,0%

☞ Seul 19 % des répondants font un contrôle de leurs cagettes.

Question 27 - Si oui, lesquels ? ……

☞ Pour les réponses "oui", les contrôles sont des contrôles visuels des emballages tout au long de la production ou des tests de tenue du collage à la température.

Question 28 – Par rapport au clouage / agrafage de vos assemblages, vos exigences à la traction sont :

o Faible o Moyenne o Forte o Sans réponse

Effectifs	faible	moyenne	forte	sans réponse	Total
palette - charpente	0	3	5	2	10
menuiserie - bardage - emballage	0	3	4	2	9
Total	0	6	9	4	19
%	0,0%	31,6%	47,4%	21,1%	100

☞ Les exigences au clouage / agrafage sont fortes à moyennes dans 79 % des cas, et cela quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

Question 29 –Vos exigences sur la fente au clouage / agrafage sont :

o Faible o Moyenne o Forte o Sans réponse

Effectifs	faible	moyenne	forte	sans réponse	Total
palette - charpente	0	2	6	2	10
menuiserie - bardage - emballage	0	3	4	2	9
Total	0	5	10	4	19
%	0,0%	26,3%	52,6%	21,1%	100

☞ Les exigences à la fente au clouage / agrafage sont fortes à moyennes dans 78 % des cas, et cela quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

2.4. Caractéristiques de séchage des sciages

Question 30 – Quelle technique de séchage de vos sciages utilisez-vous ?

o A l'air o Artificiel o Pas de séchage o Sans réponse

Effectifs	à l'air	artificiel	pas de séchage	sans réponse	Total
palette - charpente	6	7	3	1	17
menuiserie - bardage - emballage	6	8	3	0	17
Total	12	15	6	1	34
%	35,3%	44,1%	17,6%	2,9%	100

☞ La pratique du séchage artificiel (44% des réponses) est moins utilisée que le séchage à l'air ou pas de séchage (53 %), sans différence suivant les utilisations (structurelle ou non structurelle).

Question 31 – Notez de 1 à 5 (1 = pas important ; 5 = très important) les critères suivants liés au séchage :

Durée du séchage	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
Homogénéité de l'humidité finale, d'un sciage à l'autre	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
Gradient de l'humidité finale dans l'épaisseur	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
Déformations	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
Fentes internes	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
Collapse	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
Poches d'eau	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
Rétractibilité	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*

NB : Le collapse est caractérisé par une ondulation des faces du sciage qui entraîne une réduction de l'épaisseur lors du rabotage jusqu'à disparition complète de bois brut. S'il est très intense, le collapse peut entraîner des fentes dans la masse du sciage

Note : Pour simplifier, les notes 1 et 2 sont regroupées sous le terme pas important, et les notes 4 et 5 sous le terme important

Effectifs: **durée du séchage**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
palette - charpente	2	1	5	2	10
menuiserie - bardage - emballage	4	2	6	0	12
Total	6	3	11	2	22
%	27,3%	13,6%	50,0%	9,1%	100

☞ La durée du séchage est importante à moyennement importante pour 63 % des répondants, et cela quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

Effectifs **homogénéité de l'humidité finale**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
palette - charpente	1	1	7	2	11
menuiserie - bardage - emballage	1	1	10	0	12
Total	2	2	17	2	23
%	8,7%	8,7%	73,9%	8,7%	100

☞ L'homogénéité de l'humidité finale est importante pour 74 % des répondants, et cela quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

Effectifs **gradient de l'humidité finale**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
palette - charpente	2	2	3	3	10
menuiserie - bardage - emballage	2	5	3	1	11
Total	4	7	6	4	21
%	19,0%	33,3%	28,6%	19,0%	100

☞ Le gradient d'humidité finale dans l'épaisseur est moyennement important à important pour 61 % des répondants, et cela quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

Effectifs **déformations**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
palette - charpente	0	1	8	1	10
menuiserie - bardage - emballage	0	0	12	0	12
Total	0	1	20	1	22
%	0,0%	4,5%	90,9%	4,5%	100

☞ Les déformations sont importantes pour 91 % des répondants, et cela quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

Effectifs **fentes internes**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
palette - charpente	1	2	5	2	10
menuiserie - bardage - emballage	1	4	6	1	12
Total	2	6	11	3	22
%	9,1%	27,3%	50,0%	13,6%	100

☞ Les fentes internes sont importantes à moyennement importantes pour 77 % des répondants, et cela quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

Effectifs **collapse**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
palette - charpente	4	2	2	2	10
menuiserie - bardage - emballage	6	2	4	1	13
Total	10	4	6	3	23
%	43,5%	17,4%	26,1%	13,0%	100

☞ Le collapse n'est pas important pour 43 % des répondants, et cela quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

Effectifs **poches d'eau**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
palette - charpente	4	1	4	1	10
menuiserie - bardage - emballage	4	1	6	1	12
Total	8	2	10	2	22
%	36,4%	9,1%	45,5%	9,1%	100

☞ Les poches d'eau sont importantes pour 45 % des répondants ou pas importantes pour 36 % des répondants, et cela quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

Effectifs **rétractabilité**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
palette - charpente	3	2	3	2	10
menuiserie - bardage - emballage	3	1	7	1	12
Total	6	3	10	3	22

%	27,3%	13,6%	45,5%	13,6%	100

☞ La rétractabilité est importante à moyennement importante pour 58 % des répondants, et cela quel que soit le du type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

Question 32 – Pratiquez-vous le séchage de vos produits après assemblage ?

o Oui, pour la totalité *o Oui, partiellement* *o Jamais* *o Sans réponse*

Effectifs	oui, pour la totalité	oui, partiellement	jamais	sans réponse	Total
palette - charpente	2	6	5	2	15
menuiserie - bardage - emballage	2	7	4	1	14
Total	4	13	9	3	29
%	13,8%	44,8%	31,0%	10,3%	100

☞ Un séchage des assemblages est généralement prévu, au moins en parti, chez plus de 57 % des répondants, et cela quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

Question 33 – Quelle technique de séchage des assemblages utilisez-vous alors ?

o A l'air *o Artificiel* *o Pas de séchage* *o Sans réponse*

Effectifs	à l'air	artificiel	pas de séchage	sans réponse	Total
palette - charpente	3	5	0	1	9
menuiserie - bardage - emballage	2	7	0	3	12
Total	5	12	0	4	21
%	23,8%	57,1%	0,0%	19,0%	100

☞ Le séchage des assemblages est généralement artificiel pour 57 % des répondants, et cela quel que soit le type d'utilisation (structurelle ou non structurelle).

3. Le déroulage, les placages, les panneaux

3.1. Caractéristiques du déroulage

Question 34 – Pour quelle(s) application(s) déroulez-vous du peuplier ? (plusieures réponses possibles)

Contreplaqué

o Construction *o Usinage panneau* *o Industrie*

o Ameublement *o Emballage* *o Autre (préciser) :…….*

Emballage léger

o Fruits et légumes & produits de la mer *o Autre emballage (préciser) : ……..*

o Fromage

CP construction	2	4,9%
CP ameublement	3	7,3%
CP emballage	10	24,4%
CP industrie	2	4,9%
CP usinage panneau	2	4,9%
autre	2	4,9%
EMB fruits et légumes & produits de la mer	16	39,0%
EMB fromage	4	9,8%
		100,0%

☞ L'emballage avec 73 % des réponses correspond à l'application la plus importante du déroulage.

Question 35 – Accordez-vous une importance au choix des cultivars à dérouler ?

o Oui *o Non* *o Sans réponse*

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total
contreplaqué	4	0	1	5
emballage	18	4	1	23
Total	22	4	2	28
%	78,6%	14,3%	7,1%	100

☞ Chez 78 % des répondants, le choix du cultivar à dérouler est important, et cela quel que soit le type d'utilisation (contreplaqué ou emballage).

Question 36 - Si oui, pouvez-vous classer par ordre de qualité décroissante les cultivars que vous déroulez ?

…… > …… > ……>…… > …… > ……>……

☞ 16 classements ont été obtenus. Le I 214, le Robusta, le Blanc du Poitou et le Beaupré seraient plutôt appréciés tandis que le Fritzi Pauley, le I 45/51 et le Dorskamp le serait moins. Il existe cependant des avis divergents.

1er	2ème	3ème	4ème	5ème	6ème	7ème	8ème
Robusta	Serotina	I214					
Blanc du Poitou	I 214	Robusta	I 45/51	Dorskamp	Beaupré	Unal	Fritzi Pauley
Beaupré	Unal	Blanc du Poitou	Dorskamp	I 45/51	I 214	Robusta	
Beaupré	Fritzi Pauley	Robusta					
I 214	Beaupré						
I 214	Beaupré	I 45/51					
Robusta	I 214	Beaupré	Fritzi Pauley				
I 45/51	Blanc du Poitou	I 214	Dorskamp				
Robusta	I 45/51	I 214	Beaupré				
Robusta	Blanc du Poitou	I 214	Beaupré				
Robusta	Blanc du Poitou	Dorskamp	Beaupré	I 214	I 45/51		
Robusta	Serotina	Beaupré	Ghoy				
Beaupré	Unal	I 214	I 45/51	Dorskamp			
Beaupré	I 214	I 45/51	Luisa Avanzo	Robusta			
I 214	I 45/51						
Robusta	I 214	Beaupré	Fritzi Pauley				

Question 37 – Est-ce que la température des billons a une influence sur la qualité de vos placages ?

o Oui *o Non* *o Sans réponse*

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total
contreplaqué	2	1	2	5
emballage	8	9	5	22
Total	10	10	7	27
%	37,0%	37,0%	25,9%	100

☞ Les avis sont partagés sur l'influence de la température sur la qualité des placages, et cela quel que soit le type d'utilisation (contreplaqué ou emballage).

Question 38 - Adaptez-vous vos paramètres machine suivant les saisons ?

o Oui *o Non* *o Sans réponse*

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total
contreplaqué	1	3	1	5
emballage	6	15	1	22
Total	7	18	2	27
%	25,9%	66,7%	7,4%	100

☞ Chez 66 % des répondants, aucune adaptation des machines ne se fait en fonction des saisons, et cela quel que soit le type d'utilisation (contreplaqué ou emballage).

Question 39- Appliquez-vous les mêmes réglages pour les différents cultivars ?

o Oui *o Non* *o Sans réponse*

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total
contreplaqué	3	1	1	5
emballage	13	9	0	22
Total	16	10	1	27
%	59,3%	37,0%	3,7%	100

☞ Chez 59 % des répondants, aucune adaptation des machines ne se fait en fonction des cultivars, et cela quel que soit le type d'utilisation (contreplaqué ou emballage).

Question 40 - A quelles épaisseurs déroulez-vous ?

La plus courante : …… Mini : …… Maxi : ……

Epaisseur courante en mm	Effectif
0,8	1
1,2	1
1,8	1
2	1
2,5	1
2,6	1
3	7
3,1	1
3,5	4
3,7	1
3,8	1
4	3
Total répondants	23

Epaisseur minimum en mm	Effectif
0,7 mm	1
0,8	2
1	1
1,2	3
1,3	1
1,5	7
1,6	1
1,8	1
2	5
2,1	1
3	2
Total répondants	25

Epaisseur maximum en mm	Effectif
1,4 mm	1
3,1	1
3,2	1
4	5
4,2	1
4,5	5
4,8	1
5	4
5,5	3
6	1
7	1
9	1
Total répondants	25

☞ L'épaisseur la plus courante serait le 3 mm, la minimum 1,5 mm et la maximum entre 4 et 5 mm.

Question 41 – A quelle fréquence (en heures) changez-vous la lame ? *Toutes les ..... heures*

Durée en Heures	2	2,5	4	7	8	9	10	16	24	40	50	170	Total
Effectif	1	1	6	2	4	1	1	1	3	1	1	1	23

☞ La fréquence de changement de lame est très variable, mais se situe en majorité entre 4 et 8 heures.

Question 42 - A quelle fréquence (en heures) changez-vous la barre de pression ? *Toutes les ..... heures*

Durée en Heures	8	16	35	40	70	150	180	200	350	500	1000	Total
Effectif	1	1	4	2	1	4	1	3	1	2	2	22

☞ La fréquence de changement de la barre de pression est très variable : entre 35 et 150 heures.

Question 43 – Quel type de barre de pression utilisez-vous ?

o Angulaire *o Ronde* *o Sans réponse*

Effectifs	angulaire	ronde	sans réponse	Total
contreplaqué	4	0	1	5
emballage	18	1	1	20
Total	22	1	2	25
%	88,0%	4,0%	8,0%	100

☞ 88 % des répondants utilisent une barre de pression angulaire, et cela quel que soit le type d'utilisation (contreplaqué ou emballage).

Question 44 – Quel type de massicot utilisez-vous ?

o Backroll *o Rotatif* *o Autre (préciser) :* *……..*

Effectifs	backroll	rotatif	autre	Total
contreplaqué	0	4	2	6
emballage	16	6	0	22
Total	16	10	2	28
%	57,1%	35,7%	7,1%	100

☞ Le massicot Backroll est plutôt utilisé par l'industrie de l'emballage et le massicot rotatif est utilisé par les fabricants de contreplaqué.

3.2. Qualité des placages

Question 45 – Notez de 1 à 5 (1 = pas important ; 5 = très important) les défauts de placages suivants :

- présence de noeuds	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
- tuilage	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
- aspect pelucheux	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
- irrégularité d'épaisseur	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*

- rugosité	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
- fissuration	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*
- déformation après séchage	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*Sans avis*

Note : Pour simplifier, les notes 1 et 2 sont regroupées sous le terme pas important, et les notes 4 et 5 sous le terme important

Effectifs **présence de noeuds**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
contreplaqué	0	2	4	0	6
emballage	0	3	12	1	16
Total	0	5	16	1	22
%	0,0%	22,7%	72,7%	4,5%	100

☞ La présence de nœuds est importante pour 72 % des industriels de l'emballage et du contreplaqué. Cela justifie donc la nécessité de réaliser des élagages soignés.

Effectifs **tuilage**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
contreplaqué	1	1	4	0	6
emballage	2	4	9	1	16
Total	3	5	13	1	22
%	13,6%	22,7%	59,1%	4,5%	100

☞ Le tuilage est important à moyennement important pour 81 % des répondants, et cela quel que soit le type d'utilisation (contreplaqué ou emballage).

Effectifs **aspect pelucheux**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
contreplaqué	1	1	4	0	6
emballage	5	1	9	1	16
Total	6	2	13	1	22
%	27,3%	9,1%	59,1%	4,5%	100

☞ L'aspect pelucheux, défaut important pour les industriels du contreplaqué, n'est pas toujours gênant pour les industriels de l'emballage.

Effectifs **irrégularité d'épaisseur**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
contreplaqué	0	2	4	0	6
emballage	4	3	7	1	15
Total	4	5	11	1	21
%	19,0%	23,8%	52,4%	4,8%	100

☞ L'irrégularité d'épaisseur est un défaut important pour les industriels du contreplaqué, mais n'est pas toujours gênant pour les industriels de l'emballage.

Effectifs **rugosité**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
contreplaqué	0	4	2	0	6
emballage	5	6	3	1	15
Total	5	10	5	1	21
%	23,8%	47,6%	23,8%	4,8%	100

☞ La rugosité est un défaut moyennement important pour les industriels du contreplaqué, mais peu gênant pour les industriels de l'emballage.

Effectifs **fissuration**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
contreplaqué	0	1	5	0	6
emballage	0	3	11	1	15
Total	0	4	16	1	21
%	0,0%	19,0%	76,2%	4,8%	100

☞ La fissuration est un défaut important pour 76 % des répondants, et cela quel que soit le type d'utilisation (contreplaqué ou emballage).

Effectifs	**déformation après séchage**	pas important	moyennement important	important	sans avis	Total
contreplaqué		1	0	5	0	6
emballage		0	0	14	1	15
Total		1	0	19	1	21
%		4,8%	0,0%	90,5%	4,8%	100

☞ La déformation au séchage est important pour 90 % des répondants, et cela quel que soit le type d'utilisation (contreplaqué ou emballage).

Question 46- Observez-vous d'autres défauts sur les placages ?

o Oui *o Non* *o Sans réponse*

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total
contreplaqué	2	3	1	6
emballage	2	11	4	17
Total	4	14	5	23
%	17,4%	60,9%	21,7%	100

☞ La majorité des répondants (61 %) n'observe pas d'autres défauts sur les placages.

Question 47 - Si oui, lesquels ? ……

☞ Les autres défauts signalés sont : le retrait au séchage (variable selon les cultivars), la couleur, et l'odeur

Question 48 – La peluche génère-t-elle d'autres nuisances qu'une détérioration de l'aspect ?

o Oui *o Non* *o Sans réponse*

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total
contreplaqué	3	2	1	6
emballage	6	10	2	18
Total	9	12	3	24
%	37,5%	50,0%	12,5%	100

☞ La majorité des répondants (50 %) ne pense pas que la peluche apporte d'autres nuisances qu'une détérioration de l'aspect.

Question 49 – Si oui, lesquelles ? ……

☞ Les autres nuisances de la peluche signalées sont : des problèmes de distribution des éléments sur les machines de production (bourrage) et une mauvaise qualité d'impression ou de marquage.

Question 50 - Quelles variations maximales d'épaisseur des placages tolérez-vous ?

o +/- 2 % *o +/- 5 %* *o +/- 8 %* *o Sans réponse*

Effectifs	+/- 2 %	+/- 5 %	+/- 8 %	sans réponse	Total
contreplaqué	1	4	0	1	6
emballage	6	8	2	2	18
Total	7	12	2	3	24
%	29,2%	50,0%	8,3%	12,5%	100

☞ Pour la majorité des répondants (50 %) la variation maximale d'épaisseur tolérée est +/- 5%, et cela quel que soit le type d'utilisation (contreplaqué ou emballage).

Question 51 - Sur quelle épaisseur de placage observez-vous le plus d'irrégularité d'épaisseur ?

o Moins de 10/10ème *o Entre 10/10ème et 20/10ème* *o Plus de 20/10ème* *o Sans réponse*

Effectifs	moins de 10/10ème	entre 10/10ème et 20/10ème	plus de 20/10ème	sans réponse	Total
contreplaqué	0	1	2	2	5
emballage	2	3	5	4	14
Total	2	4	7	6	19
%	10,5%	21,1%	36,8%	31,6%	100

☞ Les avis sont partagés, mais les épaisseurs supérieures à 20/10ème seraient les plus soumises à des irrégularités d'épaisseur.

3.3. Réalisation des panneaux

Question 52 - Quelles épaisseurs de panneaux contreplaqué réalisez vous?

La plus fréquente : …….. *Mini : ……..* *Maxi : ……..*

Epaisseur la plus fréquente en mm	Effectif
2,4	1
8	1
10	2
Total répondants	4

Epaisseur Mini en mm	Effectif
1,4	1
3	1
6	1
8	1
Total répondants	4

Epaisseurs Maxi en mm	Effectif
9	1
30	2
50	1
Total répondants	4

☞ L'épaisseur de panneau la plus courante serait 10 mm, la minimum 1,4 mm et la maximum 50 mm.

Question 53 – Quels types de colle utilisez-vous ?

o UF (Urée Formol)
o MUF (Mélamine Urée Formol)
o PR (Résorcine)
o PU (Polyuréthane)
o PVA (vinylique)
o Autre (préciser) : ……..

Effectifs	UF (urée formol)	MUF (mélamine urée formol)	PR (résorcine)	PU (polyuréthane)	PVA (vinylique)	autre	Total
contreplaqué	2	0	0	0	0	0	2
emballage	2	0	0	0	1	0	3
Total	4	0	0	0	1	0	5
%	80,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%	100

☞ La colle UF est la plus utilisée chez les répondants.

Question 54 – Triez-vous vos cultivars pour des applications spécifiques ?

o Oui *o Non* *o Sans réponse*

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total
contreplaqué	1	1	0	2
emballage	2	1	1	4
Total	3	2	1	6
%	50,0%	33,3%	16,7%	100

☞ La majorité des répondants (50 %) trient leurs cultivars pour des applications spécifiques.

Question 55 - Si oui, lesquelles ? ……

☞ Les applications spécifiques sont principalement la réalisation de faces pour le contreplaqué ou pour des contraintes mécaniques particulières pour les emballages.

Question 56 - Observez-vous sur les panneaux, des défauts autres que ceux observés sur les placages (question 47) ?

o Oui *o Non* *o Sans réponse*

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total
Total	2	2	1	5
%	40,0%	40,0%	20,0%	100

☞ Pour 2 répondants sur 5, il y aurait d'autres défauts que ceux observés sur les placages.

Question 57 - Si oui, lesquels ? ……

☞ Ces défauts sont les gerces et les joints montés.

3.4. Qualité des panneaux

Question 58 –A quelle fréquence réalisez-vous un contrôle de qualité sur vos panneaux finis ?

Tous les …… *o Sans réponse*

Durée en jours	Effectif
en permanence	1
toutes les 15 minutes	1
tous les jours	2
Total répondants	4

☞ Le contrôle qualité sur les panneaux est quasi permanent.

Question 59 – Réalisez-vous ce contrôle suivant un référentiel qualité ?

o Oui *o Non* *o Sans réponse*

Effectifs	oui	non	sans réponse	Total
contreplaqué	2	0	0	2
emballage	3	0	1	4
Total	5	0	1	6
%	83,3%	0,0%	16,7%	100

☞ Pour la majorité des répondants (83 %), ils réalisent un contrôle des panneaux.

Question 60 - Si oui, lequel ? ……

☞ Les contrôles sont soit internes, soit selon des normes (EN 13986, ISO 9000)

Question 61 – Si non, précisez les contrôles qualité éventuels que vous réalisez (plusieurs réponses possibles) :

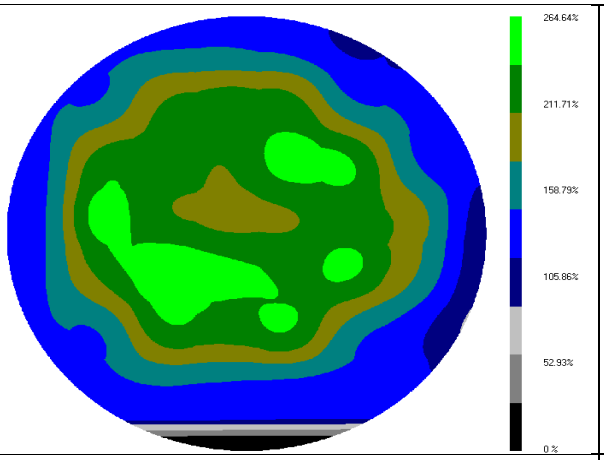
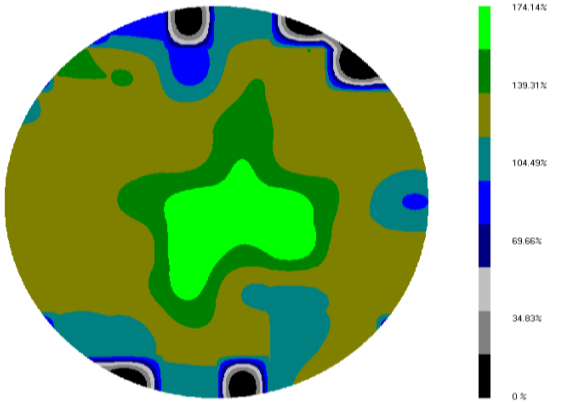
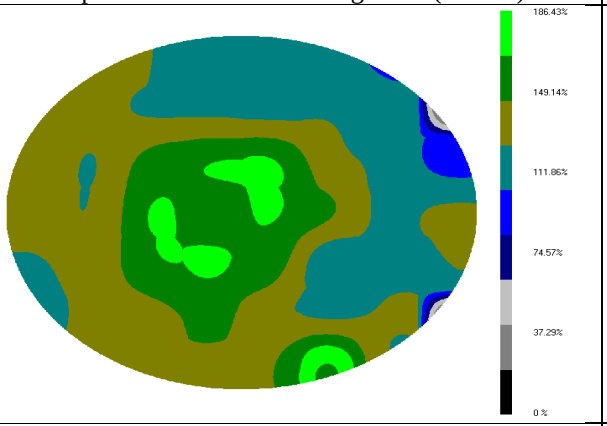
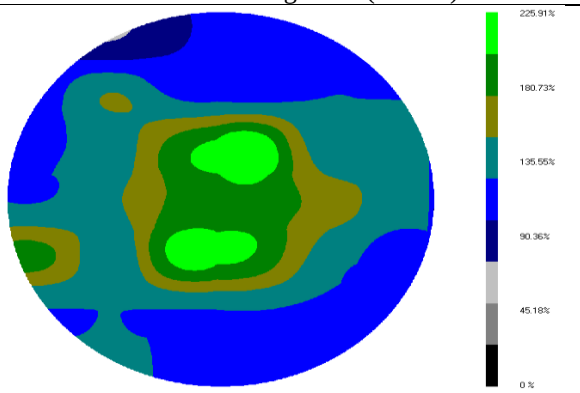
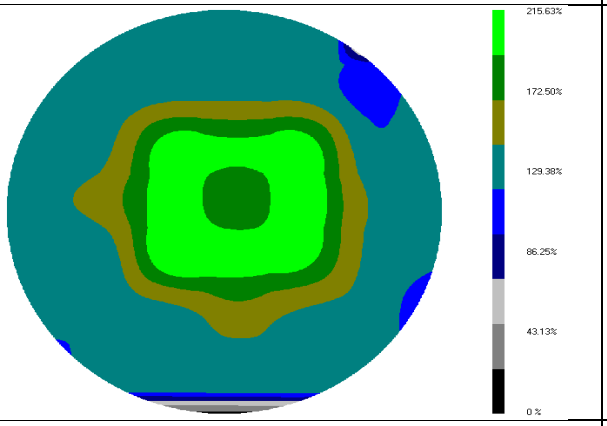
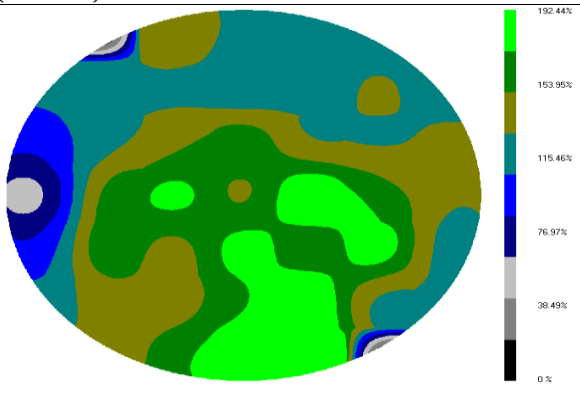
- *o Essais de cisaillement (qualité collage)*
- *o Essais de traction*
- *o Essais de flexion*
- *o Mesure de variations dimensionnelles*
- *o Contrôle non destructif par ultrason*
- *o Contrôle non destructif par résonnance*
- *o Contrôle visuel*
- *o Autre*

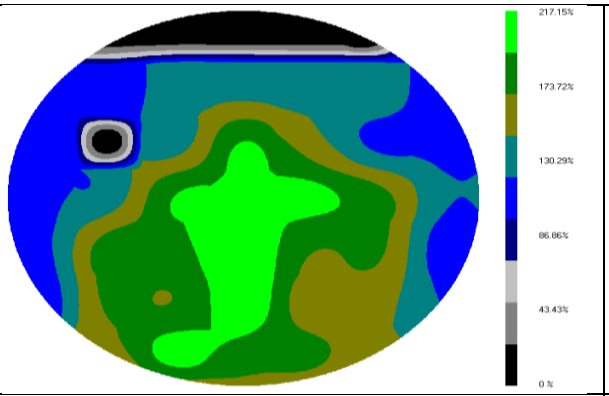
s (préciser) : ……

Effectifs	essais de cisaillement (qualité collage)	essais de traction	essais de flexion	mesure de variations dimensionnelles	contrôle non destructif par ultrason	contrôle non destructif par résonnance	contrôle visuel	autres	Total
contreplaqué	2	2	2	2	0	0	2	0	10
emballage	3	2	3	3	0	0	3	0	14
Total	5	4	5	5	0	0	5	0	24
%	20,8%	16,7%	20,8%	20,8%	0,0%	0,0%	20,8%	0,0%	100

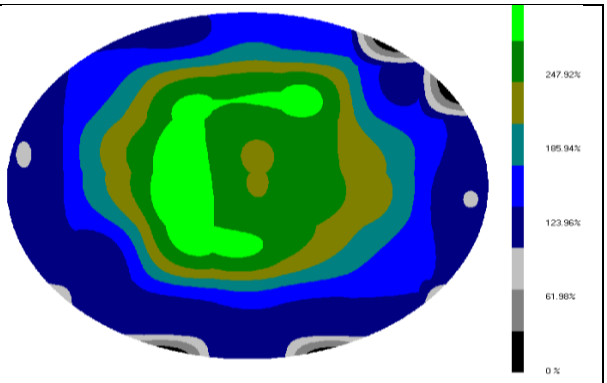
☞ Les essais de cisaillement et de flexion, les mesures de variations dimensionnelles et le contrôle visuel sont les contrôles qualité les plus réalisés par les répondants.

Annexe III - Cartographies d'humidité.

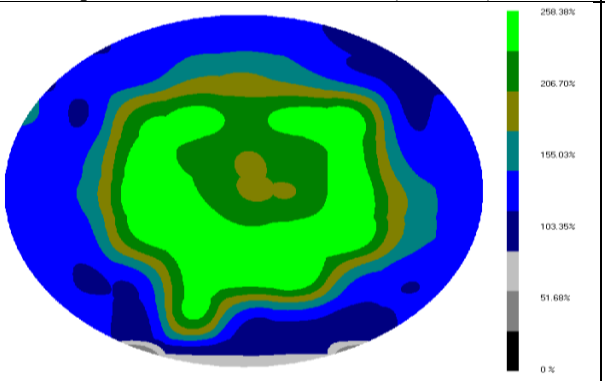
<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>I 45-51 provenant de la station argileuse (arbre 1)</td><td>I 45-51 issu de la station argileuse (arbre 2)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>Raspalje provenant de la station argileuse (arbre 4)</td><td>Blanc du Poitou provenant de la station argileuse (arbre 10)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>Blanc du Poitou provenant de la station argileuse (arbre 11)</td><td>I 45-51 provenant de la station riche (arbre 13)</td></tr>
</table>



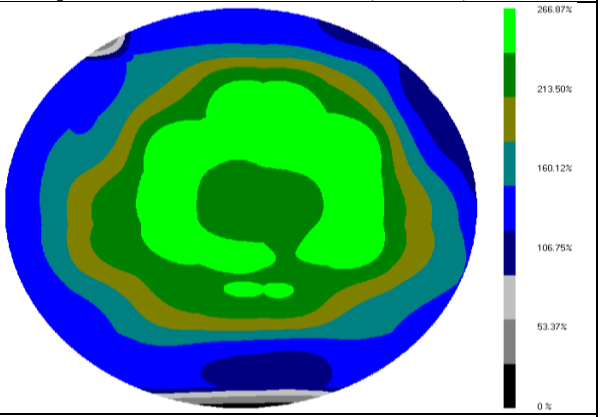
I 45-51 provenant de la station riche (arbre 14)



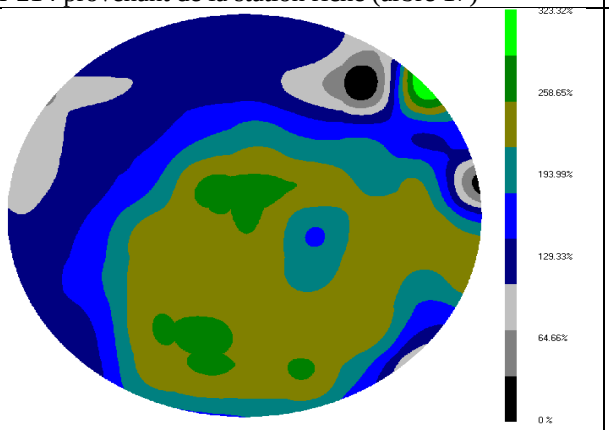
I-214 provenant de la station riche (arbre 16)



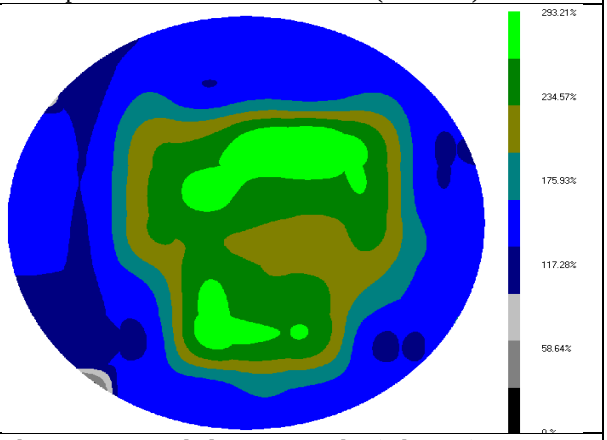
I-214 provenant de la station riche (arbre 17)



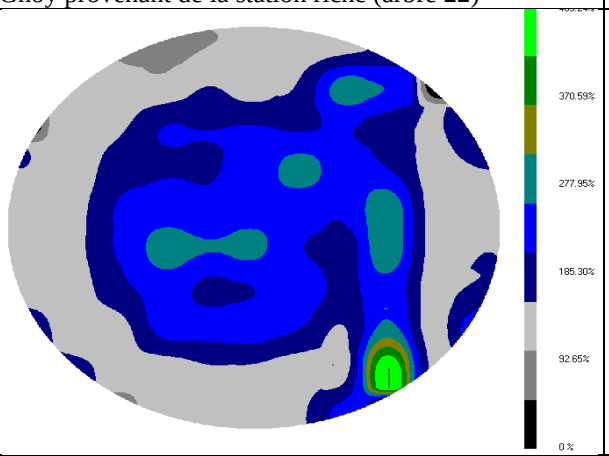
Flevo provenant de la station riche (arbre 19)



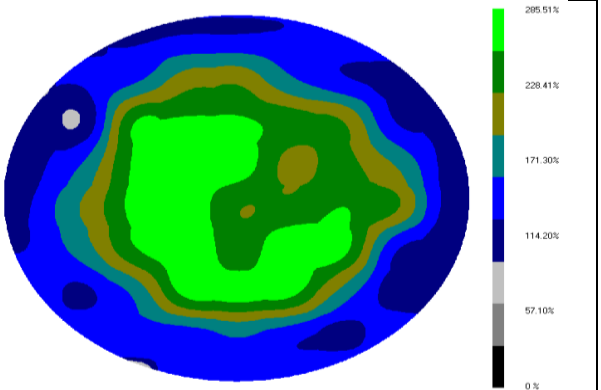
Ghoy provenant de la station riche (arbre 22)



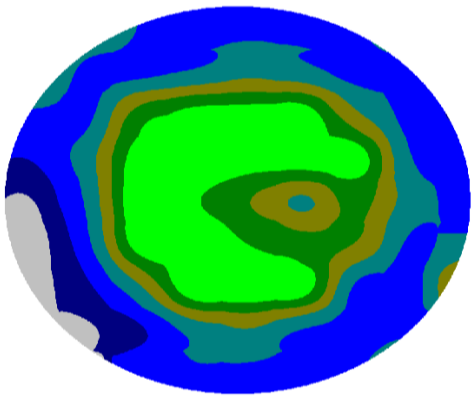
Ghoy provenant de la station riche (arbre 23)



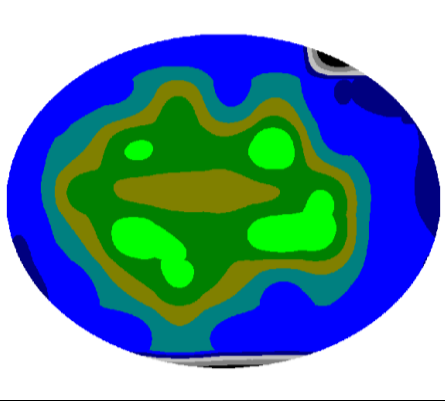
Blanc du Poitou provenant de la station riche (arbre 25)



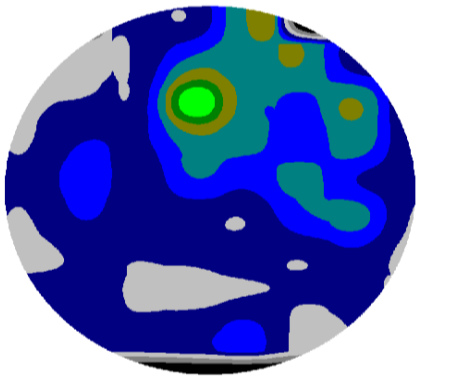
Fritzi Pauley provenant de la station riche (arbre 28)



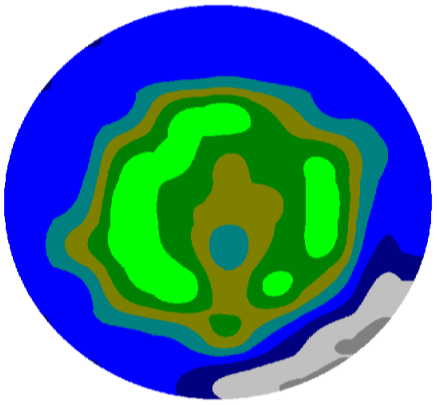
Fritzi Pauley provenant de la station riche (arbre 29)



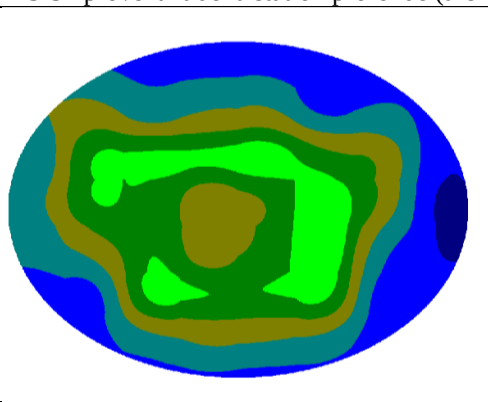
I 45-51 provenant de la station profonde (arbre 31)



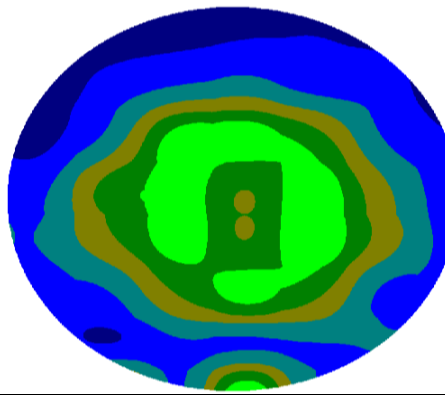
I 45-51 provenant de la station profonde (arbre 32)



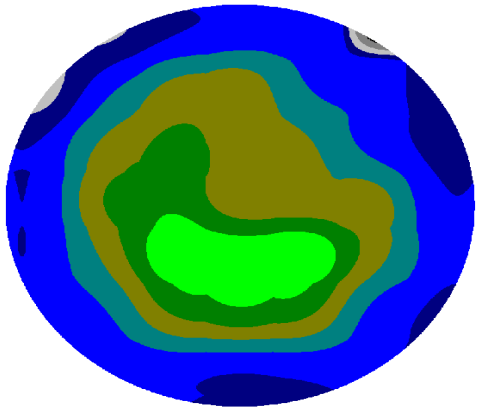
Beaupré provenant de la station profonde (arbre 34)



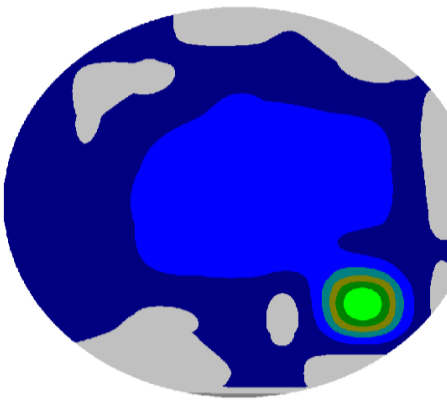
Beaupré provenant de la station profonde (arbre 35)



Dorskamp provenant de la station profonde (arbre 37)

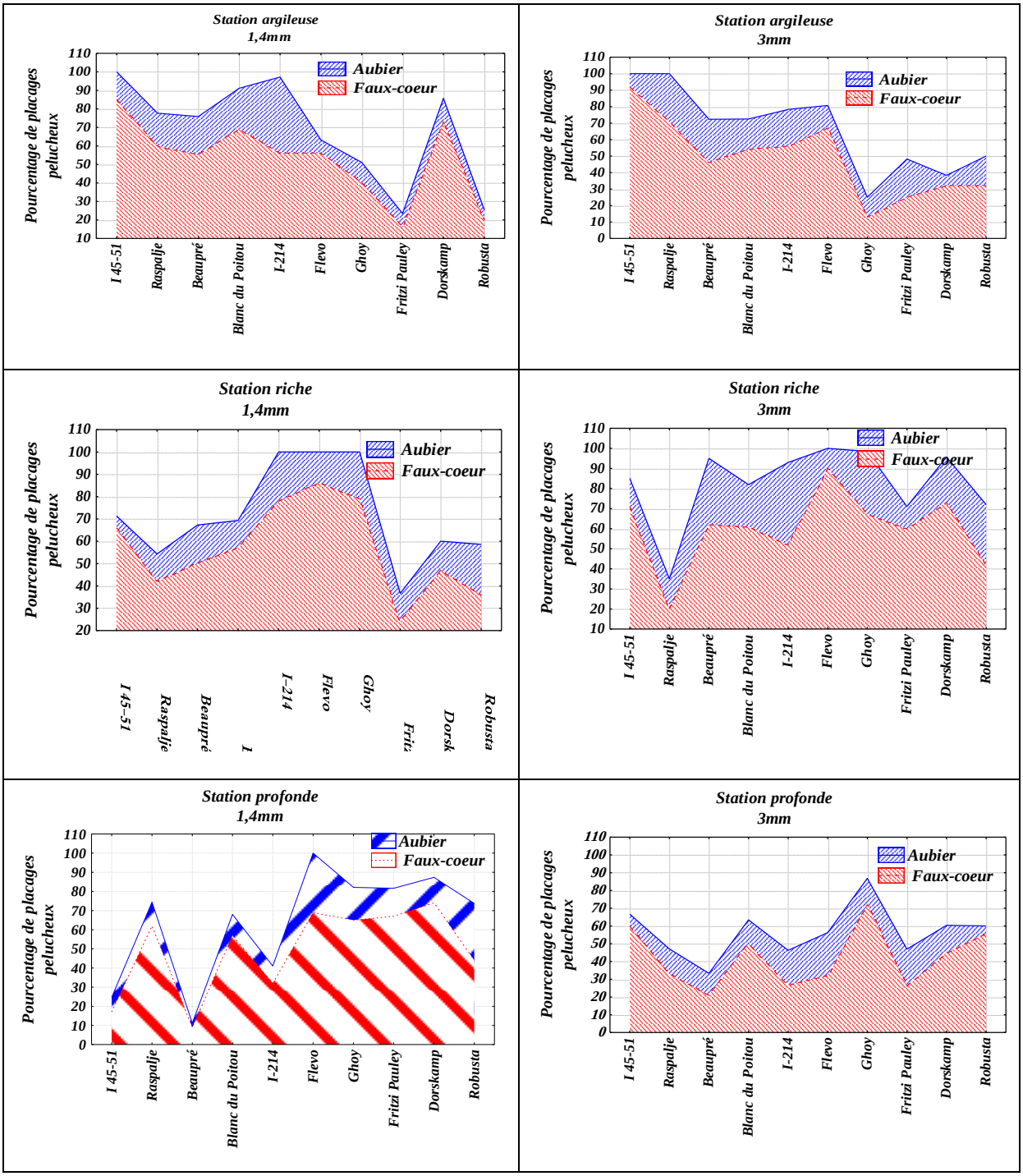


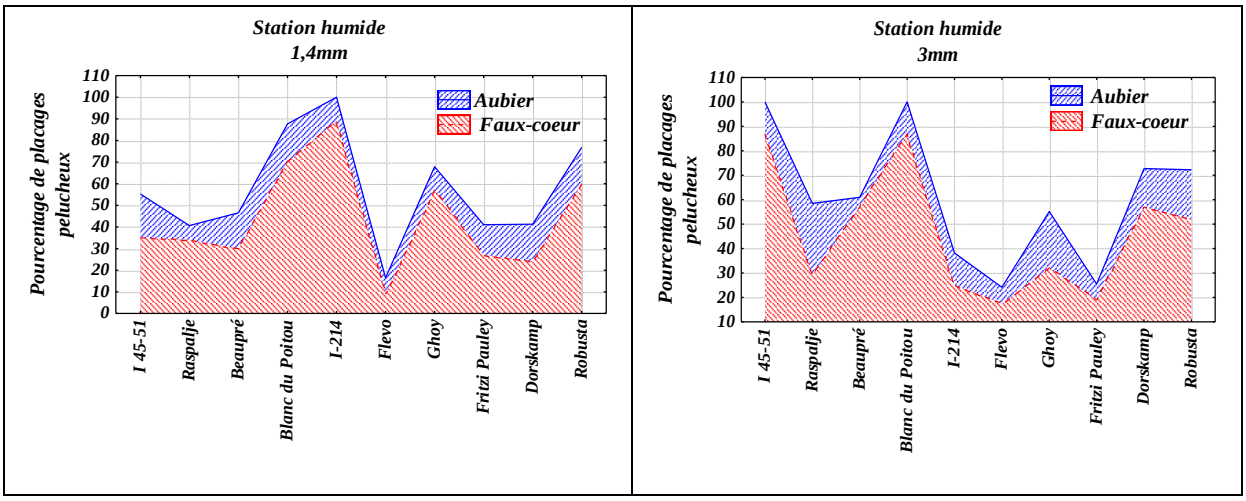
Dorskamp provenant de la station profonde (arbre 39)



Flevo provenant de la station profonde (arbre 40)

Annexe IV- Répartition du pourcentage de placages pelucheux entre l'aubier et le faux cœur.




Station humide
1,4mm
Pourcentage de placages pelucheux
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Aubier
Faux-coeur
I 45-51
Raspalje
Beaupré
Blanc du Poitou
I-214
Flevo
Ghoy
Fritzi Pauley
Dorskamp
Robusta
Station humide
3mm
Pourcentage de placages pelucheux
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
Aubier
Faux-coeur
I 45-51
Raspalje
Beaupré
Blanc du Poitou
I-214
Flevo
Ghoy
Fritzi Pauley
Dorskamp
Robusta

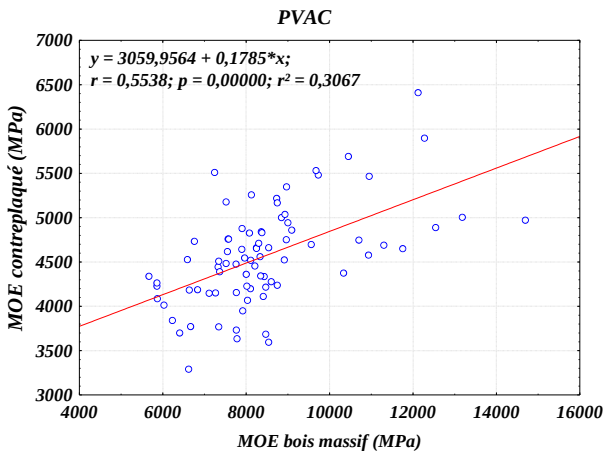
Annexe V- Matrice de corrélations entre les différents critères étudiés.

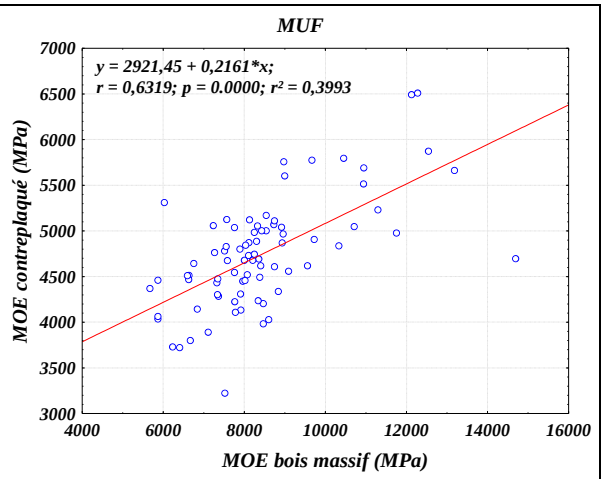
1	**1**																								
2	0,07	**2**																							
3	0,11	**0,93**	**3**																						
4	0,00	0,03	0,10	**4**																					
5	-0,12	**-0,37**	**-0,35**	0,15	**5**																				
6	0,01	0,00	0,00	**0,17**	0,08	**6**																			
7	0,07	**-0,33**	**-0,36**	0,08	**0,25**	**0,19**	**7**																		
8	-0,05	0,04	0,04	**0,19**	0,00	0,15	0,13	**8**																	
9	0,07	0,04	0,01	0,05	-0,15	-0,02	-0,08	**-0,16**	**9**																
10	**-0,17**	**0,30**	**0,30**	0,10	**-0,25**	0,08	**-0,25**	0,13	-0,09	**10**															
11	**-0,20**	**0,34**	**0,35**	0,14	**-0,27**	**0,18**	**-0,27**	0,14	-0,08	**0,91**	**11**														
12	0,02	-0,02	-0,04	-0,01	0,01	0,03	-0,02	0,08	-0,03	**0,51**	**0,34**	**12**													
13	-0,08	**-0,51**	**-0,53**	-0,09	**0,24**	-0,07	**0,19**	0,02	-0,05	0,07	-0,08	**0,55**	**13**												
14	-0,08	**-0,48**	**-0,50**	-0,01	0,15	0,01	0,08	-0,02	-0,05	**0,27**	**0,24**	**0,47**	**0,59**	**14**											
15	**-0,21**	-0,11	-0,14	0,12	-0,07	**0,19**	0,03	0,14	-0,09	**0,61**	**0,63**	**0,36**	**0,28**	**0,65**	**15**										
16	**-0,21**	-0,02	-0,04	0,13	-0,13	**0,25**	-0,03	0,13	-0,07	**0,66**	**0,73**	**0,22**	**0,16**	**0,51**	**0,91**	**16**									
17	-0,11	**-0,19**	**-0,20**	0,06	0,04	-0,04	-0,06	0,01	**-0,16**	**0,43**	**0,43**	**0,29**	**0,36**	**0,66**	**0,77**	**0,73**	**17**								
18	-0,05	-0,05	-0,05	0,00	-0,03	0,00	-0,05	0,04	**-0,16**	**0,38**	**0,37**	**0,37**	**0,36**	**0,53**	**0,44**	**0,41**	**0,59**	**18**							
19	-0,11	**-0,51**	**-0,52**	-0,01	0,15	0,03	0,09	0,05	-0,11	**0,25**	**0,22**	**0,42**	**0,57**	**0,92**	**0,65**	**0,50**	**0,68**	**0,59**	**19**						
20	-0,07	**0,24**	0,10	-0,14	-0,11	-0,10	-0,07	-0,15	0,11	0,12	0,10	0,01	0,00	0,12	0,12	0,13	**0,21**	**0,17**	0,09	**20**					
21	0,14	-0,01	-0,03	-0,06	0,04	-0,05	-0,11	**-0,21**	0,08	0,02	-0,02	0,12	0,11	0,03	-0,06	-0,05	-0,03	0,00	-0,01	**0,21**	**21**				
22	-0,05	0,06	0,02	-0,06	0,10	**-0,21**	0,03	**-0,18**	-0,05	-0,05	-0,06	-0,06	-0,01	0,06	0,02	0,00	0,10	0,04	0,06	0,15	-0,07	**22**			
23	-0,13	0,06	0,02	0,08	-0,13	**0,29**	-0,08	**0,17**	-0,09	**0,59**	**0,68**	0,15	0,05	**0,33**	**0,65**	**0,76**	**0,56**	**0,31**	**0,33**	0,12	0,04	-0,07	**23**		
24	**-0,22**	-0,01	-0,03	0,10	0,02	-0,13	-0,13	-0,01	**-0,32**	**0,38**	**0,38**	0,08	0,11	**0,27**	**0,41**	**0,44**	**0,61**	**0,27**	**0,26**	0,15	0,00	0,01	**0,58**	**24**	
25	**-0,21**	-0,09	-0,08	0,07	-0,10	-0,01	-0,15	0,04	**-0,16**	**0,57**	**0,62**	0,15	**0,17**	**0,54**	**0,63**	**0,72**	**0,69**	**0,49**	**0,52**	0,13	0,00	0,11	**0,71**	**0,60**	**25**

En rouge les corrélations significatives.

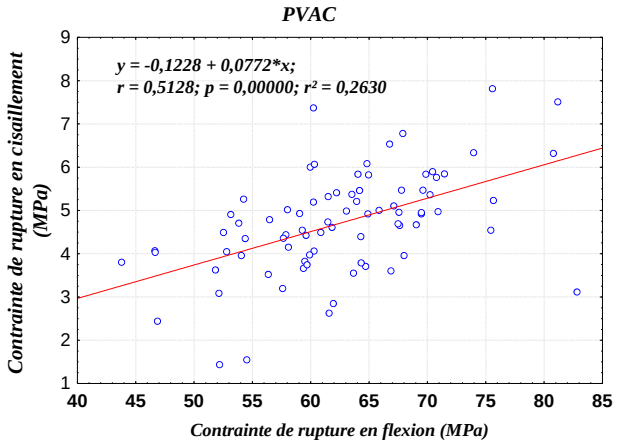
Variables corrélées :

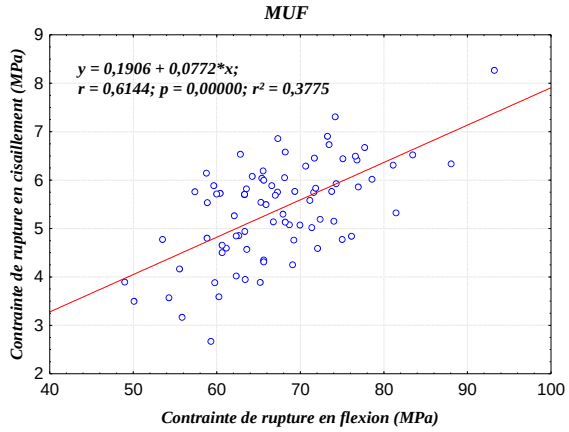
1 Taux d'humidité (%)
2 Efforts sur l'outil (daN/m)
3 Efforts sur la barre (daN/m)
4 Amplitude du tuilage (mm)
5 Fréquence du tuilage (ondulation/m)
6 Pourcentage de placages pelucheux
7 Coefficient de variation de l'épaisseur
8 Rugosité (mm d'eau)
9 Fissuration (mm d'eau)
10 Module d'élasticité statique des panneaux contreplaqués (Mpa)
11 Module d'élasticité dynamique des panneaux contreplaqués (Mpa)
12 Contrainte de rupture en flexion des panneaux contreplaqués (Mpa)
13 Contrainte de rupture en cisaillement des panneaux contreplaqués (Mpa)
14 Masse volumique des panneaux contreplaqués (Kg/m^3)
15 Module d'élasticité statique des panneaux LVL (Mpa)
16 Module d'élasticité dynamique des panneaux LVL (Mpa)
17 Contrainte de rupture en flexion des panneaux LVL (Mpa)
18 Contrainte de rupture en cisaillement des panneaux LVL (Mpa)
19 Masse volumique des panneaux LVL (Kg/m^3)
20 Infradensité (Kg/m^3)
21 Proportion du bois de tension (%)(billon 3)
22 proportion du faux cœur (%)(billon 3)
23 Module d'élasticité statique du bois massif (Mpa)(billon 1)
24 Contrainte de rupture en flexion du bois massif (Mpa)(billon 1)
25 Masse volumique du bois massif (Kg/m^3)(billon 1)





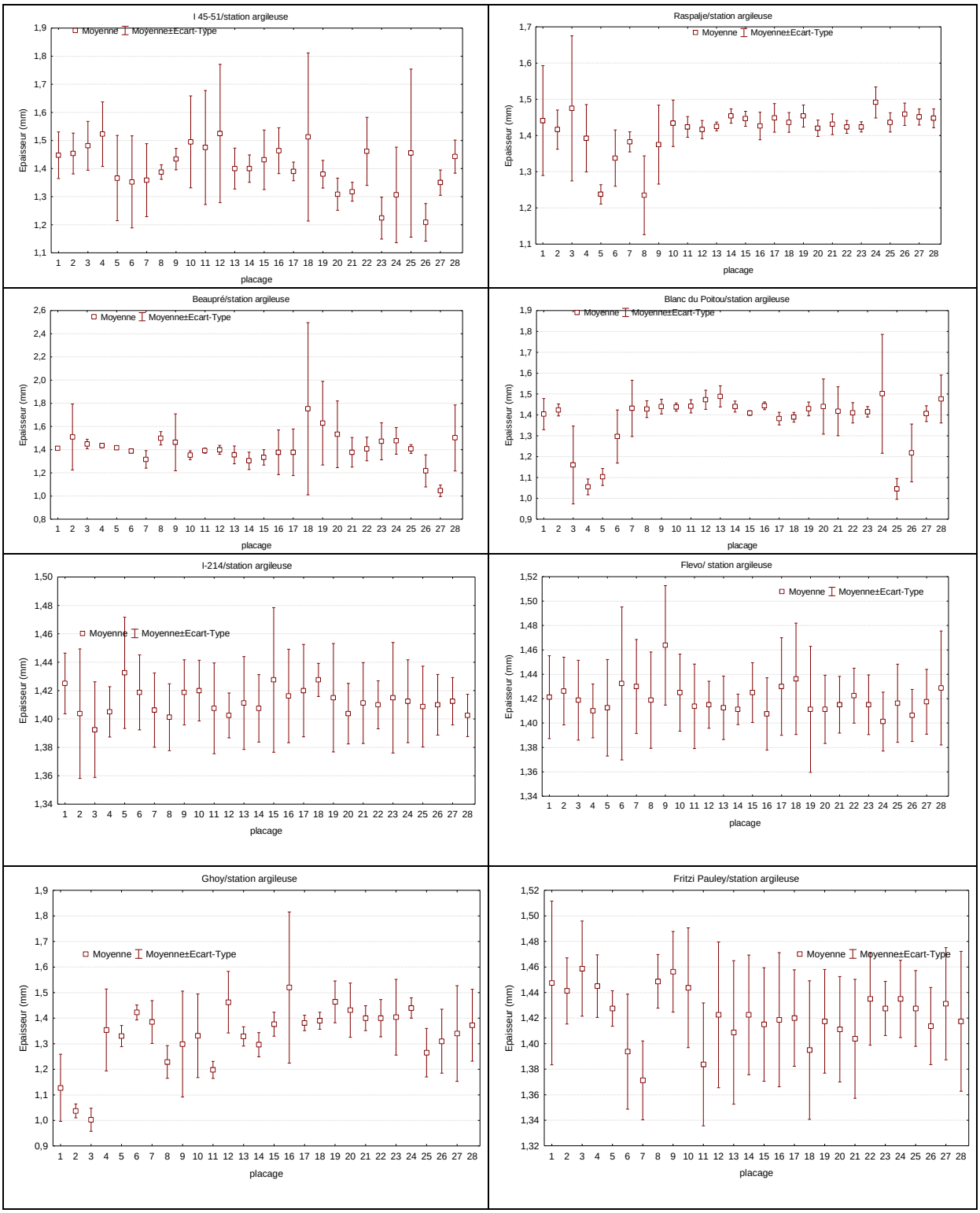
Corrélation entre le module d'élasticité statique du contreplaqué et celui du bois massif.





Corrélation entre la contrainte de rupture en flexion et la contrainte de rupture en cisaillement des panneaux LVL.

Annexe VI - Evolution de l'épaisseur en fonction de la position radiale.



Annexe VII – Résultats de l'analyse de variance.

Tableau 1 : Résultats de l'analyse de variance de l'écart entre le module d'élasticité statique des contreplaqués et le module statique du bois massif					
	SC	Ddl	MC	F	p
(1)Station	2,80E+06	3	9,35E+05	0,0	1,0
(2)Cultivar	1,31E+08	9	1,45E+07	0,0	1,0
(3)Colle	1,28E+06	1	1,28E+06	0,0	1,0
(4)Epaisseur du placage	1,29E+06	1	1,29E+06	0,0	1,0
Station*Cultivar	1,17E+08	27	4,35E+06	0,0	1,0
Station*Colle	4,26E+05	3	1,42E+05	0,0	1,0
Cultivar*Colle	9,63E+05	9	1,07E+05	0,0	1,0
Station*Epaisseur du placage	9,47E+06	3	3,16E+06	0,0	1,0
Cultivar*Epaisseur du placage	1,78E+07	9	1,98E+06	0,0	1,0
Colle*Epaisseur du placage	1,77E+05	1	1,77E+05	0,0	1,0
Station*Cultivar*Colle	2,66E+06	27	9,84E+04	0,0	1,0
Station*Cultivar*Epaisseur du placage	5,01E+07	27	1,86E+06	0,0	1,0
Station*Colle*Epaisseur du placage	8,77E+05	3	2,92E+05	0,0	1,0
Cultivar*Colle*Epaisseur du placage	1,36E+06	9	1,51E+05	0,0	1,0
1*2*3*4	1,87E+06	27	6,91E+04	0,0	1,0
Erreur	2,29E+09	1	2,29E+09		

Tableau 2 : Résultats de l'analyse de variance de l'écart entre la contrainte de rupture en flexion des contreplaqués et celle du bois massif					
	SC	Ddl	MC	F	p
(1)Station	1029,1	3,0	343,0	0,0	1,0
(2)Cultivar	4660,2	9,0	517,8	0,0	1,0
(3)Colle	3151,4	1,0	3151,4	0,1	0,8
(4)Epaisseur du placage	0,5	1,0	0,5	0,0	1,0
Station*Cultivar	4389,8	27,0	162,6	0,0	1,0
Station*Colle	678,6	3,0	226,2	0,0	1,0
Cultivar*Colle	606,8	9,0	67,4	0,0	1,0
Station*Epaisseur du placage	387,6	3,0	129,2	0,0	1,0
Cultivar*Epaisseur du placage	656,8	9,0	73,0	0,0	1,0
Colle*Epaisseur du placage	13,8	1,0	13,8	0,0	1,0
Station*Cultivar*Colle	1033,8	27,0	38,3	0,0	1,0
Station*Cultivar*Epaisseur du placage	1298,6	27,0	48,1	0,0	1,0
Station*Colle*Epaisseur du placage	121,1	3,0	40,4	0,0	1,0
Cultivar*Colle*Epaisseur du placage	203,1	9,0	22,6	0,0	1,0
1*2*3*4	617,6	27,0	22,9	0,0	1,0
Erreur	25997,8	1,0	25997,8		

Tableau 3 :Résultats de l'analyse de variance de l'écart entre le module d'élasticité statique des LVL et le module statique du bois massif					
	SC	Ddl	MC	F	p
(1)Station	2471463	3	823821	0,01	1,00
(2)Cultivar	71869566	9	7985507	0,05	1,00
(3)Colle	17630907	1	17630907	0,11	0,79
(4)Epaisseur du placage	7498655	1	7498655	0,05	0,86
Station*Cultivar	83190422	27	3081127	0,02	1,00
Station*Colle	1403658	3	467886	0,00	1,00
Cultivar*Colle	2894793	9	321644	0,00	1,00
Station*Epaisseur du placage	13371168	3	4457056	0,03	0,99
Cultivar*Epaisseur du placage	19456554	9	2161839	0,01	1,00
Colle*Epaisseur du placage	692399	1	692399	0,00	0,96
Station*Cultivar*Colle	4351242	27	161157	0,00	1,00
Station*Cultivar*Epaisseur du placage	52299305	27	1937011	0,01	1,00
Station*Colle*Epaisseur du placage	389064	3	129688	0,00	1,00
Cultivar*Colle*Epaisseur du placage	683336	9	75926	0,00	1,00
1*2*3*4	2288749	27	84768	0,00	1,00
Erreur	155654059	1	155654059		

Tableau 4 : Résultats de l'analyse de variance de l'écart entre la contrainte de rupture en flexion des LVL et celle du bois massif					
	SC	Ddl	MC	F	p
(1)Station	102	3	34	0,00	1,00
(2)Cultivar	1293	9	144	0,00	1,00
(3)Colle	868	1	868	0,02	0,90
(4)Epaisseur du placage	401	1	401	0,01	0,94
Station*Cultivar	2198	27	81	0,00	1,00
Station*Colle	81	3	27	0,00	1,00
Cultivar*Colle	81	9	9	0,00	1,00
Station*Epaisseur du placage	79	3	26	0,00	1,00
Cultivar*Epaisseur du placage	731	9	81	0,00	1,00
Colle*Epaisseur du placage	154	1	154	0,00	0,96
Station*Cultivar*Colle	166	27	6	0,00	1,00
Station*Cultivar*Epaisseur du placage	1904	27	71	0,00	1,00
Station*Colle*Epaisseur du placage	35	3	12	0,00	1,00
Cultivar*Colle*Epaisseur du placage	196	9	22	0,00	1,00
1*2*3*4	421	27	16	0,00	1,00
Erreur	38261	1	38261		

Tableau 6 : Résultats de l'analyse de variance de l'écart entre le module d'élasticité statique et le module dynamique des contreplaqués					
	SC	Ddl	MC	F	p
1Station	7,89E+06	3	2631458	0,76407	0,514175
2Cultivar	1,79E+08	9	19836496	5,75974	0,9
3Colle	7,64E+05	1	763619	0,22173	0,637787
4Epaisseur du placage	6,34E+07	1	63420801	18,41491	0,070019
Station*Cultivar	9,61E+07	27	3560863	1,03393	0,416488
Station*Colle	4,69E+06	3	1563986	0,45412	0,714414
Cultivar*Colle	9,26E+06	9	1029170	0,29883	0,975242
Station*Epaisseur du placage	4,02E+06	3	1338854	0,38875	0,761123
Cultivar*Epaisseur du placage	7,80E+06	9	867187	0,2518	0,98646
Colle*Epaisseur du placage	8,72E+03	1	8725	0,00253	0,959864
Station*Cultivar*Colle	1,71E+07	27	632913	0,18377	0,999999
Station*Cultivar*Epaisseur du placage	2,39E+07	27	886765	0,25748	0,999963
Station*Colle*Epaisseur du placage	3,65E+06	3	1215707	0,35299	0,786989
Cultivar*Colle*Epaisseur du placage	6,33E+06	9	703292	0,20421	0,993745
1*2*3*4	3,34E+07	27	1237255	0,35925	0,999055
Erreur	6,06E+09	1761	3443992		

Tableau 7 : Résultats de l'analyse de variance de l'écart entre le module d'élasticité statique et le module dynamique des LVL					
	SC	Ddl	MC	F	p
1Station	3,54E+06	3	1181327	0,20373	0,893852
2Cultivar	2,46E+08	9	27316786	4,71097	0,000003
3Colle	7,23E+07	1	72322029	12,47243	0,000424
4Epaisseur du placage	1,60E+07	1	16014611	2,76183	0,096716
Station*Cultivar	1,16E+08	27	4307214	0,74281	0,827224
Station*Colle	4,96E+06	3	1654888	0,2854	0,835977
Cultivar*Colle	8,07E+06	9	896992	0,15469	0,997857
Station*Epaisseur du placage	4,79E+06	3	1595106	0,27509	0,843406
Cultivar*Epaisseur du placage	1,79E+07	9	1985452	0,3424	0,960827
Colle*Epaisseur du placage	4,75E+06	1	4748273	0,81887	0,365634
Station*Cultivar*Colle	2,74E+07	27	1015625	0,17515	0,999999
Station*Cultivar*Epaisseur du placage	4,27E+07	27	1581988	0,27282	0,999933
Station*Colle*Epaisseur du placage	5,86E+05	3	195394	0,0337	0,991703
Cultivar*Colle*Epaisseur du placage	1,02E+07	9	1132773	0,19535	0,99471
1*2*3*4	2,13E+07	27	788784	0,13603	1
Erreur	1,02E+10	1761	5798551		

Annexe VIII - Contribution à la mise en place d'une procédure industrielle en vue d'atténuer le phénomène de peluchage lors du déroulage

A la faveur des rencontres avec les industriels du déroulage faisant parti du comité de pilotage de l'étude, de l'assemblée générale de la Chambre Syndicale des Peupliers de France et de visites d'entreprises du contreplaqué et de l'emballage léger, la question de l'origine de la peluche et surtout la demande de solutions pour contourner ce problème de qualité nous est revenu de manière récurrente. En effet, rappelons que ce défaut bien qu'essentiellement préjudiciable aux producteurs d'emballages légers car il empêche une impression de qualité des placages constitue tout de même un défaut pour les fabricants de panneaux contreplaqués du fait de défauts d'encollage et des problèmes d'encrassage de l'encolleuse qu'il peut engendrer lors de cette production.

Etant généralement admis que la présence de bois de tension était la principale cause du phénomène de peluchage lors de la coupe, une première solution consisterait à inviter les populiculteurs à réduire la production de bois de réaction par des procédés sylvicoles (choix des stations et des cultivars). Cependant ceux-ci sont depuis longue date mobilisés sur ce problème qui détériore également les rendements papetiers.

Nous nous plaçons donc du point de vue du transformateur industriel qui doit vivre avec une ressource avec ses singularités et donc trouver des solutions technologiques pour contourner le problème. Les entretiens et visites nous ont permis de recenser un certain nombre de facteurs du procédé de transformation pouvant participé à accentuer le phénomène de peluchage en surface des placages de peuplier.

Ces facteurs sont

- la forme générale des billons. En effet, une grume comportant beaucoup de bois de réaction a tendance à présenter une **section ovale**. Il peut être d'une certaine efficacité de trier sur parc à grume les billons selon ce facteur de forme pour ne réserver les billons à risque à des emplois sans grand risque de déclassement.
- le taux d'eau libre. En effet, certains industriels ménagent un temps de ressuyage des billons laissés verticalement avant déroulage pour mieux évacuer par gravité une grande quantité **d'eau libre** participant à la genèse de surface pelucheuse.
- la température du bois. S'il est admis qu'un étuvage du bois de peuplier n'est pas nécessaire pour dérouler ce bois sous peine d'accentuer encore le peluchage, il est apparu en plusieurs sites que la qualité de production était meilleure en hivers qu'en été. Ainsi une **température basse** pourrait participer à améliorer la cohésion d'ensemble de ces bois.

- **l'acuité d'arête de l'outil**. Plus l'outil est usé et plus la production de surfaces pelucheuses est importante
- le **taux de pénétration** dans le bois et le **type de barre** de pression. Une barre de pression angulaire peut participer à aggraver le phénomène en venant « gratter » la surface du placage alors qu'une barre ronde ou arrondie permet d'atténuer ce problème.

Afin de tenter une première hiérarchisation de ces différents facteurs, nous avons construit un avec Cédric Desbrosse étudiant de l'ENSAM en projet de fin d'étude (travail en cours de restitution), le plan d'expériences suivant.

1. Matériel et méthodes

Nous avons travaillé sur des disques de 20 mm d'épaisseur dans le sens du fil afin de mener toutes nos expérimentations sur la microdérouleuse de l'ENSAM (Figure 1) dont les fonctionnalités sont décrites par Butaud et al (1995). Ainsi les essais ont pu être conduits sur des éprouvettes présentant des structures anatomiques très proches, ce qui permet de s'affranchir de la variabilité pour seulement se centrer sur l'influence des paramètres du procédé dont on veut tester l'influence.

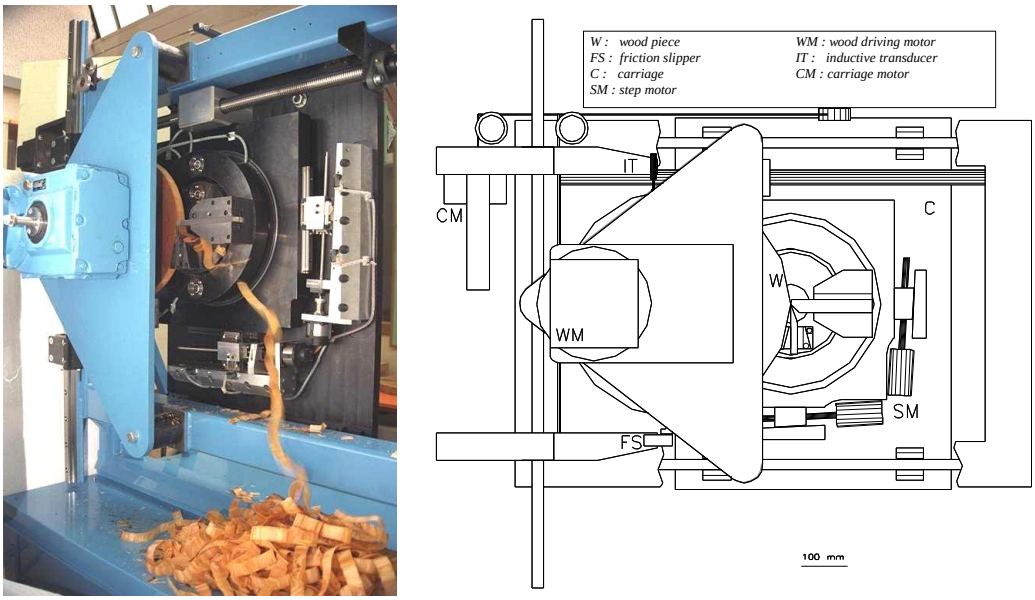


Figure 1 : organisation générale de la microdérouleuse (d'après Butaud et al., 1995)

Une première série d'essais a été conduite pour contrôler un éventuel **effet cultivar** sur la peluche cette fois mesurée sur les rubans de microdéroulage par analyse d'images. Pour ce faire, 10 disques (un par cultivar) tous issus d'un seul type de station ont été microdéroulés en utilisant les paramètres suivants

- Passe d'usinage : 1.4 mm / 3 mm

- Vitesse de coupe : 1 m/s / 3 m/s
- Angle de dépouille : 0°
- Pas de barre de pression.

Les rubans à analyser (Figure 2) ont été prélevés sur un tour complet après 3 tours de déroulage afin d'être dans le régime établi. Ils ont été numérisés sous une binoculaire avec un grossissement de x 7.5. Les images obtenues avec une lumière rasante ont ensuite été analysés par le logiciel ImageJ disponible librement sur internet. Elles ont été converties en niveaux de gris, le contour de la peluche a été discriminé en mettant en place un double seuillage faisant intervenir la variance de la composante rouge. On a pu ainsi dénombrer des particules et mesurer diverses grandeurs (distances, surfaces) avec l'outil « Analyze Particles » (Figure 3). Cette opération n'a pu être conduite que sur placage sec, l'eau libre des placages verts empêchant une acquisition d'images de qualité.

Figure 2 : rubans de placage issus de microdéroulage

Tous les essais suivant ont tous été réalisés à la vitesse de 1m/s et en 1.4 mm d'épaisseur.

L'influence de la **température** du bois sur le peluchage a été testée lors d'une seconde série d'essais conduite sur 5 cultivars (Fritzi Pauley, Beaupré, Flévo, Robusta, I214). Les températures testées ont été 5°C (séjour des disques 24 h dans un réfrigérateur avant les essais), 25°C (température ambiante) et 50°C (séjour des disques 24 h dans un bain marie avant les essais).

Une troisième série d'essais a été conduite sur 3 cultivars seulement (Beaupré, Robusta, I214) provenant d'un seul type de station. Pour chaque modalité, les essais ont été répétés trois fois. Les paramètres testés ont été les suivants :

- l'**acuité d'arête** : 3 outils ont été utilisé (arête parfaitement affutée, arêtes après 100 m et 300 m de déroulage)
- le taux de compression de la **barre de pression** angulaire : 10%, 20%, 30%
- le temps de **ressuyage** des disques : 4 (pas de ressuyage ; 1 jour, 2 jours, 3 jours).

Les placages ont été prélevés et analysés suivant les mêmes modalités que précédemment.

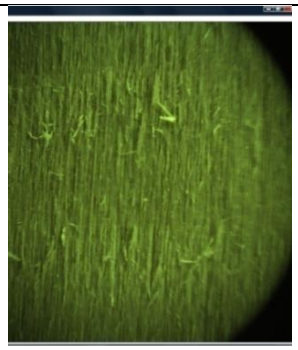
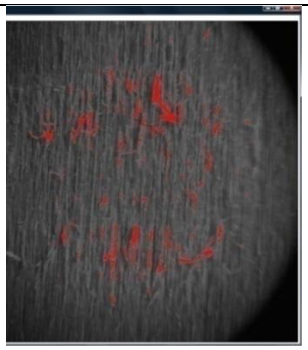



Image brute	Image composante rouge	Discrimination de la peluche

Figure 3 : Traitement d'image de surface de placage par ImageJ

2. Premiers résultats

Pour l'heure, les résultats n'ont été dépouillés que sur un tiers des essais (pas de répétition) et donc ne font apparaître que quelques tendances sans avoir la possibilité de mener des analyses de variance.

Le classement des différents cultivars (figure 4) est assez divergeant selon la méthodologie utilisée : celle par classement visuel de l'étude sur l'échantillonnage total qui constitue le corps de l'étude et celle par analyse d'images sur le sous-échantillonnage du travail présenté dans cette annexe. En effet seul le I 214 et le Blanc du Poitou sont classés à l'identique dans les deux expériences (positions respectives de 1 et 8, tableau 1). Il convient de rappeler que dans la méthodologie utilisée ici, nous n'avons analysé qu'un tour de déroulage, une seule station par cultivar et conduit l'analyse sur des disques ce qui rend les résultats alors obtenus difficiles à comparer avec ceux provenant du dispositif total et rendant compte de la peluche sur tout un billon.

Tableau 1 : Classement des 10 cultivars pour le taux de peluche dans les placages suivant la méthode de mesure utilise (Méthode visuelle sur l'échantillonnage total / Analyse d'images sur le sous échantillonnage de l'étude faisant l'objet de cette annexe – 1 = meilleure qualité et 10 = moins bonne qualité)

Cultivars	I214	Ras-palje	Beau-pré	Fritzi Pauley	I45/ 51	Flevo	Dors-kamp	Blanc du Poitou	Robus-ta	Ghoy
Classement par analyse d'images	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Classement visuel	1	9	5	10	7	3	2	8	6	4

L'étude fait aussi apparaître une tendance à l'accentuation de la peluche avec l'augmentation de la passe d'usinage (effet par ailleurs non significatif dans l'étude sur le dispositif global) et l'augmentation de la vitesse. Ce dernier phénomène peut être lié à l'évacuation plus

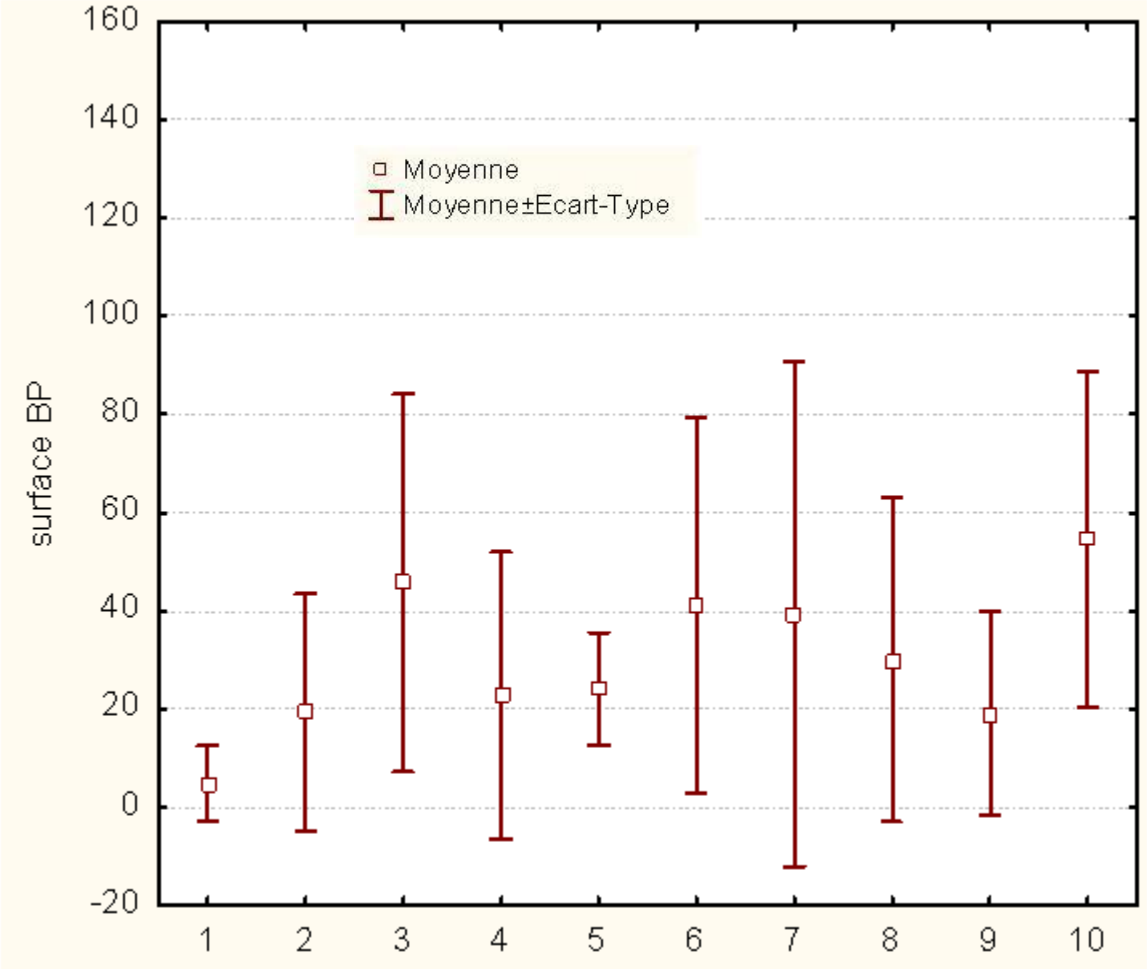
vigoureuse à forte vitesse de l'eau libre hors du disque, phénomène générant peut-être d'avantage de micro-arrachements de fibres. Cependant, les autres résultats (figures 4 à 8) tendent à confirmer les observations recueillies auprès des industriels qui tendrait à valider la procédure expérimentale et notamment le type d'analyse d'image opéré. Ainsi,

- l'usure de l'outil (figure 6a), le taux de compression de la barre (figure 6b) tendraient bien à accentuer la moyenne mais aussi l'écart-type de la proportion de surface pelucheuse les placages sur un tour complet de déroulage.
- les augmentations de la température du bois (figure 7) et de son taux d'humidité (figure 8) tendent à accentuer le peluchage. Cela argumente en faveur d'un déroulage à faible température sur des bois déjà fortement ressuyés.

3. Perspectives

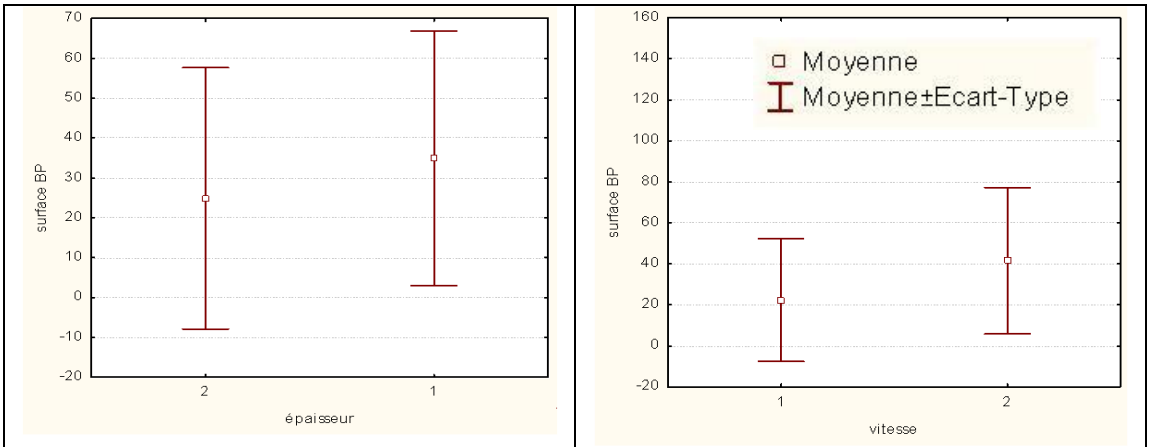
Ce premier travail exploratoire est inachevé car en cours de traitement dans le cadre d'un projet d'étudiant de l'ENSAM. Une fois complètement analysé, il conviendra de proposer une hiérarchisation des paramètres du procédé au sens large pouvant jouer sur la réduction du peluchage et probablement de répéter ce travail

- sur placages verts pour s'affranchir des ondulations liés aux retraits au séchage et préjudiciable à la netteté des images.
- en utilisant un scanner optique permettant d'analyser de plus grandes surfaces de bois de façon objective. Le CombiScan du LABOMAP sera testé et adapté pour cette problématique d'analyse de défauts de surface.
- en introduisant d'autres paramètres comme l'ovalisation du billon ou l'emploi de barres rondes avec différents rayons de courbure.



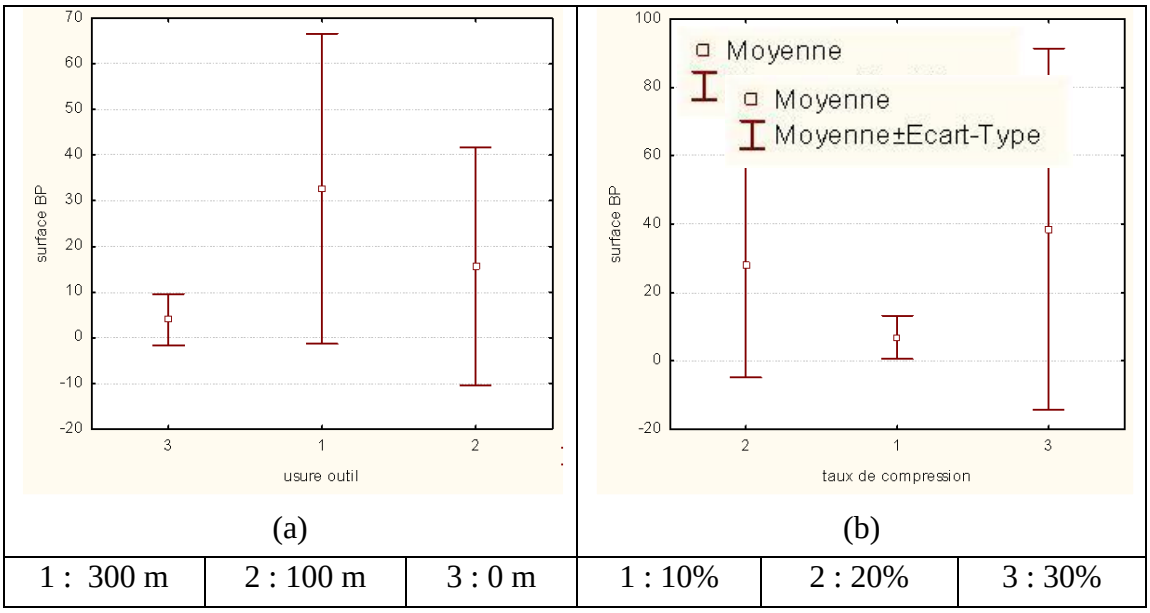
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I214	Beaupré	Robusta	Fritzi Pauley	I45-51	Blanc du Poitou	Dorskamp	Flevo	Raspalje	Ghoy

Figure 4 : effet cultivar sur la proportion de peluche (moyennes et écart-types sur 10 cultivars)



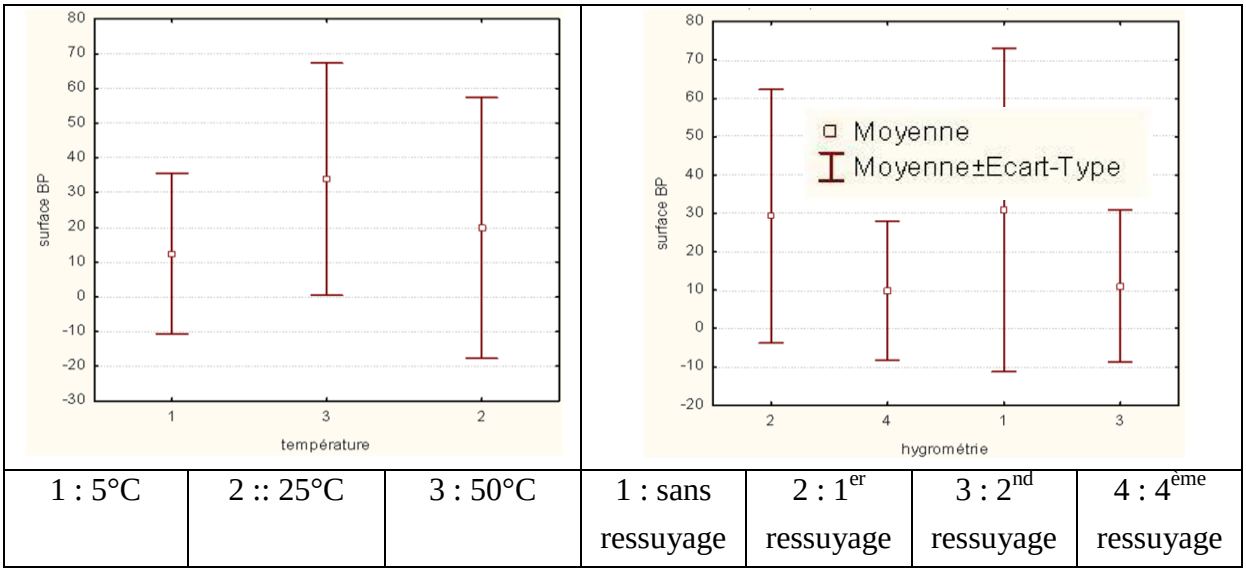
1 : 1.4 mm	2 : 3 mm	1 : 1m/s	2 : 3 m/s

Figure 5 : effet de l'épaisseur du placage (a) et de la vitesse de coupe (b) sur la proportion de peluche (moyennes et écart-types sur 10 cultivars)



1 : 300 m	2 : 100 m	3 : 0 m	1 : 10%	2 : 20%	3 : 30%

Figure 6 : effet de l'usure de l'outil (a) et du taux de compression de la barre (b) sur la proportion de peluche (moyennes et écart-types sur 3 cultivars)



1 : 5°C	2 :: 25°C	3 : 50°C	1 : sans ressuyage	2 : 1er ressuyage	3 : 2nd ressuyage	4 : 4ème ressuyage

Figure 7 : effet de la température du bois sur la proportion de peluche (moyennes et écart-types sur 10 cultivars)

Figure 8 : effet de la durée de ressuyage sur la proportion de peluche (moyennes et écart-types sur 3 cultivars)

DEROULAGE DU PEUPLIER : EFFETS CULTIVARS ET STATIONS SUR LA QUALITE DES PRODUITS DERIVES

RESUME: L'industrie du déroulage est le débouché majeur de la ressource en peuplier constituée de cultivars toujours plus nombreux. Une évaluation de la qualité des bois de ces cultivars est nécessaire pour connaître leur aptitude tant à des emplois conventionnels (emballages légers, contreplaqués) qu'innovants (panneaux LVL - *Laminated Veneer Lumber* - pour la construction) afin d'orienter les populiculteurs dans leurs choix sylvicoles. Le présent travail participe à cette démarche et porte sur l'aptitude au déroulage de 10 cultivars de peuplier (5 confirmés et 5 en fort développement) issus de 4 types de stations forestières différentes, sur la qualité des placages et les caractéristiques mécaniques des panneaux contreplaqués et LVL. Trois arbres ayant été prélevés par cultivar et par type de station, l'échantillonnage est donc constitué de 120 arbres. Ainsi 40 billons ont été déroulés en conditions de laboratoire en 1.4 mm et 40 en 3 mm. Les 40 billons restants ont été déroulés en industrie pour estimer les rendements qualitatifs et quantitatifs. La qualité des placages a été évaluée en considérant le tuilage, les qualités de surface (rugosité et peluchage), les variations d'épaisseur, la fissuration. Ces placages ont permis de réaliser 320 panneaux contreplaqués et LVL avec 2 types de colles : une PVAC et une MUF. Chaque panneau a été caractérisé par des essais non destructifs et destructifs en flexion et en cisaillement. Il apparait que la qualité du placage ne dépend que de l'épaisseur du déroulage et de la position radiale dans l'arbre. Les performances mécaniques des panneaux sont essentiellement influencées par l'épaisseur du placage et le type de colle. La variabilité inter-cultivar et inter-station reste à tout niveau très faible : il ne convient donc pas d'adapter les conditions de coupe aux différents cultivars mais une réflexion doit être menée sur l'intérêt qu'il pourrait y avoir à augmenter les révolutions du peuplier pour envisager des emplois en construction bois. Des propositions sont amorcées pour atténuer les effets du bois de tension, génératrice de surfaces pelucheuses.

Mots-clés: *Déroulage, peuplier, cultivar, station, variabilité, placage, contreplaqué, LVL, qualité des surfaces, propriétés mécaniques, surfaces pelucheuses*

PEELING OF POPLAR: CULTIVAR AND FOREST STATION EFFECTS ON VENEER-BASED PRODUCTS QUALITY

ABSTRACT: Peeling industry is the major application for poplar resource composed with more and more cultivars. A comprehensive evaluation of wood quality of these different cultivars is necessary for a better knowledge of their adequacy to different conventional (light packaging, plywood) or innovative applications (LVL for construction) in order to help foresters in their choices. This research participates to this approach focusing on poplar peelability, veneer quality, mechanical properties of plywood and LVL produced from 10 cultivars (5 well-known by professional and 5 promising new ones) coming from 4 different types of forest stations. Three trees having been harvested per station and per cultivar, the tests have been performed on 120 trees: 40 of them have been peeled in 1.4 mm thick, 40 in 3 mm thick at laboratory scale. The other 40 trees have been peeled in industry in order to collect estimation of qualitative and quantitative production yields. Veneer quality has been evaluated measuring curl-up, surface quality (roughness, plushy surfaces), thickness variation, lathe checking. These veneers have been used to manufacture 320 plywood and LVL boards using two types of glue (PVAC and MUF). Each board has been characterized by non destructive and destructive bending and shearing tests. The results show that veneer quality mainly depends of peeling thickness and of radial position into the tree. Boards' mechanical performances are linked to veneer thickness and glue types. No cultivar or stations effect haven been clearly identified, it is not necessary to adapt peeling and board manufacturing processes according to cultivars and station. Nevertheless, it seems relevant to discuss about an increase of poplar rotation duration in order to be able to use this wood for construction. Finally, technical proposals are made to bypass the presence of tension wood into poplar producing fuzzy surfaces.

Keywords: *Peeling, poplar, cultivar, forest station, variability, veneer, plywood, LVL, mechanical properties, surface quality, fuzzy surfaces.*