



HAL
open science

Identification et classement des critères déterminant la qualité des grumes de Chêne (*Quercus petraea* Liebl. et *Quercus robur* L.) à partir de l'étude de leur prix de vente et de l'estimation de la préférence des utilisateurs

Sebastien Cavaignac

► **To cite this version:**

Sebastien Cavaignac. Identification et classement des critères déterminant la qualité des grumes de Chêne (*Quercus petraea* Liebl. et *Quercus robur* L.) à partir de l'étude de leur prix de vente et de l'estimation de la préférence des utilisateurs. Sciences du Vivant [q-bio]. Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts, 2007. Français. NNT: . tel-02824793

HAL Id: tel-02824793

<https://hal.inrae.fr/tel-02824793>

Submitted on 6 Jun 2020

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.

THESE

Présentée pour l'obtention du grade de

Docteur de l'ENGREF

Option : Sciences Forestières et du Bois

Identification et classement des critères déterminant la qualité des grumes de Chêne à partir de l'étude de leur prix de vente et de l'estimation de la préférence des utilisateurs

par

Sébastien Cavaignac

Soutenue le 9 janvier 2007, devant la commission d'examen constituée par :

Rapporteurs :
Alain Franc
Gilbert Saporta

Examineurs :
Franck Lecocq
Bernard Rey
Jean-Philippe Terreaux

Directeur de Thèse :
Gérard Nepveu

Suivi rapproché de la Thèse :
Gilles Le Moguédec



Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois
UMR INRA-ENGREF
Equipe de Recherches sur la Qualité des Bois
54280 CHAMPENOIX (France)

PLUS de quarante défauts sont susceptibles d'affecter les grumes de Chêne (*Quercus petraea* Liebl. et *Quercus robur* L., confondus dans cette étude). Le simulateur de croissance et de qualité du bois de Chêne FAGACEES développé au LERFoB admet certaines simplifications et, notamment, ne prend pas en considération ces différentes singularités. Or l'on sait, au moins de manière empirique, que ces défauts pèsent à des degrés divers sur les rendements, les destinations et la perception de la qualité des grumes par les utilisateurs, sans que l'on connaisse de façon objective l'importance réelle qui leur est accordée. L'objectif central de cette thèse est donc d'identifier les défauts qui pèsent le plus lors de l'évaluation de la qualité des grumes et d'en proposer un classement en fonction de la gravité perçue. Nous nous sommes pour cela appuyé sur deux approches complémentaires.

La première approche est une étude des relations entre les singularités et les prix des bois. Nous avons mis au point un protocole de mesure permettant d'accéder à la description précise de grumes. Ce protocole a été appliqué sur 70 grumes de bonne qualité vendues individuellement lors de la vente par soumissions cachetées qui a eu lieu à Bad Mergentheim (Allemagne) en février 2004. L'accès à l'ensemble des soumissions nous a permis de définir une typologie des acheteurs et de décliner l'importance mesurée des défauts sur les prix en fonction de cinq groupes : trancheurs, merrandiers, scieries de qualité spécialisées, scieries de haute valorisation et scieries moyennes. Si le type d'acheteur structure fortement nos données, l'analyse des effets "dimensions" et "singularités" permet d'apporter les premiers éléments de réponse à la problématique de la thèse.

Cette première étude a montré certains manques que nous avons comblés à l'aide d'une seconde approche qui se veut complémentaire de la première. La seconde partie de la thèse présente ainsi la conception et l'interprétation d'une enquête destinée à mesurer les préférences des utilisateurs du bois de Chêne. Nous avons pour cela créé un jeu de grumes virtuelles permettant de mesurer les effets principaux de 13 défauts sur la perception de la qualité par les différentes personnes interrogées. Ces personnes ont été échantillonnées parmi 5 groupes d'utilisateurs définis à l'aide d'une typologie de la population des premiers transformateurs de grumes de Chêne en France : les merrandiers, les grandes scieries de feuillus, les grandes scieries spécialisées en Chêne, les fabricants de parquets et les scieries de petite taille.

Trois critères ayant été étudiés dans chacune des deux approches pour proposer un classement des défauts, la troisième partie de la thèse permet de rassembler ces six indicateurs pour proposer une synthèse et un classement général des défauts. Les singularités ressortant comme les plus importantes sont celles liées à la branchaison (nœuds pourris, broussins, roses et picots), la courbure, le fil tors et la couleur. Les perspectives de ce travail sont présentées en conclusion.

Mots-clefs : Chêne (*Quercus petraea* Liebl. et *Quercus robur* L.) - Mesure des préférences - Modélisation - Qualité des bois - Prix des bois.

Si la couverture de ce document ne porte que le nom de son auteur principal, il n'en demeure pas moins un travail d'équipe et ces quelques paragraphes sont l'occasion pour moi de remercier l'ensemble des personnes qui ont, de près ou de loin, contribué à l'aboutissement de cette étude.

Je tiens tout d'abord à exprimer toute ma gratitude à Messieurs Gérard Nepveu et Gilles le Moguédec pour m'avoir conseillé, orienté et surtout prodigué de nombreux enseignements, tant dans le domaine forestier que dans celui des statistiques.

Je remercie également l'ensemble de l'Équipe de Recherche sur la Qualité des Bois du LERFOB pour l'aide scientifique, technique et administrative que ses différents membres ont pu m'apporter ainsi que pour la qualité de leur accueil.

Je suis particulièrement reconnaissant à l'ensemble des personnes avec lesquelles j'ai eu la chance de m'entretenir dans le cadre de cette thèse et dont les échanges ont souvent permis d'enrichir ce travail. Je citerai notamment Mademoiselle Raphaële Préget (LEF), Messieurs Edgar Kieffer (ONF), Jean-Claude Pierrat (LERFoB), Jean Vincent (INAPG) et Claude Xémard (ONF).

Je tiens aussi à remercier les différentes personnes rencontrées lors des réunions CAQ (Croissance, Amélioration Qualité), séminaires LERFoB, rencontre IUFRO ou LERFoB-FOBAWI. Les remarques et critiques échangées lors de ces séminaires ont été très enrichissantes.

Je tiens également à adresser tous mes remerciements à l'ensemble du comité de thèse, à savoir Mesdames Sandrine Costa et Myriam Legay et Messieurs Gero Becker, Jean-Jacques Daudin et Claude Xémard. Les différentes réunions de ce comité ont été l'occasion d'échanges intéressants et constructifs.

Ce travail n'aurait pas pu voir le jour sans les nombreuses données qu'il nous a été possible de réunir. Je tiens donc à remercier toutes celles et ceux nous ayant transmis ces informations, notamment Madame Sandra Kimmerle et Monsieur Uhde Klaus pour les données de ventes allemandes, Monsieur Michel-Paul Morel pour les résultats de l'enquête annuelle de branche, l'agence ONF de Metz pour les données de ventes de bois façonnés en Moselle et l'ensemble des scieurs qui ont accepté de répondre à notre enquête. Je remercie également l'ONF par son soutien apporté au travers du contrat ModelFor.

Je tiens aussi à exprimer toute ma reconnaissance aux différentes personnes ayant relu, corrigé et critiqué la première version de ce manuscrit, à savoir Mademoiselle Lucile Orliac et Messieurs Gilles le Moguédec et Gérard Nepveu.

Je remercie aussi les rapporteurs ainsi que les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail. Leurs judicieuses remarques et corrections sont incluses dans cette version finale du document.

Je terminerai ces remerciements en adressant toute ma sympathie à l'ensemble des thésards du laboratoire avec qui j'ai pu avoir de nombreux échanges non seulement professionnels mais aussi ludiques et amicaux.



Table des Matières

Introduction : contexte, objectif et plan de la thèse	xi
Chapitre I : Revue bibliographique	3
1 Les défauts du bois de Chêne	3
1.1 Quelques précisions de vocabulaire	4
1.1.1 Qualité du bois	4
1.1.2 Anomalies, défauts ou singularités ?	5
1.1.3 Modes de valorisation du bois de Chêne	5
1.2 Anomalies des grumes de Chêne	6
1.2.1 Caractéristiques de structure	6
1.2.2 Singularités de structure	7
1.2.3 Singularités de la forme du tronc	10
1.2.4 Altérations et dégradations	11
1.3 Règles de classements	13
1.3.1 Pourquoi normaliser les grumes ?	13
1.3.2 Genèse des normes appliquées aux grumes de Chêne	14
1.3.3 Évolution des normes de classement des grumes de Chêne des années 1970 à nos jours	15
1.3.4 Mesure de l'importance des défauts via les normes	16
1.4 Conclusion	19

Chapitre II : Singularités et prix des bois	23
1 Prix des bois du côté de la littérature forestière	25
1.1 Formation et variabilité des prix : quelques éléments de micro-économie	26
1.1.1 Le prix est déterminé par la loi de l'offre et de la demande	26
1.1.2 Variations de prix consécutives à un changement de l'offre	27
1.1.3 Variations de prix consécutives à un changement de la demande	27
1.2 Prise en compte de la variabilité des prix dans le domaine forestier	28
1.2.1 Observations de la variabilité des prix dans le temps, dans l'espace, entre sites et entre arbres	28
1.2.2 Modes d'estimation des prix des bois	31
1.2.3 Étude des prix par modélisation	33
1.2.4 Bilan et conséquences pour notre étude	35
2 Analyse des résultats d'une vente proposant des grumes individuelles	37
2.1 Sélection de la vente	38
2.1.1 Caractéristiques du matériel d'étude recherché	38
2.1.2 Vente sélectionnée	39
2.2 Présentation de la vente de Bad Mergentheim	40
2.2.1 Lieu et organisation de la vente	40
2.2.2 Description des lots mis en vente	42
2.2.3 Description des pièces mises en vente	42
2.2.4 Conclusion	46
2.3 Résultats de la vente concernant les lots de Chêne : description générale	46
2.3.1 Acheteurs présents	46
2.3.2 Description des soumissions émises	48
2.4 Modélisation des soumissions de la vente à partir des variables du catalogue de vente	50
2.4.1 Quelle part de la variabilité des prix peut-on attribuer aux caractéristiques de la pièce ?	50

2.4.2	Prise en compte des dimensions et de la qualité des pièces pour modéliser le prix au m ³ des lots	54
2.4.3	Prise en compte des dimensions et de la qualité des pièces pour modéliser le prix au m ³ des grumes vendues individuellement	58
2.5	Conclusion	60
3	Relation entre le prix de la grume individuelle et ses singularités	63
3.1	Mesure des défauts individuels	64
3.1.1	Présentation des contraintes	64
3.1.2	Choix de la méthode : photogrammétrie à partir de photographies numériques	65
3.1.3	Protocole de mesure sur le terrain	66
3.1.4	Protocole d'échantillonnage	67
3.1.5	Exploitation des données de terrain au laboratoire	67
3.1.6	Évaluation de la précision de la méthode photogrammétrique pour la mesure des caractéristiques des grumes individuelles	71
3.1.7	Résultats de la mesure des singularités sur les grumes vendues individuellement	73
3.1.8	Conclusion	75
3.2	Relation entre le prix des grumes individuelles et les singularités : première approche par le modèle linéaire	76
3.2.1	Description de la variable d'étude : le prix au m ³	76
3.2.2	Modélisation des prix en fonction des singularités	79
3.2.3	Bilan de l'étude des prix par régression linéaire	94
3.3	Prise en compte de l'importance des défauts à l'aide des arbres de régression et des forêts aléatoires	98
3.3.1	Présentation des arbres de régression	98
3.3.2	Présentation des forêt aléatoires de Breiman	101
3.3.3	Application des forêts aléatoires pour hiérarchiser l'importance des défauts	101
3.4	Synthèse de l'étude des prix à l'aide des régressions linéaires et des forêts aléatoires	103
4	Discussion du chapitre "Singularités et prix des bois"	105
4.1	Quelles sont les limites de la méthode employée?	106

4.2	Peut-on envisager d'autres pistes pour relier prix des grumes et leurs singularités ?	107
4.3	Relation entre singularités et prix des grumes : jusqu'où peut-on aller ?	107
Chapitre III : Enquête de préférence auprès des utilisateurs		111
1	Comment estimer la préférence des utilisateurs ?	113
1.1	Présentation de l'analyse conjointe	114
1.1.1	Origine et objet	114
1.1.2	Définition de l'utilité	114
1.2	Présentation du protocole de mesure	115
1.3	Conclusion	116
2	Conception de l'enquête permettant de mesurer les préférences des utilisateurs de Chêne	117
2.1	Détermination des caractéristiques des grumes destinées à l'enquête	118
2.1.1	Caractéristiques communes à l'ensemble des grumes de l'étude	118
2.1.2	Singularités sélectionnées	119
2.1.3	Choix des niveaux de gravité des défauts sélectionnés	119
2.1.4	Détermination du plan d'expérience	121
2.1.5	Création des grumes virtuelles	123
2.2	Mode de présentation des grumes virtuelles aux interviewés	130
2.2.1	Choix du support de présentation des grumes virtuelles	130
2.2.2	Protocole de présentation des grumes	131
2.2.3	Répartition des grumes en 18 triplettes	134
2.3	Modèles choisis pour analyser les résultats de l'enquête	134
2.3.1	Nombre d'occurrences en première, deuxième et troisième positions	135
2.3.2	Classement par attribution d'un rang	136
2.3.3	Mesure des forces relatives	137
2.4	Finition du questionnaire et choix des interviewés	139
2.4.1	Finition du questionnaire	139

2.4.2	Typologie des interviewés	140
2.4.3	Choix des interviewés	141
2.5	Conclusion	143
3	Analyse des résultats de l'enquête	145
3.1	Déroulement du questionnaire	146
3.2	Classement des grumes et des défauts à partir de l'exploitation des résultats de l'enquête	147
3.2.1	Approche par comptage	147
3.2.2	Approche par classement	149
3.2.3	Estimation des préférences des grumes	151
3.3	Comparaison des résultats des trois méthodes de classement des grumes et des défauts	152
3.4	Conclusion	154
4	Discussion du chapitre " Enquête de préférence auprès des utilisateurs"	155
4.1	Le choix des défauts présentés lors de l'enquête est-il pertinent ?	156
4.1.1	Choix de la nature des défauts	156
4.1.2	Choix du niveau de gravité des défauts	156
4.1.3	Bilan	157
4.2	Que peut-on dire du mode de présentation des défauts ?	157
4.2.1	À propos de la forme	157
4.2.2	En ce qui concerne le fond	158
4.3	Quelle est la représentativité de cette enquête ?	158
4.4	Conclusion	159
	Chapitre IV : Synthèse et discussion générale	163
1	Synthèse des deux approches et discussion générale	163
1.1	Comparaison des deux approches : complémentarité, différences et limites	163
1.1.1	Deux études différentes mais complémentaires...	164

1.1.2	... qui présentent certaines similarités...	165
1.1.3	... ainsi que plusieurs limites	166
1.1.4	Conclusion	167
1.2	Synthèse des deux approches	169
1.2.1	Démarche employée	169
1.2.2	Représentation de l'importance des défauts à l'aide de graphiques en radar	171
1.2.3	Interprétation des radars de classement	171
1.2.4	Conclusion	175
1.3	Différents apports de la thèse	176
1.3.1	Apports pratiques	176
1.3.2	Apports scientifiques	176
1.3.3	Apports divers	177
Conclusion		181
Conclusion et perspectives		181
Bibliographie		187
Annexes		199
Annexe A : Normes de classement des grumes de Chêne de 1968 à nos jours		199
A.1	Norme CEE 1968	200
A.2	Norme ONF Moselle et Luxembourg 1986	200
A.3	Norme Moselle 1992	200
A.4	Norme CTBA 1992	200
A.5	Norme Européenne 1997	200
Annexe B : Détails de la vente de Bad Mergentheim		207
B.1	Histogrammes décrivant les lots de Chêne mis en vente	208

B.2	Répartitions des grumes individuelles de Chêne sur les quatre places de vente en fonction de leur diamètre et de leur qualité	210
B.3	Répartitions des soumissions en fonction des acheteurs et des places de vente	214
Annexe C : Détails des modèles utilisés		217
C.1	Modèle de prix des bois des ventes bord de route	218
C.2	Modèles des prix des caractéristiques	219
Annexe D : Mesure des différentes singularités		223
D.1	Histogramme des variables mesurées	224
D.2	Présentation des corrélations entre les variables	228
Annexe E : Une application de la théorie des enchères aux lots de Chêne vendus à Bad Mergentheim		229
E.1	Présentation de la théorie des enchères	229
E.1.1	Caractéristiques de la vente étudiée	229
E.1.2	Cadre de l'étude	230
E.1.3	Estimation d'un bien et offres des agents	230
E.1.4	Estimation des valeurs privées	231
E.2	Estimation de la valeur privée des lots de Chêne lors de la vente de Bad Mergentheim	232
E.2.1	Acheteurs et qualités confondus	232
E.2.2	Valeur privée en fonction du groupe d'utilisateurs	233
E.2.3	Valeur privée en fonction du groupe d'utilisateur et des caractéristiques du lot	233
E.3	Conclusion	236
Annexe F : Détails du plan d'expérience utilisé		237
F.1	Présentation du plan d'expérience	238
F.2	Affectation des niveaux de gravité aux modalités du plan	239
F.3	Série de questions	240
Annexe G : Sorties des différentes ACP		241
G.1	Typologie des acheteurs de la vente de Bad Mergentheim	242

G.2	Analyse des caractéristiques des grumes individuelles	245
G.3	Typologie des premiers transformateurs de Chêne en France	247
Annexe H : Résultats de l'enquête		249
H.1	Rappel des groupes	250
H.2	Résultats du classement des grumes et des défauts par affectation d'un score . . .	250
H.2.1	Classement des grumes	250
H.2.2	Classement des défauts	255
H.3	Résultats du classement des grumes et des défauts par attribution d'un rang et par la mesure de l'utilité	259
H.3.1	Classement des grumes	259
H.3.2	Classement des défauts	264
H.4	Classement des grumes et des défauts à l'aide du modèle de Bradley-Terry	268

Introduction

Contexte, objectif et plan de la thèse

Contexte

LE matériau bois présente de nombreux avantages et attraits. Dans le cas particulier du Chêne, essence considérée dans cette étude, ce bois est caractérisé par de bonnes propriétés mécaniques qui sont le reflet d'une masse volumique relativement élevée - mais fortement variable (de 550 kg/m^3 pour les bois mi-lourds à 800 kg/m^3 pour les bois lourds ([12]). Le Chêne est qualifié de bois mi-dur à dur ([12], [155]) ce qui explique l'attrait des parqueteurs pour cette essence. Le Chêne possède également une bonne résistance en compression axiale (58MPa en moyenne), en traction axiale (49 MPa en moyenne) et une résistance moyenne aux chocs ($6,2\text{N/cm}^2$) ([12], [120]). Une autre caractéristique du bois à considérer est sa durabilité naturelle qui correspond à la faculté de conservation d'un bois, sans produit de préservation, vis-à-vis des attaques des organismes destructeurs ([117]). De ce point de vue, le duramen de Chêne est classé parmi les bois durables ([155]). En moyenne, la durée de vie varie de 15 à 25 ans pour les bois en contact permanent avec le sol, de 40 à 50 ans pour les bois soumis aux intempéries et jusqu'à plusieurs siècles pour certains bois de charpente ([12]). Il présente aussi un fort pouvoir d'isolation acoustique et électrique, notamment à l'état sec. Sa masse volumique assez élevée lui confère une caractéristique de mauvais conducteur de chaleur, ce qui est un atout pour lutter contre les incendies. A titre indicatif, les tests de résistance au feu montrent une résistance de 52 minutes pour un poteau de Chêne nu de $15 \times 15 \times 30 \text{ cm}$ contre une dizaine de minutes pour une poutre en acier ¹. De plus, en cas d'incendie, il n'y a pas dégagement de gaz toxique comme avec d'autres matériaux. Le Chêne est bien sûr totalement recyclable. Enfin, d'un point de vue esthétique, il présente une grande gamme de coloris permettant de satisfaire de nombreux utilisateurs. L'ensemble de ces caractères confère au Chêne une excellente notoriété tant auprès des professionnels que du grand public.

Cependant, du fait de son origine biologique, ces caractéristiques ont une variabilité importante ([120]) et des anomalies viennent parfois dégrader ces propriétés ([12])². Cette variabilité et ces anomalies vont avoir des conséquences sur la valorisation du bois et peuvent même entraîner l'exclusion de certains types de débouchés (il n'est, par exemple, pas possible de faire des charpentes avec des arbres trop flexueux), la chute de qualité des produits finis (e.g. [3]) ou simplement des critères esthétiques en désaccord avec les tendances du marché (voir par exemple les effets du vieillissement du bois sur sa perception esthétique dans [159]).

Ainsi, en fonction de la gravité relative des défauts, les utilisations vont différer et, au sein même de ces utilisations, les qualités différentes vont entraîner des tarifications fluctuantes, comme on peut l'observer lors des ventes de bois ([139]). Si ces écarts de prix s'observent pour de nombreuses essences, ils sont particulièrement marqués dans le cas du bois de Chêne, essence pour laquelle il n'est pas rare d'avoir un rapport de 1 à 100 entre le prix du bois de feu et celui du bois destiné au tranchage ([5]). Le rôle joué par les anomalies du bois de Chêne dans les différentes transactions commerciales est connu de façon qualitative, mais très peu de façon

¹www.chenedefrance.info

²Les pièces de bois présentant des anomalies (ronce, broussin, loupe, ...) sont parfois recherchées pour la beauté du dessin que ces anomalies induisent sur les feuilles de tranchage, de déroulage mais aussi sur les pièces en bois massif. Ces grumes peuvent alors atteindre des prix très élevés ([105], [106]). Il ne serait toutefois pas raisonnable d'en promouvoir la production à large échelle.

quantitative. Knoke *et al.* ([101]) indiquent que, aussi étonnant que cela puisse paraître, les études économétriques des prix des grumes avec, comme variables explicatives, des critères de qualité des grumes sont relativement rares. De même, Jarret ([96]) reconnaît que les singularités du bois de Chêne sont actuellement considérées comme des défauts entraînant des décotes du produit mais que la plupart des anomalies du bois de Chêne restent méconnues et n'ont fait l'objet que de fort peu d'études et de publications.

L'apport de connaissances supplémentaires dans ce domaine n'est pas la seule motivation à ce travail. Le Chêne européen (*Quercus petraea* Liebl. et *Quercus robur* L. confondus) est la première essence forestière française, que ce soit en termes de surface ou de recettes des collectivités. Il représente près de la moitié des surfaces de forêts de feuillus (4 222 000 ha sur les 8 626 000 ha de feuillus et 14 019 000 ha boisés, d'après Pradeille ([133])). Côté recettes, le Chêne procure 34% des recettes des forêts domaniales et 24% de celles des collectivités ([21]). Cette importance notable dans la sylviculture française place le Chêne au centre de nombreuses études. Ces études s'attachent notamment à évaluer la qualité de la ressource en place ou à venir. Il y a encore quelques années, ce type de recherches nécessitait la mise en œuvre de moyens énormes (abattage de centaines d'arbres, débit et évaluation des propriétés de milliers de planches ou autres produits) avec une qualité de réponse faible ([121]). Les recherches actuelles ont permis d'aboutir à de nouvelles méthodes fondées sur la modélisation et la simulation via la création d'une chaîne de modèles "du plant à la planche" ([122]) permettant de prévoir sous certaines conditions, en fonction du scénario sylvicole et de la fertilité de la station, la croissance des arbres composant un peuplement de chênes et d'en déduire certaines caractéristiques comme la densité du bois, le volume d'écorce ou bien encore le pourcentage de bois sans nœud. La simulation de la destination finale du produit ([27]) permet de renseigner de nombreuses sorties comme le carbone stocké, les emplois générés, les minéraux exportés et l'énergie fossile utilisée. Cependant, ces sorties sont actuellement trop optimistes en comparaison avec les données réelles. Il faut en chercher la cause dans les simplifications postulées lors de la mise au point du simulateur de croissance et des propriétés du bois, en l'occurrence ici le simulateur Fagacées en cours de développement au LERFoB. A l'heure actuelle, ce dernier fournit en effet des sorties très simplifiées en ce qui concerne les différents attributs de la qualité des bois. Il n'y a notamment aucune information sur la forme, le fil, ou les défauts externes des bois. Or, si l'on se réfère aux normes de classement des bois ronds ([2]), il existe plus d'une quarantaine d'anomalies. La prise en compte des défauts dans les modélisations est donc une nécessité et une demande des utilisateurs potentiels des simulateurs ([60]). Cependant, la modélisation de la totalité de ces anomalies serait un travail de très longue haleine et d'un intérêt relativement restreint, au moins pour certains d'entre elles. De ceci, on comprend qu'il est important d'identifier objectivement les "poids" respectifs des défauts pour une utilisation donnée.

Objectif

L'exposé des préoccupations des professionnels de la filière bois et de l'intérêt des scientifiques met en évidence l'intérêt de connaître l'importance relative des différentes anomalies du bois de Chêne. L'objectif de cette thèse est donc d'identifier objectivement les défauts qui pèsent le plus lors de l'évaluation de la qualité des grumes et d'en proposer un classement en fonction de leur gravité perçue. Afin de répondre à cet objectif, ce travail se propose de réaliser les tâches

suivantes :

- identifier les outils actuellement disponibles pour évaluer l'importance des défauts ;
- proposer une méthodologie pour mesurer le poids accordé aux défauts ;
- appliquer cette méthodologie et proposer ainsi une hiérarchisation des défauts ;
- vérifier la stabilité de ce classement en fonction de la destination finale des produits.

Plan de la thèse

La première partie de cette thèse revient sur la notion de défauts des grumes de Chêne. Quels sont-ils et quels sont les outils permettant de les prendre en considération à l'heure actuelle ?

Nous verrons que pour répondre à la problématique de la thèse, ces outils ne sont pas suffisants car ils ne permettent pas de mesurer quantitativement l'impact des défauts. Il est nécessaire pour cela de définir de nouveaux outils permettant de réaliser cette mesure. Nous avons vu précédemment que les anomalies rencontrées conditionnent les utilisations du bois ou, pour une même utilisation, la valeur du produit final. Cette utilisation ou valorisation va elle-même entraîner une tarification spécifique de la matière première. La deuxième partie de cette thèse se propose donc de remonter cette chaîne, à savoir étudier le prix des grumes en fonction de l'activité de l'utilisateur et des caractéristiques dimensionnelles et qualitatives de ces grumes.

Nous verrons que cette approche ne peut pas suffire à remplir nos objectifs ([32]). Certes, elle présente de nombreux avantages. Les ventes de bois ont lieu fréquemment, ce qui permet d'accéder potentiellement à un jeu de données conséquent. Ensuite, il est possible d'étudier un phénomène sans influencer celui-ci : c'est une fois la vente réalisée entre le vendeur et l'acheteur que le scientifique peut avoir accès au montant de la transaction, mais il n'a nullement influencé cette dernière. L'observateur est dès lors indépendant de la vente étudiée, mais cela implique qu'il ne peut pas non plus choisir précisément les défauts ou combinaisons de défauts dont il souhaite étudier l'influence sur le prix, ni même les acheteurs présents lors des ventes. Enfin, le signal "prix" contient également des informations ne dépendant pas nécessairement de la qualité intrinsèque de la grume mais aussi, par exemple, de considérations propres à la stratégie de l'acheteur. C'est pourquoi un second indicateur est nécessaire pour compléter et consolider l'étude des prix. La troisième partie de la thèse est donc centrée sur l'élaboration et l'utilisation de cet indicateur, celui-ci devant combler les lacunes précédentes, à savoir permettre de choisir défauts et acheteurs et avoir un signal plus proche de la perception de la qualité que le signal "prix". Ce rapide cahier des charges oriente naturellement le choix de l'indicateur vers une mesure de la préférence des utilisateurs via une enquête appropriée.

C'est à partir de la compilation de ces deux approches, présentées dans une quatrième partie, que sera apportée une réponse synthétique à la problématique de ce travail. Cette dernière partie sera également l'occasion de souligner les apports de la thèse ainsi que d'en suggérer des perspectives.



Chapitre I : Revue bibliographique

1

Les défauts du bois de Chêne

Sommaire

1.1	Quelques précisions de vocabulaire	4
1.1.1	Qualité du bois	4
1.1.2	Anomalies, défauts ou singularités?	5
1.1.3	Modes de valorisation du bois de Chêne	5
1.2	Anomalies des grumes de Chêne	6
1.2.1	Caractéristiques de structure	6
1.2.2	Singularités de structure	7
1.2.3	Singularités de la forme du tronc	10
1.2.4	Altérations et dégradations	11
1.3	Règles de classements	13
1.3.1	Pourquoi normaliser les grumes?	13
1.3.2	Genèse des normes appliquées aux grumes de Chêne	14
1.3.3	Évolution des normes de classement des grumes de Chêne des années 1970 à nos jours	15
1.3.4	Mesure de l'importance des défauts via les normes	16
1.4	Conclusion	19

AVANT de rentrer plus en détail dans le cœur même de la thèse, à savoir l'influence des défauts sur la perception de la qualité des grumes de Chêne, nous souhaitons revenir dans ce premier chapitre sur quelques notions. Nous commencerons par définir et illustrer certains termes propres à cette étude. Nous présenterons ensuite les défauts du bois de Chêne évoqués dans la littérature, puis nous finirons par expliquer comment ces défauts sont aujourd'hui pris en compte dans les normes de classement.

1.1 Quelques précisions de vocabulaire

1.1.1 Qualité du bois

Tant dans le titre de la thèse que dans son introduction, nous avons parlé de "qualité du bois". D'après le TLFi (Trésor de la Langue Française Informatisé)³, la qualité est "la valeur bonne ou mauvaise d'une chose appréciée du point de vue du consommateur". Cruchant, en s'appuyant sur la norme ISO 8 402, définit la qualité comme "l'ensemble des caractéristiques d'une entité qui lui confère l'aptitude à satisfaire les besoins exprimés et implicites" ([43]). Concernant le bois de Chêne, les caractères propres à une grume de qualité sont les suivants ([12], [155]) :

- arbre droit : pour des raisons de rendement, mais aussi pour éviter de couper le fil du bois, la rectitude est un critère de qualité pour de nombreuses utilisations. Pour la petite histoire, signalons cependant le cas particulier d'utilisation de bois en charpente ou construction navale, bois pour lesquels on recherchait autrefois une courbure naturelle pour ne pas cintrer les bois après l'abattage ([119]) ;
- fil droit : le "fil de l'arbre" est l'orientation des fibres. Le rectitude de ces fibres garantit principalement une meilleure stabilité dimensionnelle des pièces débitées (voir I.2.2) ;
- gros diamètre : pour des raisons de rendement ([12]), les diamètres les plus gros sont les plus recherchés. Certaines utilisations comme le tranchage (voir partie I.I.3) requièrent un diamètre minimal de 50 cm pour pouvoir transformer la grume avec un rendement acceptable ;
- grume cylindrique : une fois encore, afin d'optimiser les rendements, la cylindricité de la grume est un critère recherché ;
- largeur de cerne faible : bien que ce point de vue soit quelque peu contesté, les cernes fins et réguliers sont souvent les plus recherchés. En effet, ils sont fréquemment synonymes de couleur claire, de figurés plus esthétiques notamment pour les placages tranchés, de bois à retraits transversaux plus faibles. Dans le cas de cernes étroits, on parlera de "grain fin" ([67], [68]). La texture, définie comme le rapport entre la largeur du bois final sur la largeur

³<http://atilf.atilf.fr/tlf.htm>

- totale de cerne, est alors qualifiée de faible. A noter qu'il est bien établi que, à diamètre fixé, les chênes à cernes fins sont ceux qui présentent le plus de bois sans nœud ([122]);
- largeur d'aubier faible : l'aubier est rarement utilisable. Il en résulte qu'un aubier trop important est synonyme de chute de rendements dans de nombreuses utilisations;
 - couleur claire : une couleur claire est importante pour l'esthétique de produits comme les parquets, les meubles mais aussi les tonneaux. Le bois clair est recherché car, d'une part, il correspond à la tendance du marché et, d'autre part, il permet aux différents vernis de mieux s'exprimer ([70], [92], [93], [94]);
 - homogénéité de couleur : pour des raisons essentiellement esthétiques, une homogénéité dans la couleur (tout comme dans la largeur des accroissements) est recherchée ([92], [93], [94]).

Les autres critères de qualité vont être l'absence d'anomalies. Celles-ci sont définies dans le paragraphe suivant et détaillées dans la partie (1.2).

1.1.2 Anomalies, défauts ou singularités ?

Une anomalie est un écart ou une irrégularité par rapport à une norme, à un modèle ([108]). Les anomalies du bois vont donc être des écarts par rapport à la grume de qualité optimale présentée précédemment. Ces irrégularités vont pouvoir se manifester soit dans la structure du bois - nous parlerons alors de "défauts" ou de "singularités" - soit dans la composition chimique du bois : il s'agit alors d'"altérations" ([12]). D'après le Dictionnaire forestier ([117]), les anomalies sont des irrégularités de la structure ou de la composition chimique pouvant entraîner une modification des propriétés et possibilités d'emploi du bois dans un sens favorable (voir introduction) ou défavorable suivant la finalité poursuivie. Les défauts sont considérés comme des anomalies dépréciatives. Quant aux altérations, ce sont des modifications dans la composition chimique du bois dues à un agent extérieur (notamment les champignons). La section (1.2) revient plus en détails sur les anomalies les plus fréquentes et permet d'illustrer ces notions. Nous utiliserons indifféremment dans l'ensemble de ce document les mots de "singularité" ou de "défaut" tels qu'ils sont définis ci-dessus.

1.1.3 Modes de valorisation du bois de Chêne

Comme évoqué en introduction, le bois de Chêne peut être valorisé sous de multiples formes. Cinq types principaux de valorisation, classés dans ce qui suit par ordre de valeur moyenne croissante, sont possibles :

- bois de chauffage : les bois durs (Chêne, Charme, Hêtre, Frêne, *etc.*) sont plus longs à sécher mais plus énergétiques à la combustion. Le stère découpé de bois de Chêne se vend en 2006 aux alentours de 30 €⁴. Voir aussi([138]);
- trituration : la trituration est une opération de transformation du bois qui permet la production de particules de bois. Celles-ci sont utilisées soit pour la production de pâte à papier, soit pour la fabrication de panneaux de particules. Les prix sur pied vont de 20 à 50 €/stère⁵;
- sciage : le sciage est la découpe - ou débit - de la grume en différents produits. Il existe

⁴<http://bois-chauffage.ifrance.com/>

⁵http://www.quid.fr/2006/Forets/La_Foret_En_France/

une multitude de débits possibles, l'un des plus courants pour les grumes de qualité étant le débit en plots, c'est-à-dire une découpe réalisée suivant des plans parallèles successifs [117]). Suivant la destination finale des produits, les prix moyens des bois sur pied peuvent varier de 63 €/m³ pour la charpente à plus de 310 €/m³ pour les plots destinés à l'ébénisterie ([139]);

- fendage : le fendage est un mode de débit pour lequel on décolle simplement les tissus ligneux par un choc appliqué avec un instrument tranchant qui sépare les fibres dans le sens de la longueur en suivant les lignes de moindre adhérence. Ce type de débit concerne les bois destinés à la tonnellerie ([10]). Les prix des bois sur pied varient de 130 à 300 €/m³ ([139]);
- tranchage : le tranchage consiste à débiter les grumes en feuilles de bois d'une épaisseur de quelques dixièmes de millimètres en les faisant passer contre le tranchant d'un couteau. Ces feuilles sont appelées "placages tranchés" ([12]). Les prix moyens de ces bois sur pied dépassent les 440 €/m³ ([139]).

1.2 Anomalies des grumes de Chêne

Afin de présenter les différentes anomalies du bois de Chêne, nous nous appuyerons sur le classement des bois ronds Feuillus établi par le CTBA ([15]), norme qui sert actuellement de référence en France et qui a fortement inspiré la norme européenne ([14]). Nous allons successivement présenter les caractéristiques de structure, les singularités de structure, les singularités de la forme du tronc, les altérations et les dégradations du Chêne. Ce classement est enrichi d'explications issues des travaux de Bary-Lenger ([10], [11], [12]), Venet et Keller ([155]) et Poncelet ([132]).

1.2.1 Caractéristiques de structure

1.2.1.1 L'aubier

L'aubier est l'ensemble des couches périphériques fonctionnelles du bois d'un arbre, les plus récemment formées, dans lesquelles circule la sève brute. Non duraminisé, l'aubier est moins durable que le bois parfait. Il est exclu de nombreuses utilisations. C'est pourquoi une fine largeur d'aubier est un critère de qualité.

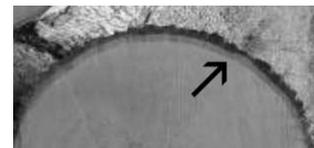


FIG. F1: Photographie de l'aubier.

1.2.1.2 La largeur des accroissements

Les professionnels du bois sont souvent attentifs aux largeurs d'accroissements. Ceux-ci correspondent au bois produit au cours d'une période végétative. Dans les régions tempérées, la couche est annuelle et correspond au cerne. Cette largeur a une influence sur la qualité mécanique des bois. L'attention va être portée sur la régularité des largeurs des cernes ainsi que sur leur largeur moyenne.

Les irrégularités dans la largeur des cernes entraînent des variations de densité, de dureté et de retrait dans les produits finis, ce qui nuit à leur stabilité dimensionnelle. De plus, d'un point de vue esthétique, ces irrégularités sont dépréciatives du fait de l'aspect final des surfaces qu'elles induisent.

Pour le Chêne, suivant les propriétés considérées, l'augmentation de la largeur d'accroissement peut avoir des conséquences positives ou négatives. En effet, les accroissements larges garantissent des bois ayant une résistance mécanique élevée. A l'opposé, des accroissements fins et réguliers sont réputés faciliter les opérations d'usinage (rabotage, ponçage, tranchage), présentent un retrait moindre, un meilleur fini des surfaces, des couleurs souvent claires et homogènes. Les Chênes à grain fin sont également très recherchés en tonnellerie (type "Tronçais").

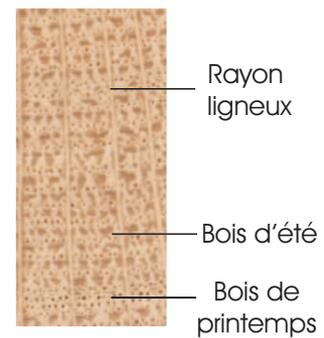


FIG. F2: Photographie de cernes de Chêne.

Les Chênes à grain fin sont également

1.2.1.3 La couleur

Pour les utilisations nobles du Chêne, exposant quotidiennement le matériau aux yeux des utilisateurs (menuiserie intérieure, tonnellerie, ébénisterie, parqueterie), la couleur est une caractéristique très surveillée. Tout comme pour les accroissements, deux paramètres sont recherchés : l'homogénéité d'une part et la clarté d'autre part ([93], [94]).

1.2.2 Singularités de structure

1.2.2.1 Les nœuds

Les nœuds sont des anomalies inévitables pour un arbre car ils sont liés à la présence de branches. Un nœud est la partie d'une branche englobée dans le tronc au cours de l'accroissement en diamètre. Les nœuds constituent globalement une source de dépréciation car ils influencent négativement les propriétés mécaniques du bois (moins de résistance en flexion et aux chocs), ils sont sources d'hétérogénéité dans le bois, entraînant un comportement à l'usinage, un retrait ou une dureté différents des tissus environnants. Enfin et surtout, ils peuvent également être source de dépréciation esthétique. Les nœuds vont être classés suivant leur dimension, leur adhérence, leur couleur et l'état du bois, à savoir sain ou pourri :



FIG. F3: Photographie de nœud noir.

- Les nœuds de branches vivantes sont sains, adhérents et clairs. Leur diamètre diminue vers le centre de la grume ;
- Les nœuds de branches mortes peuvent être sains ou altérés. La branche engendre dans le bois un nœud d'abord adhérent, qui se colore de plus en plus, perd de son adhérence et s'altère ;
- Les nœuds recouverts correspondent à d'anciennes branches, sectionnées puis recouvertes par suite de l'augmentation en diamètre de l'arbre. L'écorce garde longtemps la marque de ce nœud sous forme de cercles concentriques, qualifiée de "rose".



FIG. F4: Photographie de rose.

1.2.2.2 Gourmands

Ils apparaissent en général assez tardivement dans la vie de l'arbre, suite, par exemple, à la coupe entraînant une augmentation soudaine de luminosité au sein de la parcelle. Le développement de bourgeons proventifs tout au long du tronc forme alors des groupes de petites branches vigoureuses (phénomène de "descente de cime"). Sauf quelques rares exceptions (gourmands d'ombre), ce défaut ne constitue pas un inconvénient majeur car il reste localisé dans l'aubier. Les gourmands sont en revanche des indicateurs de défauts plus graves tels qu'une branche morte ou un nœud recouvert.



FIG. F5: Photographie de gourmand.

1.2.2.3 Picots

Les picots correspondent à des bourgeons dormants disposés sur un moignon de tige pouvant atteindre 1 cm de diamètre. Invisible pour un œil non averti, ce défaut est tout de même incompatible avec certaines utilisations comme le tranchage ou le sciage d'ébénisterie. En effet, le nœud sous le bourgeon, bien que le plus souvent adhérent, est généralement coloré et rejoint la moëlle de l'arbre.



FIG. F6: Photographie de picot.

1.2.2.4 Broussins

Les broussins, également appelés "brognes", sont des excroissances correspondant à un foisonnement anarchique local de bourgeons, gourmands et picots. Ils sont responsables de petits nœuds noirs groupés, qualifiés de "pattes de chat". Un arbre couvert de broussins, ou arbre brogneux, est déclassé en bois de charpente sauf rares exceptions. Dans ce cas, lorsque l'arbre est brogneux uniformément sur l'ensemble du tronc, il peut alors être valorisé en placage et vendu comme "loupe de Chêne" (figure F8).



FIG. F7: Photographie d'arbre brogneux.



FIG. F8: Loupe de Chêne.

1.2.2.5 Fil tors

Le fil tors est également qualifié de "fibre torse" ou de "bois vissé". D'après la norme française B-50-002 ([1]), le bois vissé "se dit d'un bois dont les fibres suivent un trait torsadé par rapport à l'axe de l'arbre, en restant parallèles entre elles". Ces bois vont donner des surfaces hélicoïdales au fendage et des planches ou placages à fils contre-taillés. Ces produits auront une valeur médiocre et vont gauchir au séchage. Le fil tors se mesure sur le roulant de la bille d'après la valeur de la déviation de fil par rapport à une génératrice sur une longueur de 1 mètre. Notons que, en forêt, c'est généralement l'angle des crevasses de l'écorce qui est généralement mesuré, les deux étant bien corrélés ([84]).



FIG. F9: Photographie de l'écorce d'un arbre dont on suspecte un fort angle du fil.

1.2.2.6 Cœur excentré

Le cœur excentré correspond à une moelle éloignée du centre géométrique de la section. L'excentricité est le rapport, exprimé en %, entre cet éloignement et le diamètre moyen. Le cœur excentré entraîne des disparités de propriétés et peut être la cause de déformations importantes des produits au séchage. Il a également un effet négatif sur les rendements.

1.2.2.7 Lunure

La lunure est une singularité propre au Chêne. Elle se présente sous la forme d'une zone annulaire d'aubier plus ou moins large et plus ou moins éloignée de la périphérie de la grume, incluse dans le duramen. Ce bois présente les mêmes caractéristiques que l'aubier (couleur, propriétés physiques et mécaniques, altérabilité). La lunure est exclue de toutes les utilisations ne pouvant contenir l'aubier.



FIG. F10: Photographie de lunure.

1.2.3 Singularités de la forme du tronc

1.2.3.1 Courbure

La courbure du tronc correspond à une déviation de l'axe longitudinal de l'arbre par rapport à la verticale. La courbure, mesurée en cm/m, s'obtient en divisant la flèche par la distance séparant les deux extrémités de la courbe. Autrefois très recherchée dans les bois de marine ou de charpente, elle est actuellement exclue de la plupart des usages. En effet, les sciages issus de bois courbes comportent des fibres tranchées, ce qui provoque un affaiblissement de la résistance mécanique. La production de pièces à bords parallèles s'accompagne de pertes de rendements.



FIG. F11: Photographie de courbure ([15]).

1.2.3.2 Méplat

Le méplat correspond à une section non circulaire mais ovoïde, avec deux diamètres très différents. Il se calcule en appliquant la formule :

$$Méplat = \frac{\varnothing_{max} - \varnothing_{min}}{\varnothing_{max}} \quad (E 1)$$

avec \varnothing : diamètre de la section en cm.

1.2.3.3 Fentes

La fente correspond, d'après la norme B 50-002 ([1]), à une "séparation des éléments contigus du bois dans le sens longitudinal". Les fentes ont une influence sur le rendement car elles entraînent des purges au niveau du débit. Elles peuvent également servir de porte d'entrée à des altérations, ce qui augmente alors considérablement leur gravité. Suivant leur physionomie, on va distinguer plusieurs types de fentes :



FIG. F12: Photographie de fentes de cœur et de cadranure.

- Fente de cœur : la fente de cœur est une fente partant de la moelle et se propageant le long de la grume. Elles interviennent dès l'abattage (ou le tronçonnage) et correspondent à la libération de contraintes de croissance (bois "nerveux") ;
- Cadranure : la cadranure est un type de fente de cœur qui n'atteint pas la périphérie, mais qui est constituée de plusieurs fentes dans différents plans. Elle est également qualifiée de "cœur étoilé".

- Roulure : la roulure correspond à un décollement partiel ou total entre deux cernes de croissance voisins, le plus souvent à la limite entre le bois d'été et le bois de printemps. Les roulures remontent plus ou moins haut dans l'arbre et peuvent recouvrir toute la circonférence ou être seulement partielles. Ces deux paramètres, hauteur et circonférence, vont déterminer la gravité de la roulure. On soupçonne que des vents violents ou des grands froids seraient à l'origine de ce défaut. Les roulures s'accompagnent fréquemment de gélivures ;
- Gélivure : il s'agit d'une fente affectant le bois et l'écorce, dirigée suivant le plan radial de l'aubier vers le cœur et ayant une étendue notable sur la longueur de la grume. Comme son nom l'indique, la gélivure est provoquée par le gel dans les arbres sur pied ;
- Coup de foudre : le coup de foudre se manifeste par un sillon dans l'écorce qui part de la cime de l'arbre et peut descendre jusqu'au pied ;
- Fente de retrait : également qualifiées de gerces, les fentes de retrait correspondent à "des fentes étroites, orientées souvent en plan radial, dues à l'action du retrait, conséquence de la dessiccation" (NF B 50-002.106). Par opposition aux "fentes de cœur" (cf *supra*), les fentes de retrait partent de l'écorce.



FIG. F13: Photographie de roulure.

1.2.4 Altérations et dégradations

Altérations et dégradations sont le fait d'éléments externes au bois, que ce soient des champignons ou des insectes.

1.2.4.1 Le cœur brun

Le cœur brun est une altération du bois de Chêne qui est caractérisée par une décoloration anormale de tout ou partie du duramen ; Cette coloration, dont la responsabilité incombe à la *Fistuline hépatique*, n'entraîne pas de modification des propriétés du bois, mais elle a des conséquences importantes sur les propriétés esthétiques en raison de l'hétérogénéité de couleur qui en résulte.



FIG. F14: Photographie de cœur brun ([12]).

1.2.4.2 La pourriture

La pourriture est "une modification profonde de la composition chimique du bois, provoquée par des champignons, soit dans le bois sur pied, soit, au-dessus d'une certaine humidité, dans le bois en grume, débité ou mis en œuvre, se manifestant par un changement de consistance, accompagné d'un changement de coloration, et entraînant une modification importante des propriétés" ([1]).



FIG. F15: Photographie de pourriture blanche([12]).

1.2.4.3 Les trous d'insectes

Ce défaut correspond à une attaque des bois, sur pied ou abattus, par des insectes. Cette attaque peut être superficielle (petits trous de quelques millimètres et peu profonds) ou peut aller jusqu'à entraîner la mort de l'arbre. Ces trous d'insectes sont en outre des portes d'entrée potentielles pour différents champignons.



FIG. F16: Photographie de traces de galeries de larves([12]).

1.2.4.4 Autres dégradations

D'autres dégradations d'origine animale ou humaine peuvent survenir lors de la vie de l'arbre. Signalons par exemple les dégâts liés au feu, les blessures ou l'inclusion de corps étrangers.

Cette section a permis d'illustrer quelles sont les principales anomalies qu'il est possible de rencontrer sur le bois de Chêne. Ce relevé n'est pas exhaustif. Seules les anomalies les plus fréquentes et celles dont il sera fait mention dans le document ont été abordées. Nous renvoyons le lecteur aux ouvrages cités en références pour un balayage plus complet des défauts du Chêne.

La prochaine partie se propose d'étudier la façon dont les défauts sont pris en compte lors de l'évaluation de la qualité des grumes de Chêne. Pour évaluer cette qualité, le vendeur dispose en effet de normes qui permettent d'affecter à une grume une classe de qualité, le plus souvent sous la forme d'une lettre, en fonction de critères dimensionnels et de la présence et de la fréquence des défauts.

1.3 Règles de classements

Lors d'un échange commercial entre vendeur et acheteur, la qualité de la marchandise est jugée. Ce jugement peut être une estimation subjective des deux parties qui aboutit sur un consensus quant à la qualité et au niveau de prix de l'objet échangé. L'application de ce mode opératoire présente de nombreux inconvénients :

- le temps consacré à l'évaluation mutuelle des pièces est très important ;
- chaque pièce devenant unique, il n'est pas possible d'établir des grilles de prix ni même de comparer les prix obtenus entre différentes ventes ;
- ce système manque de transparence et peut être source de contestations ;
- en cas de litige, il n'y a aucune référence commune pour départager les parties en conflit.

Les normes de classement des bois proposent un cadre commun permettant de limiter le champ de l'évaluation subjective de la qualité pour entrer dans celui de la mesure objective. Le premier point (1.3.1) revient sur l'intérêt d'une telle démarche de classement.

Si la norme, une fois appliquée, ne permet plus de contestations entre l'acheteur et le vendeur quant à la qualité d'une grume, il faut néanmoins au préalable que ces derniers reconnaissent les critères des normes. L'objet de la discussion ne porte donc plus sur la qualité à attribuer à la grume, mais plutôt la classe de qualité à attribuer en fonction du défaut. La question soulevée ici, et qui est traitée dans la deuxième sous-partie (1.3.2), est celle de la genèse de la norme.

La troisième sous-partie (1.3.3) est un aperçu de l'évolution des normes de classement du bois de Chêne au cours du dernier demi-siècle. Ce chapitre se termine sur les normes actuellement en vigueur et le poids qu'elles accordent aux diverses anomalies (1.3.4).

1.3.1 Pourquoi normaliser les grumes ?

En 1985, le Conseil Supérieur de la Normalisation a défini une norme comme "une spécification technique établie avec la coopération et le consensus ou l'approbation générale de toutes les parties intéressées, fondée sur les résultats conjugués de la science, de la technologie et de l'expérience, visant à l'avantage optimal de la communauté, et approuvée par un organisme à activité normative" ([9]). Les normes sont avant tout des documents de référence qui ne revêtent un caractère obligatoire que dans le cas où la sécurité des personnes est en jeu. Néanmoins, les inconvénients de l'estimation subjective des bois soulevés en introduction de cette partie permettent de répondre, au moins partiellement, à la question de l'intérêt d'une norme. Il est important de souligner, d'après la définition précédente, que l'ambition d'une norme est de créer un langage commun entre les acteurs économiques, professionnels, consommateurs et pouvoirs publics ([130]). Le CTBA (Centre Technique du Bois et de l'Ameublement) est un des organismes-clefs dans la publication des normes actuellement en vigueur sur les grumes et le bois. Il indique que le classement des bois doit servir de base pour :

- avoir une meilleure connaissance du marché ;
- pouvoir comparer les prix ;
- gagner du temps dans les transactions par une meilleure connaissance de la qualité des bois et une meilleure description des lots ;

- mieux valoriser les produits par une démarche qualitative.

Ces quatre points peuvent être complétés par trois autres, évoqués par Picard [129], ([130],[131]) dans son dossier sur la normalisation des bois :

- lors de la signature de contrats d’approvisionnement, les normes peuvent servir de base pour les négociations ;
- en cas de litige lors d’une transaction commerciale, les normes servent de base juridique sur laquelle les parties peuvent s’appuyer ;
- elles peuvent enfin permettre de mesurer la qualité d’une ressource en place et de comparer cette qualité entre deux sites ou entre deux périodes (et ainsi évaluer les modes de gestion sylvicole).

Si, d’un point de vue théorique, le précédent exposé a mis en avant l’intérêt d’une norme, cet intérêt ne se transmettra à la pratique que si les différentes parties reconnaissent la validité et la praticité de la norme. Or, comme le souligne de Montgascon ([50]), il est à première vue très difficile de concilier l’univers de la normalisation et celui du bois à cause de l’opposition entre la rigueur des normes d’une part et la très forte hétérogénéité des produits d’autre part. La sous-partie suivante traite donc de la façon dont les normes ont été établies.

1.3.2 Genèse des normes appliquées aux grumes de Chêne

D’après une communication personnelle avec Alain Demange, directeur national du BNBA (Bureau de Normalisation du Bois et de l’Ameublement), "les principes servant de base à l’établissement des normes relèvent à la fois de la double prise en compte des réalités de terrain et des notions consensuelles. [...] La mise en place d’une norme relève d’une volonté d’un secteur à vouloir qu’un texte unique soit mis en application et soit reconnu comme la meilleure base possible. Ainsi, le Bureau de la Normalisation s’entoure de personnalités qui devront former une commission spécialisée où chacun, sur la base d’un texte dont l’origine est variable, apporte ses éléments. A l’issue de débats et d’une enquête officielle, un texte est publié".

Dans le cadre de la norme française de classement des bois ronds feuillus établie au début des années 90 ([44]), le groupe de travail "Chêne" était ainsi constitué de membres du CTBA, de l’ONF, de l’AFIEB (Association Française des Ingénieurs Experts en Bois), de l’UNICOF (Union des Coopératives Forestières) mais également de premiers transformateurs du Chêne (Ets Aufanne, Ducerf, Ober, Ollier, Pangault et Tartaret).

Lors de l’établissement de cette norme, ce sont les usages qui ont prévalu. Cela montre que les normes actuelles ne sont pas des créations de toutes pièces. Il existait localement des normes de classement, et une habitude de classement parfois très ancienne comme dans le cas des départements d’Alsace et de la Moselle qui ont hérité ce mode de gestion des bois de la période d’annexion par l’Allemagne. Les normes en vigueur sont donc une évolution et une homogénéisation de ces règles locales. La partie suivante revient sur l’évolution récente de ces normes.

1.3.3 Évolution des normes de classement des grumes de Chêne des années 1970 à nos jours

Comme souligné précédemment, les règles de classification des bois ronds telles qu'elles sont présentées aujourd'hui sont le fruit d'une évolution continue. En 1968, la CEE (Communauté Économique Européenne) émettait une directive destinée à proposer une classification pour la commercialisation des bois bruts ([132]). Ce texte était le premier proposant une homogénéisation des différentes normes locales. Cependant, cette norme (Annexe A) ne définissait pas de critères précis pour mesurer la qualité des bois. Par exemple, pour être classée en A, une grume devait, entre autres, présenter une couleur claire, avoir un grain fin et avoir une très bonne rectitude. D'autres notions comme "centré si possible", "admis si bien situés", "admise si centrale" ont entraîné des contradictions entre acheteurs et vendeurs et cette norme n'a jamais été adoptée par la profession.

Cela n'a pas pour autant mis un frein au classement des bois, qui se poursuivait avec des normes locales évoluant indépendamment. Citons par exemple la norme présentée par Martin (*in* [12],[112]) à la division ONF de Saverne (Annexe A). Il est intéressant de souligner une évolution par rapport à la précédente norme dans la quantification apportée aux critères cités ci-dessus. "Légère" pour la fibre torse signifie inférieure à 3 cm par mètre, "bien situés" pour des nœuds sains veut dire espacés d'au moins 2,20 mètres et situés sur un seul plan.

Il est cependant important de noter que l'objectif des classements n'est alors pas de mesurer la qualité, mais de déterminer le plus exactement possible quelle sera pour chaque essence son utilisation optimale ([112]). Les classes de qualités sont donc à l'époque des classes d'utilisation : P, comme placage, pour le tranchage, A pour l'ébénisterie, B pour la menuiserie fine. Des classes intermédiaires comme AP ou BP correspondent à des grumes de catégorie A ou B partiellement utilisables en tranchage. Les grumes C sont destinées au sciage dit secondaire (parqueterie, charpente). Enfin la lettre S correspond à une grume qui a les mêmes caractéristiques que la C mais qui est issue de la surbille.

Classer la grume suivant sa destination finale présente de nombreux inconvénients. Ce système exclut *a priori* la possibilité pour une grume de convenir à plusieurs utilisations. Il s'agit pour le CTBA d'une inexactitude puisque l'utilisation dépend, outre de la qualité de la grume, d'éléments aussi variables que le marché ou l'évolution de la technologie. En outre, d'un point de vue économique, la politique visant à attribuer une classe à une utilisation limite les effets de concurrence des différentes familles d'acheteurs et augmente le risque de création d'ententes entre professionnels d'un même secteur afin de faire diminuer les prix des bois. Or, dans l'optique d'une meilleure valorisation de la production forestière, le classement des bois ronds doit être indépendant de l'utilisation finale des bois.

Les professionnels de la filière bois ont donc entrepris une nouvelle démarche de normalisation à l'échelle du territoire français dès 1988. Cette concertation a abouti à la norme française B-53-302 (*in* [44]). Cette norme a été remplacée ensuite par la norme européenne EN 1316-1 en 1997 ([2]) (confirmée en 2002 avec révision possible en 2007). Le texte français a été en grande partie repris mais des compromis ont été concédés pour tenir compte des habitudes des marchés dans les différents pays.

Qu'en est-il de l'accueil réservé à ces différentes normes par les professionnels forestiers et

industriels français ? Il est tout d'abord utile de rappeler que la mesure de la qualité des bois selon les normes ne peut se faire que sur des arbres abattus et façonnés. En France, la majorité des arbres est vendue sur pied et le classement et le tri des grumes en lots de qualité homogène ne concerne que 20% des volumes de Chêne ([7]). Lors des différentes ventes auxquelles nous avons participé, en Allemagne ou en Moselle, ce sont des normes locales qui étaient encore utilisées. En discutant avec divers professionnels de la filière, ceux ne fréquentant pas les ventes bord de route n'étaient pas familiers des règles de classement. En Moselle, département ayant conservé un mode de vente des bois en bord de route, la norme appliquée est la norme ONF Moselle de 1992. Cette dernière est très proche de la norme AFNOR de 1991. Contrairement à la norme européenne de 1968, elle est bien acceptée et remplit pleinement son rôle de langage commun entre acheteurs et vendeurs puisqu'il existe une bonne adéquation entre les prix obtenus lors des différentes ventes et le classement des bois ([29], [31]). La norme européenne ne fait quant à elle pas l'unanimité car, à force de concessions, elle a abouti à définir des classes de qualité trop larges (annexe A). La classe de qualité D notamment admet tous les défauts alors que les autres normes utilisées excluent de cette qualité D les trop mauvaises grumes qui sont vendues sous forme de contrat d'approvisionnement en bois de trituration ou bois de chauffage.

L'objet n'est pas ici de juger de la pertinence ou non des normes de classement mais bien de rechercher parmi les outils actuels comment évaluer l'impact des différentes anomalies du bois Chêne. Les normes étant issues d'échanges, de débats et de synthèses entre différents professionnels, elles constituent une première piste à explorer pour répondre à la problématique de la thèse. La prochaine sous-partie (1.3.4) réalise un premier classement des défauts suivant l'importance qui leur est donnée au sein des normes existantes.

1.3.4 Mesure de l'importance des défauts via les normes

Comme indiqué dans la partie précédente, plusieurs normes sont en application. Afin de réaliser l'exercice énoncé dans le titre de cette partie, nous allons nous appuyer sur deux normes. La première est celle officiellement en usage, c'est-à-dire la norme européenne EN 1316-1 ([2]). La seconde est la norme ONF Moselle car d'une part elle est encore en utilisation, et d'autre part elle est reconnue par de nombreux professionnels de la filière.

Avant de regarder spécifiquement l'impact des anomalies, il est bon de rappeler que les deux normes proposent quatre classes de qualité qui sont, par ordre décroissant, A, B, C et D. En plus de la présence et de la fréquence des défauts, des critères dimensionnels interviennent dans ce classement (tableau T1).

A partir des deux normes, il s'agit à présent d'établir un classement d'importance des défauts. Ce classement est réalisé selon que le défaut est admis (\checkmark), admis sous conditions (SC) ou bien exclu (\times). Les deux tableaux suivants (T2 et T3) correspondent respectivement aux classements obtenus avec la norme européenne et la norme Moselle.

La comparaison des deux tableaux (T2) et (T3) montre que, globalement, il y a un certain consensus sur l'importance à accorder aux défauts. Parmi les moins importants, nous retrouvons dans les deux cas les accroissements, le méplat, l'excentricité, la largeur d'aubier, la couleur. La courbure et le fil tors peuvent également être acceptés sous conditions dans les meilleures qualités tout comme les singularités sur écorce saines (noeuds sains, roses, picots). Les défauts les plus

Qualité	Critère	Norme européenne	Norme Moselle
A	Longueur	3 m réelle, 2 m fictive	2,5 m
	Diamètre	45 cm fin bout sur écorce	40 cm médian sous écorce
B	Longueur	3 m réelle, 2 m fictive	3 m
	Diamètre	35 cm fin bout sur écorce	35 cm médian sous écorce
C	Longueur	3 m réelle, 2 m fictive	2 m
	Diamètre	20 cm fin bout sur écorce	30 cm médian sous écorce
D	Longueur	2 m	sans limite
	Diamètre	30 cm fin bout sur écorce	sans limite

TAB. T1: Critères dimensionnels requis lors des classements du Chêne suivant la norme européenne EN 1316-1 de 1997 et la norme Moselle de 1992.

La découpe est dite "réelle" lorsque la grume est effectivement tronçonnée entre deux qualités distinctes, et "fictive" quand la longueur d'une qualité est simplement mesurée sans être coupée du reste de la grume.

Groupe	Défaut	Qualité A	Qualité B	Qualité C	Qualité D
1	Accroissements	SC	✓	✓	✓
	Couleur	SC	✓	✓	✓
	Méplat	SC	✓	✓	✓
2	Fentes et gerces de retrait	×	✓	✓	✓
3	Picot	SC	SC	✓	✓
	Rose	SC	SC	✓	✓
	Broussin	SC	SC	✓	✓
	Nœud sain	SC	SC	✓	✓
	Fil tors	SC	SC	✓	✓
	Excentricité	SC	SC	✓	✓
	Fente de cœur simple	SC	SC	✓	✓
	Largeur d'aubier	SC	SC	✓	✓
	4	Taches et veines de cœur	×	SC	✓
5	Courbure	SC	SC	SC	✓
6	Cœur étoilé	×	SC	SC	✓
	Roulure	×	SC	SC	✓
	Nœud pourri	×	SC	SC	✓
7	Cœur brun	×	×	✓	✓
8	Trous de vers	×	×	SC	✓
9	Pourritures molles	×	×	×	✓
	Gélivure	×	×	×	✓
	Lunure	×	×	×	✓

TAB. T2: Classement des défauts de grume de Chêne par ordre croissant d'importance en fonction de la norme européenne EN 1316-1 de 1997.

"✓" : admis, "SC" : admis sous conditions, "×" : rejeté.

graves sont ceux portant atteinte de façon importante au matériau, que ce soit par rupture (coup de foudre, roulure, fentes multiples) ou par dégradation (dégats d'insectes, pourriture, feu). Les différences résident dans la sévérité de la norme, à savoir un déclassement plus sévère pour la norme Moselle. Par exemple, pour la qualité C, les défauts liés aux singularités sur écorce sont admis sous condition alors qu'ils sont tolérés d'après la norme européenne. Il existe quelques

Groupe	Défaut	Qualité A	Qualité B	Qualité C	Qualité D
1	Accroissements	SC	✓	✓	✓
	Méplat	SC	✓	✓	✓
	Excentricité	SC	✓	✓	✓
2	Gale du Chêne	×	✓	✓	✓
3	Largeur d'aubier	SC	SC	✓	✓
	Couleur	SC	SC	✓	✓
	Lunure	SC	SC	✓	✓
	Courbure	SC	SC	✓	✓
	Fentes de retrait	SC	SC	✓	✓
	Corps étranger	SC	SC	✓	✓
4	Excroissance	×	SC	✓	✓
	Fente de cœur simple	×	SC	✓	✓
5	Gélivure	×	×	✓	✓
	Fente d'abattage	×	×	✓	✓
	Cœur rouge	×	×	✓	✓
	Aubier pourri	×	×	✓	✓
	Blessure cicatrisée	×	×	✓	✓
	Côté sec	×	×	✓	✓
6	Nœud sain	SC	SC	SC	✓
	Picot	SC	SC	SC	✓
	Rose	SC	SC	SC	✓
	Broussin	SC	SC	SC	✓
	Fil tors	SC	SC	SC	✓
7	Nœud pourri	×	SC	SC	✓
8	Trou d'insectes	×	×	SC	✓
9	Fentes de cœur multiples	×	×	×	✓
10	Roulure	×	×	×	×
	Coup de foudre	×	×	×	×
	Pourritures	×	×	×	×
	Surface carbonisée	×	×	×	×

TAB. T3: Classement des défauts par ordre croissant d'importance en fonction de la norme Moselle de 1997.
 "✓" : admis, "SC" : admis sous conditions, "×" : rejeté.

défauts ayant un classement en apparence vraiment différent. C'est par exemple le cas de la lunure, acceptée sous condition dans la qualité A pour la norme Moselle, mais entraînant un déclassement en qualité D pour la norme européenne. Il faut alors regarder de plus près la condition d'acceptation de ce défaut : la norme Moselle indique en effet de ne prendre en compte dans le cubage que le volume de bois à l'intérieur de la lunure.

1.4 Conclusion

L'objet de cette première partie était de nous familiariser avec le vocabulaire lié aux anomalies du bois et de réaliser une présentation de ses différentes singularités. La dernière sous-partie revient enfin sur la façon dont les défauts sont pris en compte à l'heure actuelle par les forestiers, c'est-à-dire au travers des normes de classement. L'analyse de ces normes ne nous permet de répondre que partiellement à la problématique de notre thèse. En effet, si l'on considère comme acceptables les défauts admis ou admis sous condition en qualité A, il y a 14 ou 10 défauts, selon la norme employée et il n'est pas possible de les hiérarchiser.

Afin de hiérarchiser les défauts, nous devons donc disposer d'un moyen de mesurer leur impact plus précisément que par ce système de classement (A, B, C, D). Nous avons signalé précédemment qu'il existerait une très bonne corrélation entre ces classes de qualité et les prix atteints lors de ventes aux enchères. L'idée est donc à présent de voir si, à une échelle plus fine que la classe de qualité, à savoir celle de la qualité individuelle de la grume, il est possible de relier le prix obtenu aux singularités présentes. La chute de prix liée à la présence d'une singularité permettrait alors de réaliser un classement d'importance des défauts.

Chapitre II : Singularités et prix des bois

SELON Johnson ([98]) la valeur des bois, c'est-à-dire le prix qu'un acheteur est prêt à payer est directement liée à leur qualité. Le prix payé par cet acheteur est lui-même lié aux caractéristiques définissant la qualité finale des produits issus de ce bois. Le prix payé pour satisfaire une utilisation particulière est ainsi une mesure de la qualité.

L'objet de ce chapitre est donc de relier le prix des grumes à leurs caractéristiques individuelles, qu'elles soient dimensionnelles (diamètre, longueur, volume) ou bien liées aux singularités qui ont été présentées dans le chapitre 1. L'enjeu est donc de mesurer l'importance relative des dites caractéristiques puis de les classer en fonction de la chute de prix qu'elles induisent. La démarche de ce chapitre part du général, les prix du bois dans la littérature forestière, vers le particulier, le prix de la grume individuelle.

La section 1, aborde à travers une revue bibliographique les modes d'estimation des prix des bois par les forestiers.

La section 2 s'intéresse aux principaux résultats d'une vente de bois sélectionnée comme une source potentielle d'informations utiles à la problématique de notre travail.

L'étude se focalise ensuite sur les grumes vendues individuellement au cours de cette vente. Il est pour cela nécessaire de présenter le protocole permettant d'avoir accès aux caractéristiques individuelles des grumes, ce qui est fait dans la section 3. Dans ce chapitre, nous exposerons également deux façons de mesurer l'impact des défauts via les prix des bois, la première utilisant des techniques de régressions linéaires multiples, la seconde s'appuyant sur les forêts aléatoires de régression.

Enfin la section 4 synthétise les résultats et revient sur les points forts et les limites de cette première partie.

1

Prix des bois du côté de la littérature forestière

Sommaire

1.1	Formation et variabilité des prix : quelques éléments de micro-économie	26
1.1.1	Le prix est déterminé par la loi de l'offre et de la demande	26
1.1.2	Variations de prix consécutives à un changement de l'offre	27
1.1.3	Variations de prix consécutives à un changement de la demande	27
1.2	Prise en compte de la variabilité des prix dans le domaine forestier	28
1.2.1	Observations de la variabilité des prix dans le temps, dans l'espace, entre sites et entre arbres	28
1.2.2	Modes d'estimation des prix des bois	31
1.2.3	Étude des prix par modélisation	33
1.2.4	Bilan et conséquences pour notre étude	35

AVANT d'utiliser le prix comme indicateur de la qualité des grumes, nous allons au cours de cette section revenir sur la notion de prix au travers d'une présentation rapide d'éléments de micro-économie. Nous verrons par la suite comment les prix des grumes sont appréhendés dans le milieu forestier, que ce soit de simples constatations, des estimations ou bien même des modélisations.

1.1 Formation et variabilité des prix : quelques éléments de micro-économie

1.1.1 Le prix est déterminé par la loi de l'offre et de la demande

D'après la théorie micro-économique, et notamment les travaux de Marshall ([156]), le prix est déterminé comme un équilibre entre l'offre et la demande ([131]). Cette notion est couramment illustrée par la figure (F17) ([101], [132]).

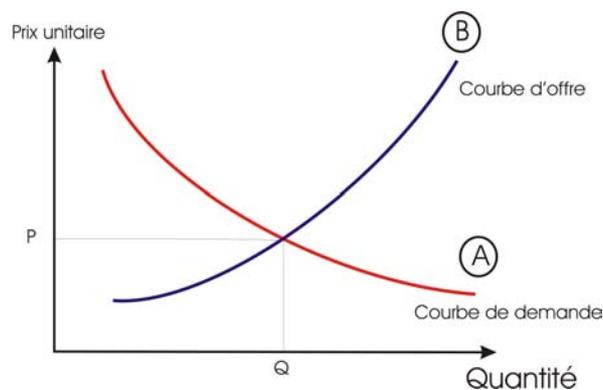


FIG. F17: Courbes de l'offre et de la demande, d'après ([131]).

A : Courbe de demande, B : Courbe d'offre, P : prix unitaire au point d'équilibre et Q : quantité échangée au point d'équilibre.

L'axe des abscisses correspond à la quantité totale d'un bien échangé et celui des ordonnées au prix unitaire auquel cet échange est réalisé. La courbe A, décroissante, représente la relation entre le prix et la quantité totale demandée par l'acheteur potentiel (consommateur, entreprise, ...). La décroissance de la courbe s'explique par le fait que, lorsque le prix augmente, la quantité totale que les acheteurs souhaitent ou peuvent acquérir diminue.

La courbe B traduit la relation entre le prix du bien et la quantité totale du bien offerte par

les entreprises. Plus le prix est important, plus la quantité de bien que souhaitent produire les entreprises est importante.

Le point d'intersection des courbes est appelé "point d'équilibre". Il prévoit la quantité et le prix du bien échangé. Les courbes d'offre et de demande peuvent être sujettes à de nombreuses modifications qui vont faire varier ce point d'équilibre, rendant ainsi les prix très variables.

1.1.2 Variations de prix consécutives à un changement de l'offre

Dans le domaine forestier, la courbe d'offre peut fluctuer suivant la politique forestière ou les aléas climatiques. Une tempête ou une politique de coupe plus prononcée, va entraîner une augmentation de l'offre et donc un déplacement de la courbe vers la droite comme sur la figure (F18).

Dans le cas particulier d'une seule vente, l'offre peut être considérée comme constante et le prix n'est plus alors fonction que de la demande. On parle d'offre inélastique : cela se traduit graphiquement par une droite verticale (courbe C de la figure F18).

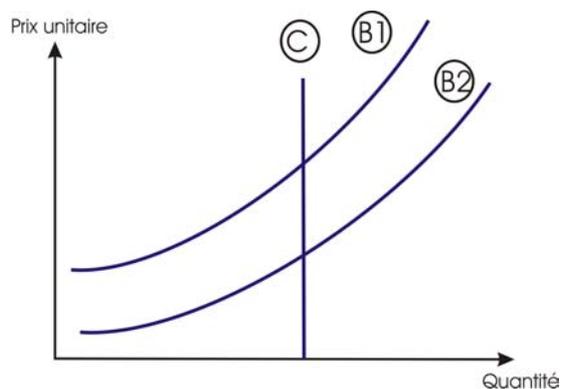


FIG. F18: Variations des prix consécutives à des modifications de l'offre et de la demande ([131]).

B1 → B2 : modification de la courbe de l'offre suite à augmentation de cette dernière. C : Courbe d'offre inélastique.

1.1.3 Variations de prix consécutives à un changement de la demande

La courbe de demande subit elle aussi de nombreuses variations. Les paramètres pouvant l'influencer dans le domaine forestier sont les suivants ([132]) :

- l'essence forestière considérée ;
- l'âge et les dimensions des arbres ;
- la qualité des arbres ;
- le site (type de sol, climat, histoire) ;
- la concurrence des autres entreprises et notamment celles des entreprises locales ;
- la concurrence des autres produits (complémentaires ou de substitution) ;
- l'accessibilité ou l'éloignement du site regroupant les grumes vendues.

Tous ces facteurs vont modifier les équilibres et jouer sur les prix des bois. Cependant, suivant le contexte de l'étude ou de l'observation, certains paramètres seront négligeables par rapport à d'autres. La compréhension des fluctuations des prix des bois, aussi complexes soient-elles, est un élément-clé de la gestion d'un patrimoine forestier. Nous allons voir à présent comment cette variabilité des prix peut être appréhendée.

1.2 Prise en compte de la variabilité des prix dans le domaine forestier

La variabilité des prix peut être appréhendée suivant trois axes. Le premier est une observation des prix atteints et une comparaison de ces prix en fonction du temps, du lieu ou de l'arbre. Le deuxième axe quant à lui propose, connaissant les caractéristiques des bois, de réaliser une estimation de leur prix en fonction de résultats observés de ventes. Le troisième axe propose enfin de chercher à comprendre les déterminants des prix des bois grâce à une démarche de modélisation. Ces trois axes, allant de l'observation à l'explication vont être abordés successivement. Pour chacun d'entre-eux, nous partirons du général (les prix des bois) pour aller vers le particulier, à savoir le prix de la grume individuelle, si possible de Chêne, en fonction de ses caractéristiques intrinsèques. Ce prix est en effet notre variable d'étude dans cette première partie de la thèse.

1.2.1 Observations de la variabilité des prix dans le temps, dans l'espace, entre sites et entre arbres

1.2.1.1 Variation des prix dans le temps

Lorsque l'on s'intéresse à la variation des prix dans le temps, l'offre varie selon l'approvisionnement des marchés et la demande va dépendre de l'évolution technologique des entreprises de transformation, des frais de transport et de commercialisation ([11]), des cours des matières premières concurrentes ainsi que ceux des produits finis ([98]).

Cette variabilité des prix au cours du temps peut être illustrée par les travaux de Soulère ([149], [150]). Celui-ci s'est intéressé à l'évolution des prix des bois sur pied de 1950 à 1995. La figure (F19), qui concerne les grumes de Chêne, permet de constater la forte variation des prix dans le temps.

1.2.1.2 Variation des prix en fonction de l'origine géographique

En complément de la variabilité temporelle, illustrée précédemment, abordons à présent la variabilité spatiale. Suivant le pays, la région ou même le département d'origine, les prix du bois de Chêne peuvent varier.

Dans son étude sur le prix des chênes de qualité "tranchage", Demarcq ([53]) a noté une grande variation des prix en fonction du site (tableau T4). Entre les Pyrénées Atlantiques et l'Indre par exemple, il a ainsi constaté des prix allant de 1 800 F/m³ à 3 500 F/m³.

Bourcet ([21]), a indiqué les cours moyens obtenus lors des ventes de Chêne dans les principaux

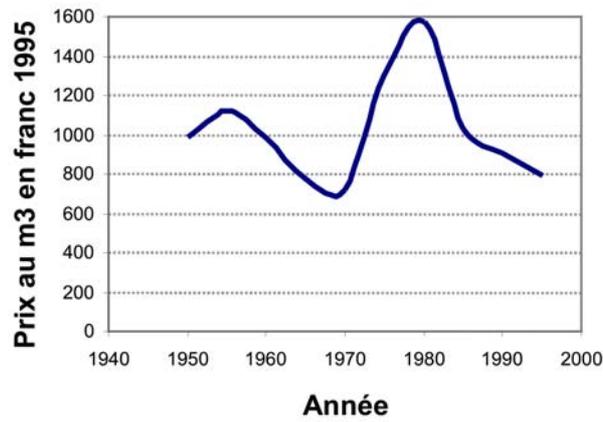


FIG. F19: Évolution des prix moyens du Chêne de futaie sur pied en francs 1995 par m^3 de 1950 à 1995, d'après ([149]).

Lieu	Cher	Indre	Indre-et-Loire	Loir et Cher	Loiret	Eure-et-Loir	Pyrénées Atlantiques
Prix (F/ m^3)	2 700	3 600	3 500	2 650	2 400	1 850	1 800

TAB. T4: Prix moyens des grumes de Chênes de qualité "tranchage" en forêt soumise selon ([53]), 1981.

départements producteurs, indications que nous avons fait figurer sur une carte de France (F20). Tout comme dans le cas de Demarcq, il est possible de retrouver une forte variabilité des prix en fonction des régions.

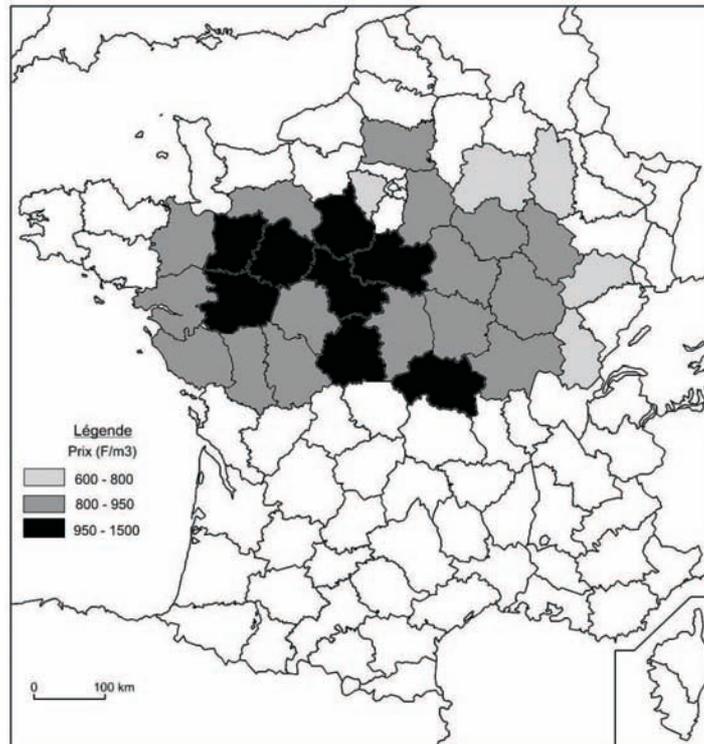


FIG. F20: Prix unitaire par département des grumes de Chêne sur pied de 50 cm de diamètre et plus atteint lors des ventes d'automne 1999, selon ([21]).

1.2.1.3 Variations des prix en fonctions des caractéristiques du site

Resserrons encore l'échelle d'étude en étudiant comment peuvent varier les prix au sein d'un même massif forestier. D'après Bary-Lenger et al. ([11]), le type d'humus, la profondeur du sol et le régime sylvicole du peuplement expliquent près de 40% de la variabilité des prix des bois. Par ailleurs, il est indiqué dans ([10]) que les prix peuvent également varier en fonction des difficultés d'exploitation.

Soulère ([149]) a indiqué que les prix des Chênes de futaie et ceux de taillis-sous-futaie varient de façon similaire au cours du temps, avec une différence de prix pouvant aller, suivant les dimensions, de +30% à +50% en faveur du Chêne de futaie. Il a également souligné la différence entre les types de propriétaire des forêts et constate une plus forte volatilité des prix pour les forêts privées.

1.2.1.4 Variation des prix entre les arbres

Le dernier niveau de variation des prix concerne la variation de prix qu'il est possible de constater lors d'une vente entre deux arbres voisins. Bary-Lenger *et al.* ([10]) ont indiqué que le prix dépend de la dimension des grumes et de leurs défauts, toutes caractéristiques qui conditionnent le mode de transformation industrielle des bois et la valeur des produits qui en résultent.

Ces différentes études nous confirment que les prix sont déterminés non seulement par des caractéristiques intrinsèques à l'arbre (dimension, qualité) mais aussi par des facteurs externes liés à l'acheteur (éloignement, type de production, technicité, concurrence) qui vont déterminer son prix. Les prix présentent également de fortes variations en fonction du lieu et du moment de l'étude. Afin de limiter au maximum ces deux derniers effets dans le cadre de notre étude, nous sommes concentré sur le cas d'une seule vente (unité de temps et de lieu).

1.2.2 Modes d'estimation des prix des bois

Dans un but d'achat, de vente ou simplement afin de connaître ses prix de revient ou de faire des calculs de marge brute, il est nécessaire d'estimer le prix de la matière première. Ceci est possible au cours des ventes de bois. La principale difficulté pour réaliser une telle estimation réside dans le fait que les bois sont généralement vendus sous forme de lots, un lot étant un regroupement de grumes hétérogènes en termes de dimensions, de qualité voire même d'essence ([29], [33]). Comment alors réaliser l'estimation du prix des bois ? D'après ce que nous venons de décrire, il semblerait que chaque pièce soit unique, donc un prix global n'aurait que peu de sens. En appliquant les normes décrites précédemment et en utilisant des critères dimensionnels, il est néanmoins possible de définir des catégories de produit dont il est important, pour les raisons citées ci-dessus, de connaître la valeur.

A propos du Chêne, Duplat ([59]) et Dassonville ([46]) ont défini les différentes catégories de produits en fonction du diamètre de l'arbre et ils présentent alors plusieurs méthodes utilisées pour estimer le prix de ces catégories tout en connaissant les résultats de la vente :

1. la première méthode consiste en une régression linéaire multiple à partir des prix de vente des lots. Elle évalue le prix au m³ de chaque catégorie en postulant que le prix des lots est la somme du montant de chaque catégorie ;
2. la seconde méthode s'appuie sur l'estimation de prix que le vendeur fait avant la vente pour chaque catégorie dans chaque lot. Cette estimation est corrigée du rapport (Prix de vente observé/Prix estimé avant la vente). Le prix au m³ de chaque catégorie est alors une moyenne des différentes estimations corrigées. Cette méthode étant très dépendante des estimations initiales, il est possible de la faire fonctionner "en boucle" en utilisant chaque fois comme estimations les résultats du calcul précédent jusqu'à ce qu'elles convergent vers un jeu de valeurs limites ;
3. la troisième méthode propose d'évaluer le prix des catégories à partir de la vente de lots quasi-exclusivement composés d'une catégorie donnée, et dont on défalque l'estimation (vendeur) des catégories marginales. Le prix unitaire moyen de la catégorie est alors calculé comme une moyenne, pondérée par le volume, des prix unitaires moyens par lot de

l'échantillon considéré. Comme précédemment, il est possible d'itérer cette méthode en utilisant comme estimation des prix les résultats de l'itération précédente. Cette méthode n'est applicable que dans le cas où il existe suffisamment de lots homogènes en termes de catégorie.

Nous avons évalué, grâce à des simulations, la performance de ces différentes méthodes sur l'estimation de catégories de bois définies comme la combinaison d'une classe de qualité et d'une classe de diamètre ([31]). Les deux premières présentent un RMSPE⁶ d'environ 15% et la dernière de 122%⁷.

Cette forte variabilité entraîne dans la pratique une estimation des prix à dire d'expert, sous forme de fourchettes de prix ou de valeurs arrondies au dernier chiffre significatif. Les catégories sont généralement le croisement de critères dimensionnels et qualitatifs (ces derniers fréquemment appelés "choix"). Ces estimations servent à la publication des cours des bois dans les revues professionnelles ([35], [125], [136], [137], [139]). A titre d'illustration, nous avons reproduit deux d'entre-elles dans les tableaux (T5) et (T6).

	Diamètres en cm, mesurés à 1,50m du sol				
	36>45	46>55	56>65	66>80	80 et+
Choix 1	35 à 110 €	80 à 165 €	205 à 230 €	155 à 250 €	200 à 350 €
Choix 2	20 à 45 €	40 à 90 €	55 à 120 €	100 à 155 €	100 à 180 €
Choix 3	10 à 30 €	20 à 40 €	30 à 45 €	35 à 60 €	45 à 70 €

TAB. T5: Cours indicatifs du Chêne sur en €/ m³ réel sur écorce en 2004, d'après ([35]).

Qualité	Longueur minimale	Diamètre	Défauts	Utilisation	Prix en €/m ³
A	3m	55 et +	⊗	Tranchage 1 ^{er} choix	440 et +
A	3m	50 et +	⊗	Tranchage 2 ^e choix	330 et +
B	3m	50 et +	⊙	Plot pour ébénisterie	310 et +
B	1,2m	50 et +	⊙	Merrain	130 à 300
B	3m	50 et +	⊙*	Plot pour menuiserie	220
C	3m	45 et +	⊙ ⊙	Plot dépareillé	115
C	2m	35 et +	⊙ ⊙	Avivés	57 à 70
C	3m	40 et +	⊙ ⊙	Charpente	63
C	3m	40 et +	⊙ ⊙	Châssis	35
D	2m	30 et +	⊙ ⊙ ⊙	Traverse	17
D	1,5m		⊙ ⊙ ⊙	Palette	6

TAB. T6: Cours du Chêne sur pied en 2006 d'après ([139]).

⊗ : défauts exclus, ⊙ : légers défauts tolérés, ⊙ ⊙ : quelques défauts acceptés, ⊙ ⊙ ⊙ : nombreux défauts acceptés, * : (courbure, noeuds).

⁶Root Mean Square Percentage Error

⁷Ces résultats différents ont été obtenus pour un jeu de prix simulé donné. Rien ne garantit que d'autres jeux de prix aboutiraient aux mêmes valeurs

1.2.3 Étude des prix par modélisation

En plus de l'estimation des prix, la modélisation vise à mesurer les effets des différents facteurs agissant sur les prix. Suivant la question précise à laquelle se propose de répondre le modèle, l'accent est porté sur l'un ou l'autre des facteurs présentés précédemment. Nous allons dans cette section faire une rapide revue bibliographique des démarches de modélisation des prix en donnant l'exemple de modélisations de prix en fonction du temps, en fonction des caractéristiques dimensionnelles et qualitatives de l'arbre et, enfin, en fonction des défauts présents sur les grumes ou les arbres.

1.2.3.1 Prise en compte des variations temporelles

Bourcet ([20]) a relié le prix du Sapin sur pied au cours des sciages obtenus, au coût de la mobilisation⁸, mais également au cours du Sapin de l'année antérieure. Sur une étude couvrant une trentaine d'années, il a obtenu la relation (E 2) avec un R^2 de 0,95.

$$P_n = -51,302 + 0,453.C - 0,482.M + 0,215.P_{n-1} \quad (\text{E } 2)$$

Avec :

n : année d'étude;

P : prix unitaire en Fr/m³;

C : coût de la charpente en Fr/m³;

M : coût de la mobilisation en Fr/m³.

Toujours à propos des conifères, Miltin ([116]) a indiqué que la croissance économique et démographique, les évolutions des produits de substitution, la concurrence des nouveaux produits ainsi que le développement des technologies dans les entreprises de transformation des grumes influent sur le cours des bois. Dans sa démarche de modélisation, il prend en compte l'effet des variations dans le temps en estimant une constante différente par année puis en regroupant par la suite les années consécutives pour lesquelles les constantes ne sont pas significativement différentes.

Ces études confirment que, dans notre cas, comme il s'agit d'une première approche relative au Chêne, il vaut mieux travailler sur une échelle de temps réduite afin de limiter au maximum les variations de prix non liées aux singularités. Cependant, des travaux de modélisation de ce type nous permettrait par la suite de prendre en compte simultanément des données sur une plus longue période de temps si cela s'avère nécessaire.

1.2.3.2 Prise en compte des caractéristiques dimensionnelles et qualitatives de l'arbre

En ce qui concerne l'effet des caractères intrinsèques à l'arbre, Knoke *et al.* ([101]) ont souligné que les analyses économétriques des prix avec la qualité des grumes comme variable explicative

⁸Coûts d'abattage, de débardage et de transport

sont relativement rares. Leur article présente un modèle de prix pour les grumes de Hêtre de bonne qualité. Le prix du bois est modélisé en deux phases. La première phase consiste à modéliser la préférence des utilisateurs (E 3). Cette préférence est définie comme le produit du volume de la grume par le nombre de soumissions pour cette grume. La modélisation prend en compte sous forme de modèle linéaire les critères dimensionnels et qualitatifs.

$$\text{Préférence} = f(\text{Dimensions}, \text{Singularités}) \quad (\text{E } 3)$$

Le prix est ensuite modélisé comme une fonction de cette préférence et de la quantité de grumes mises en vente (E 4).

$$\text{Prix} = f(\text{Préférence}, \text{Quantité}) \quad (\text{E } 4)$$

Cette modélisation en deux étapes a permis d'augmenter le pourcentage de variance expliquée de 0,29 pour le modèle linéaire simple (prix=f(défauts)) à 0,67 et de diminuer le RMSE⁹ de 57,8 à 38,40 €/m³. Le modèle ainsi estimé permet de classer par ordre d'importance les défauts du Hêtre. Le classement final, par ordre décroissant d'importance, est le suivant : cœur rouge, fil tors, courbure, rugosité de l'écorce et fente de cœur.

De notre côté, nous avons montré au cours d'un travail de DEA ([29], [30]), que le prix obtenu pour des grumes de Chêne lors de ventes en régie peut s'expliquer par la classe de qualité, la dimension des grumes et la composition des lots (voir partie II.2.3.4.2).

1.2.3.3 Prise en compte des singularités

En dehors des travaux de Knoke *et al.* ([101]), les approches présentées ci-dessus permettent de réaliser un lien entre le prix des bois et une note synthétique liée à la qualité. Dans le cas du Chêne, la liaison entre le prix et les défauts a été réalisée de façon ponctuelle, soit pour une utilisation spécifique, soit en ne considérant qu'une seule singularité.

Göttlein ([79]) s'est intéressé au prix des grumes de chênes de tranchage en fonction des dimensions, des caractéristiques du site et de la qualité du bois. A partir de régressions multiples, il est ainsi parvenu à expliquer 40% de la variabilité des prix. Suivant les analyses, les dimensions de l'arbre vont jouer pour 22 à 31% du prix, l'effet du site pour 2 à 7 % et l'effet des défauts pour 10 à 15%.

Mather et Sawill ([114]) se sont intéressés quant à eux à l'impact des fentes en bout de grumes sur le commerce des chênes au Royaume-Uni. A partir d'une enquête, ils ont déterminé qu'en moyenne le revenu est de £19m³ pour des arbres fendus contre £51m³ pour des arbres sains, avec une diminution de cette valeur s'ils sont suspectés de provenir de sites sensibles aux fentes.

Flot, Klumpers et Janin ([70], [91], [100]) ont travaillé sur l'incidence économique de la couleur du bois de Chêne. A partir des variables de couleur, Klumpers arrive à expliquer 28% de la

⁹Root Mean Square error

variabilité des prix observés sur 19 grumes (le R^2 passe à 75% avec le diamètre, la longueur et la largeur de cerne). Flot indique quant à lui des variations de prix allant du simple au triple en fonction de la classe de luminance.

Les parties II.1.2.3.2 et II.1.2.3.3 permettent de mettre en évidence qu'il est possible de relier le prix aux caractéristiques individuelles de la grume. Les études entreprises en ce sens sont cependant assez rares, surtout en ce qui concerne le Chêne. De plus, pour la plupart d'entre elles, il s'agissait généralement de mesurer les conséquences d'une singularité en particulier plutôt que des impacts relatifs d'un groupe de défauts, comme nous proposons de le faire dans ce document.

1.2.4 Bilan et conséquences pour notre étude

Le prix d'une marchandise est une variable résultant d'un équilibre entre l'offre et la demande. De nombreux facteurs vont perturber et modifier cet équilibre, ce qui fait du prix une grandeur extrêmement variable. Il est cependant possible de réduire cette variabilité en précisant le cadre de l'étude, que ce soit dans le temps ou dans l'espace.

Ce qui nous intéresse dans ce travail est non pas d'étudier le prix du Chêne et ses variations, mais bien d'utiliser ce prix comme une mesure de la qualité des arbres. Afin de limiter les sources de variation externes à la grume, et comme il s'agit d'une première étude de ce type, nous la limiterons à une seule vente. De ce fait, il n'y aura pas à prendre en considération des effets de site ni de variation des prix dans le temps ou dans l'espace. Nous sommes en outre dans le cas d'une offre inélastique et le prix est uniquement fixé par la demande.

Il s'agit à présent de sélectionner une vente de bois convenant le mieux à nos attentes, ce qui est présenté dans la prochaine section.

2

Analyse des résultats d'une vente proposant des grumes individuelles

Sommaire

2.1	Sélection de la vente	38
2.1.1	Caractéristiques du matériel d'étude recherché	38
2.1.2	Vente sélectionnée	39
2.2	Présentation de la vente de Bad Mergentheim	40
2.2.1	Lieu et organisation de la vente	40
2.2.2	Description des lots mis en vente	42
2.2.3	Description des pièces mises en vente	42
2.2.4	Conclusion	46
2.3	Résultats de la vente concernant les lots de Chêne : description générale	46
2.3.1	Acheteurs présents	46
2.3.2	Description des soumissions émises	48
2.4	Modélisation des soumissions de la vente à partir des variables du catalogue de vente	50
2.4.1	Quelle part de la variabilité des prix peut-on attribuer aux caractéristiques de la pièce?	50
2.4.2	Prise en compte des dimensions et de la qualité des pièces pour modéliser le prix au m ³ des lots	54
2.4.3	Prise en compte des dimensions et de la qualité des pièces pour modéliser le prix au m ³ des grumes vendues individuellement	58
2.5	Conclusion	60

APRÈS avoir donné un aperçu des modes d'estimations des prix des bois, nous allons nous attacher à la modélisation de prix de grumes en fonction de leurs caractéristiques à la fois dimensionnelles et qualitatives. La présente section est l'occasion d'exposer la démarche nous ayant amené à sélectionner pour cette étude la vente de Bad Mergentheim (Allemagne). Nous présentons également l'analyse et la modélisation des prix de vente en fonction des données décrivant les grumes disponibles dans les catalogue des ventes. L'enjeu de cette première modélisation des prix est de voir, dans la variabilité totale des prix des grumes, la part qui revient aux différents effets abordés dans la partie II.1.2. et notamment la part des effets sylviculturellement modulables : dimension et défauts.

Mais avant d'aller plus en avant dans l'analyse des prix, nous souhaitons préciser quelle va être notre variable à expliquer. Tout d'abord, l'objet que nous étudions au cours de cette thèse est la grume de Chêne, c'est-à-dire la pièce de bois issu de l'abattage, de l'ébranchage et de la découpe du tronc d'arbre. Le premier choix est de savoir si nous nous intéressons au prix total de la grume ou bien à son prix au m³. Nous opterons pour la seconde option car notre objectif est de mesurer la conséquence de la gravité des défauts sur le prix des bois.

Lors d'une vente, plusieurs évaluations des grumes sont faites par les différents participants à la vente. La question se pose alors de savoir quelle évaluation prendre en considération dans nos futures démarches de modélisation : l'ensemble des soumissions, la moyennes des soumissions ou bien la soumission maximale? Nous avons décidé de travailler avec le prix représentant la valeur marchande finale du bois, à savoir la soumission susceptible de remporter le lot, donc la soumission maximale proposée pour un lot par les individus de la population ou sous-population d'acheteurs étudiée. De ce fait, nous évacuons le biais de certaines soumissions "stratégiques", pour lesquelles un acheteur est moyennement intéressé mais où il soumissionne tout de même très bas pour le cas où il serait le seul à la faire.

2.1 Sélection de la vente

L'objet de cette partie est d'expliquer le choix de la vente de Bad-Mergenthiem et d'en présenter l'organisation générale.

2.1.1 Caractéristiques du matériel d'étude recherché

Comme souligné précédemment, l'étape que nous désirons à présent réaliser est de relier le prix de la grume à ses caractéristiques intrinsèques en termes de présence et de fréquence de singularités. Dans cette optique, nous recherchons le matériel d'étude le plus apte à répondre à notre problématique. Si de nombreux protocoles sont envisageables pour mesurer un certain

nombre de paramètres liés à la qualité des grumes lors d'une vente, il est en revanche plus délicat d'en obtenir le prix individuel. En effet, l'étude préliminaire à cette thèse sur le prix de lots de Chêne vendus bord de route ([29]) a montré qu'il est très délicat, une fois le prix du lot connu, de remonter au niveau de la grume individuelle. En effet, le prix d'un lot ne peut pas être considéré comme la simple somme des prix des grumes qui le constituent, mais la façon dont celles-ci sont regroupées influence ce prix de façon non négligeable ([33]). Dès lors, nos tentatives pour attribuer une estimation individuelle à une grume de qualité donnée ont abouti à de très larges intervalles de confiance (tableau T7). Le matériel d'étude recherché doit donc permettre d'accéder facilement au prix de grumes individuelles.

Qualité	A	B	C	D
Prix prédit pour une grume individuelle de diamètre 60 cm	690 €/m ³	430 €/m ³	270 €/m ³	80 €/m ³
Intervalle de confiance approximatif à 95 %	± 250 €/m ³	± 370 €/m ³	± 840 €/m ³	± 240 €/m ³

TAB. T7: Prédications et intervalles de confiance approximatifs à 95% pour des grumes vendues bord de route (Moselle 1999), d'après ([29]).

Les ventes des grumes bord de route précédemment étudiées se faisaient aux enchères descendantes. Un agent responsable égrène les prix à haute voix de façon décroissante et la première personne interrompant ce comptage emporte le lot. Il n'est donc pas possible, pour un même lot, de connaître les estimations des différents participants à la vente. Le type de vente recherché est donc plutôt une vente à soumissions cachetées qui nous permette d'avoir accès à l'ensemble des soumissions.

Enfin, même si cela fait partie de détails techniques, nous ne pouvons pas négliger l'aspect pratique du problème, à savoir la possibilité de mesurer pour chaque grume sa qualité en trouvant un moyen de réaliser une cartographie des défauts. Cela suppose bien entendu de se rendre sur le terrain et de pouvoir analyser les différentes grumes mises en vente. Le matériel recherché est donc plutôt de la forme d'une vente de grumes bord de route avec une bonne qualité d'exposition.

2.1.2 Vente sélectionnée

Ces différentes contraintes de notre cahier des charges s'adaptent parfaitement au cas des ventes de grumes en Allemagne. En effet, il s'agit de ventes par soumissions cachetées proposant des grumes individuelles. Les grumes sont exposées quelques semaines avant la vente sur des parc à grumes. Une coopération avec le service clientèle central de la direction forestière du Bade-Wurtemberg nous a permis d'analyser les grumes mises en vente et nous a fourni l'ensemble des soumissions de la vente. Afin de conserver l'anonymat des acheteurs potentiels, leur nom a été codé, mais ce service nous a tout de même indiqué leurs activités. Les critères déterminants dans le choix de la vente étudiée ont été, par ordre d'importance croissant :

1. un fort volume de grumes de Chênes mises en vente ;
2. une date de vente compatible avec le calendrier de travail de la thèse ;
3. un lieu le moins éloigné possible.

Conjuguant ces différents critères, notre choix s’est porté vers l’étude de la vente du 26 février 2004 ayant eu lieu à Bad Mergentheim en Allemagne et dont la partie suivante présente les caractéristiques majeures.

2.2 Présentation de la vente de Bad Mergentheim

2.2.1 Lieu et organisation de la vente

Bad Mergentheim se situe en Allemagne, dans le Land du Bade-Wurtemberg, à 115 km de Stuttgart et 143 km de Francfort (figure F21). Les lots proposés à la vente étaient répartis sur quatre sites : Beckstein, Neuses, Roggenberg et Tauberbisofsheim (codé par T1 dans l’ensemble des documents et repris dans cette thèse) (F22). Sur chaque place, les grumes sont exposées individuellement. Elle sont disposées les unes à côté des autres, espacées d’environ 1m, posées sur des traverses (figure F23). Cette disposition revêtira toute son importance dans la partie II.3.1. Le tableau (T8) indique la répartition des lots sur ces différentes places de vente.



FIG. F21: Localisation de Bad Mergentheim (Allemagne).

Lieu	Nombre de lots	Volume total (m3)	Nombre moyen de pièces par lot
Beckstein	171	781,58	5,44
Neuses	93	336,84	3,93
Roggenberg	85	384,62	5,29
T1	131	444,69	3,79

TAB. T8: Répartition et taille des lots mis en vente.

Un catalogue des ventes est édité à l’attention des acheteurs potentiels. Il se présente sous la forme du tableau (T9). La norme de qualité utilisée est une norme locale de classement des bois. Elle est intermédiaire entre les normes des années 80 type Martin et les normes actuelles, ONF ou

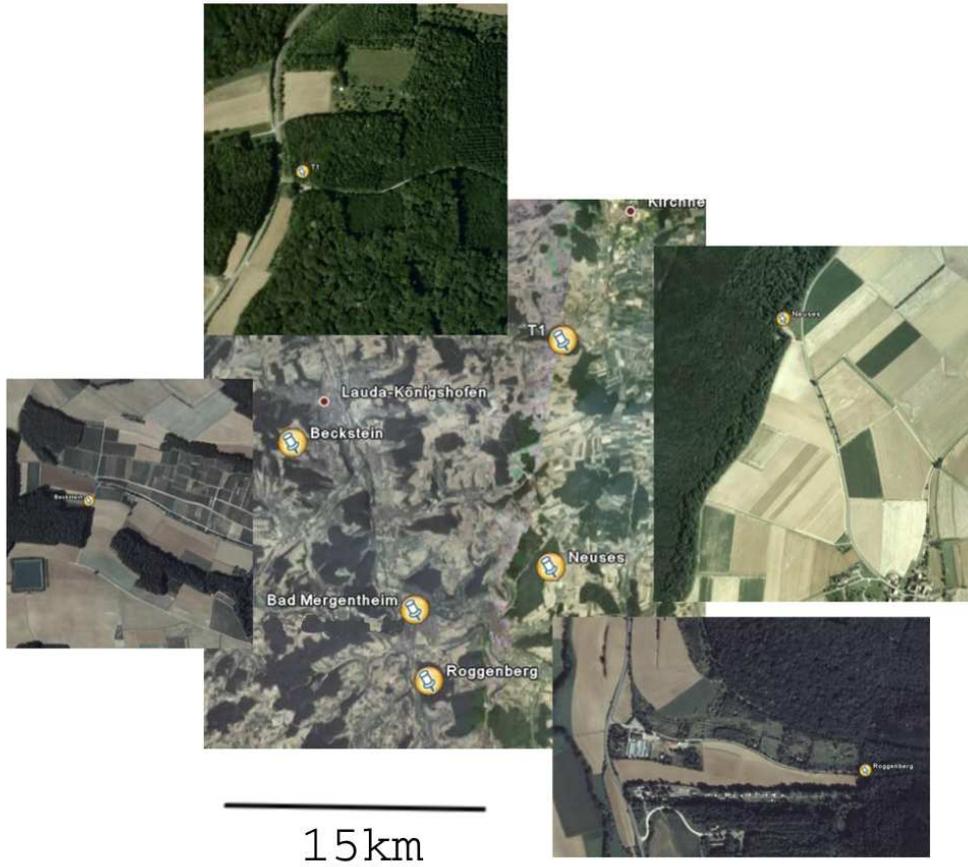


FIG. F22: Localisation des places de vente autour de Bad Mergentheim.



FIG. F23: Disposition des grumes lors de la vente de Bad Mergentheim. Photographie du site T1.

européennes. En effet, quatre classes de qualité y sont définies dans l'esprit des normes ONF ou européennes. Cependant, pour les meilleures classes de qualité, nous retrouvons une subdivision en fonction de l'utilisation, comme dans la norme de qualité ONF Saverne de 1986 : la classe F correspond à une grume destinée au tranchage (Furnierung) et TF, à une grume destinée partiellement au tranchage (Teilfurnierung).

Numéro du lot	Numéro de grume	Mode de découpe*	Essence	Classe de Qualité	Classe de diamètre	Longueur en m	Diamètre en cm	Volume en m ³
1 000	1 356	1 R	Chêne	TF	6	5,2	65	1,73 <u>1,73</u>
1 159	48	3 R	Chêne	B	6	2,8	60	0,79
	50	1 F	Chêne	B	5	3,2	56	0,79
	55		Chêne	B	5	4,0	55	0,95
	56F		Chêne	C	5	2,5	50	0,49 <u>3,02</u>
1 170	5 235	2 R	Chêne	TF	5	4,7	56	1,16
	5 238	0 F	Chêne	TF	5	3,8	59	1,04 <u>2,20</u>

TAB. T9: Extrait du catalogue de vente utilisé pour la vente de Bad Mergentheim de février 2004.

* : La découpe est dite "réelle" (R) lorsque la grume est effectivement tronçonnée entre deux qualités distinctes, et "fictive" (F) quand la longueur d'une qualité est simplement mesurée sans être séparée du reste de la grume.

Les différents acheteurs renvoient leur soumission pour chaque lot à l'agence des ventes. Après dépouillement, les lots sont attribués au plus offrant. La partie suivante présente une description générale des lots mis en vente.

2.2.2 Description des lots mis en vente

Les différents histogrammes décrivant les lots en termes de longueur moyenne, diamètre moyen, volume moyen ou nombre de pièces par lot peuvent être consultés en Annexe B (B.1, B.2, B.3, B.4).

Un total de 481 lots a été proposé à la vente. Environ 40% de ces lots étaient constitués d'une seule pièce. La répartition en longueur était assez homogène puisque près de 75 % des lots avait une longueur moyenne de grume comprise entre 4 et 6 m. En revanche, les diamètres étaient plus étalés, notamment entre 40 et 70 cm de diamètre. Le volume moyen des pièces par lot s'étalait généralement entre 0,5 et 1,5 m³.

2.2.3 Description des pièces mises en vente

2.2.3.1 Essences

Comme le montre la figure (F24), les 481 lots mis en vente comptaient en tout 2 247 grumes. Sur ces 2 247 grumes, 2 098 étaient des grumes de Chêne.

Nous allons à présent et dans le reste de ce document nous intéresser aux lots composés

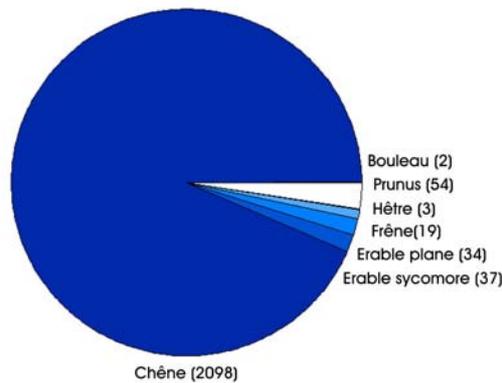


FIG. F24: Essences représentées dans la vente de Bad Mergentheim (en nombre de grumes).

uniquement de Chêne.

2.2.3.2 Dimensions des grumes

Comme le montre la figure (F25), les grumes de Chêne mises en vente se répartissaient essentiellement sur des classes de diamètre allant de 30 à 60 cm. Ce sont les grumes de diamètre compris entre 40 et 50 cm qui étaient les plus fréquentes.

Les classes de longueur étaient nombreuses puisqu'elles allaient de 1 à 11, ce qui signifie que la longueur des grumes pouvait varier de 1 à 12 mètres. Les grumes n'étaient pas uniformément réparties au sein de ces différentes classes, puisque les classes de longueur 4 et 5 rassemblaient plus de la moitié de l'effectif, et que la longueur de près de 90% des grumes était comprise entre 3 et 7 mètres.

2.2.3.3 Qualités des grumes

Les diagrammes de la figure (F25) montrent que les grumes de Chêne vendues étaient essentiellement de qualité B. La qualité A était très peu représentée lors de cette vente. En effet, comme indiqué précédemment, deux notions interviennent dans les normes allemandes : qualité et usage des bois. Les grumes de qualité A voire B étaient également pour la plupart des grumes de qualité TF. En l'étudiant de plus près le cas de ces grumes de qualité A, nous avons constaté qu'elles se situaient toutes sur la place de vente de Beckstein et correspondaient à un classement fait par un même groupe de personnes travaillant pour le même service forestier (Lauda). Une discussion avec le responsable de la vente nous a indiqué que la distinction n'était pas systématiquement faite entre la qualité A et les qualités F ou TF et que, en cas de doute, les grumes étaient classées TF. Pour ces raisons, les qualités A et TF seront confondues dans le reste du document sous la dénomination de "qualité A".

Notons également qu'il y avait très peu de grumes de qualité C et aucune de qualité D. Il faut relier cette constatation au mode de vente des bois. Comme le montre la figure (F23),

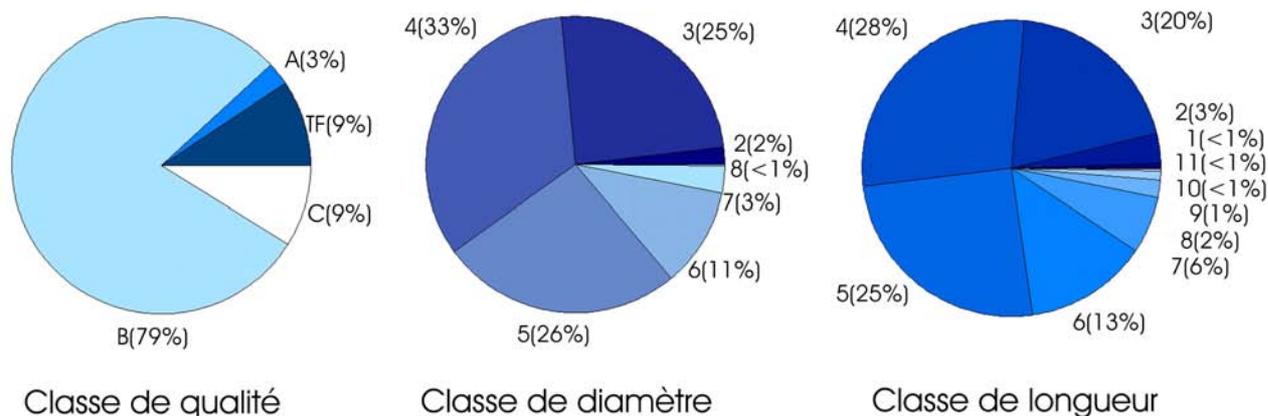


FIG. F25: Répartitions de l'ensemble des grumes de Chêne de la vente de Bad Mergentheim en classes de qualité, diamètre et longueur.

Diamètres et longueurs sont regroupés en classes. Une classe de diamètre 5, par exemple, correspond à des diamètres compris entre 50 et 59 cm. De même, une classe de longueur 6, correspond à une longueur de la grume comprise entre 6 et 6,99 m.

la disposition des grumes était propice à une observation individuelle de chacune. Or, pour les grumes de qualité C et surtout D (qualités médiocres), on ne procède pas à un examen approfondi de chaque pièce et l'élément important pour ces lots est essentiellement le volume utilisable de produit. Ceci explique que l'on ne retrouve pas les qualités les plus basses dans ce type de vente.

Nous avons vu que les grumes de cette vente se répartissaient en quatre sites distincts. A titre illustratif, nous avons fait figurer en Annexe B la répartition de ces grumes en termes de diamètre, longueur et qualité sur chaque site (Annexes B, figures B.5, B.6, B.7, B.8).

2.2.3.4 A propos des grumes vendues individuellement

Rappelons que ce qui nous a amené à étudier les ventes allemandes est le fait de pouvoir accéder au prix des grumes individuelles. Il a été vu précédemment que, à Bad Mergentheim, 40% des grumes étaient vendues individuellement. Pour le Chêne, l'effectif de ces grumes est de 181. La figure (F26) présente les caractéristiques générales de l'échantillon de ces pièces individuelles de Chêne.

La population des pièces vendues individuellement englobait une plus grande proportion des pièces de meilleures classes de qualité, ce qui n'est pas surprenant. Les diamètres étaient également plus importants et supérieurs à 40 cm. Pour les longueurs, les deux diagrammes des figures F25 et F26 sont assez proches.

Le tableau (T10) indique le nombre de grumes individuelles disponibles pour chaque qualité sur chaque place de vente

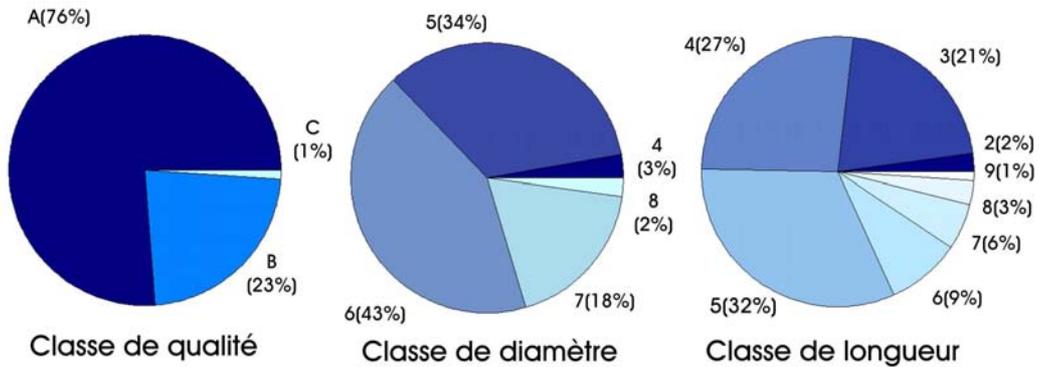


FIG. F26: Répartitions en classes de qualité, diamètre et longueur des grumes de Chêne vendues individuellement à Bad Mergentheim.

Diamètres et longueurs sont regroupés en classes. Une classe de diamètre 5, par exemple, correspond à des diamètres compris entre 50 et 59 cm. De même, une classe de longueur 6, correspond à une longueur de la grume comprise entre 6 et 6,99 m.

Lieu	Qualité A	Qualité B	Qualité C	Total
Beckstein	42	7	3	46
Neuses	37	5	1	43
Roggenberg	48	5	0	53
T1	11	28	0	39
Total	131	41	2	181

TAB. T10: Inventaire des grumes vendues individuellement dans chacune des 4 places de vente de Bad Mergentheim et leur répartition par classe de qualité.

Précisons une dernière fois que les grumes de qualité A, F et TF ont été regroupées sous la dénomination de "qualité A".

2.2.4 Conclusion

A la suite de l'identification de nos besoins pour accéder à un matériel d'étude optimal, nous avons décidé d'étudier la vente de Bad Mergentheim. Cette vente nous permet en effet d'accéder d'une part à la description fine des grumes et de connaître d'autre part, pour 181 d'entre elles, les soumissions des acheteurs potentiels.

Signalons dès à présent que, en ayant décidé d'opérer de la sorte, nous recentrons l'étude sur une sous-population particulière des grumes de Chêne, à savoir les grumes de meilleure qualité. Afin d'établir un ordre de grandeur du poids en volume et en valeur de ces grumes dans la filière Chêne, nous nous sommes intéressé aux ventes de grumes façonnées de la division de Metz de 1995 à 2003. Sur cette période d'étude, les lots de grumes de qualité A, ceux de qualité B et ceux de qualités A et B (qualités définies par la norme ONF Moselle, qui sont les qualités équivalentes des qualités rencontrées à Bad Mergentheim), représentaient environ 4% en volume de l'ensemble des lots vendus et 16% en valeur (chaque année ayant été ramenée en € constant 2005). Si l'on s'intéresse de plus à la variabilité observée des prix, nous avons constaté sur cette période que les lots de grumes de qualité A présentaient un écart-type de 290 €/m³, ceux de grumes de qualité B avaient un écart-type de 107 €/m³ et ceux de grumes de qualité A et B mélangées atteignaient un écart type de 495 €/m³. Pour les lots de qualité inférieure, cet écart-type était bien moindre : 84 €/m³ pour les lots de qualité C, 45 €/m³ pour les lots mélangés C et D et seulement 23 €/m³ pour la qualité D.

Ces quelques chiffres mettent en évidence que, si l'on veut utiliser le prix comme indicateur de la qualité, c'est bien sur les qualités A et B qu'il faut concentrer notre attention, ce que nous allons faire à présent en étudiant les résultats de la vente de Bad Mergentheim.

2.3 Résultats de la vente concernant les lots de Chêne : description générale

Après avoir présenté de façon générale la vente de Bad Mergentheim, l'objet de cette section est de modéliser les prix obtenus lors de cette vente à partir des variables disponibles, à savoir les dimensions des pièces (longueur, diamètre, volume), leur qualité (A, B ou C) ainsi que l'acheteur. Nous cherchons à mesurer ici quelle part de la variabilité totale des prix au m³ peut être imputée aux caractéristiques intrinsèques des grumes et quelle part est due à des effets externes liés à l'acheteur, comme son éloignement, son activité ou encore sa stratégie de soumission. Nous travaillons dans cette section sur le prix au m³ de l'ensemble des lots de Chêne.

2.3.1 Acheteurs présents

La vente a été fréquentée par 25 acheteurs différents. Dans les données qui nous ont été transmises, ces acheteurs ont été codés C01, C02, ... C25. Nous conserverons cette même notation. A partir du tableau (T11) nous avons pu dégager cinq grands types d'activités : Commerce, Trancheur, Merrandier, Scierie et Artisan avec possibilité de cumuler les activités. Sur les 25 acheteurs, 6 venaient d'un rayon inférieur à 50 km, 8 d'un rayon situé entre 50 et 100 km et 5 d'un rayon supérieur à 350 km, avec le cas de 2 merrandiers ayant parcouru plus de 1 000 km.

Acheteur	Activité 1	Activité 2	Distance (en km)
C1	Commerce		93
C2	Artisan	Merrandier	74
C3	Commerce		691
C4	Scierie		655
C5	Trancheur		52
C6	Trancheur		72
C7	Trancheur		89
C8	Trancheur		124
C9	Scierie		31
C10	Trancheur		72
C11	Trancheur	Scierie	364
C12	Commerce		138
C13	Scierie	Commerce	0
C14	Commerce		102
C15	Artisan	Meubles	112
C16	Scierie		114
C17	Commerce		30
C18	Artisan	Facteur d'orgue	13
C19	Scierie		11
C20	Scierie		64
C21	Scierie		51
C22	Scierie	Commerce	119
C23	Scierie	Commerce	24
C24	Scierie	Merrandier	1 219
C25	Scierie	Merrandier	1 140

TAB. T11: Présentation des acheteurs potentiels : types d'activité et éloignement de Bad Mergentheim.

Parmi ces acheteurs, les C13 et C17 n'ont réalisé aucune soumission pour les lots de Chêne et le C21 n'en a fait qu'une seule. Pour cette raison, les acheteurs C13, C17 et C21 ont été exclus de l'étude.

2.3.2 Description des soumissions émises

2.3.2.1 Description générale

Les figures (F27, F28) présentent l'histogramme des soumissions proposées lors de la vente et celui des soumissions qui ont remporté la vente. Nous remarquons tout d'abord une large gamme de soumissions, puisqu'elles s'étalent de 36 à 1 331 €/m³. La moyenne et l'écart-type de l'ensemble des soumissions et ceux des soumissions "gagnantes" sont assez proches (pour les moyennes, respectivement 327,00 et 360,70 €/m³), ce qui est le signe d'une bonne homogénéité des offres des acheteurs potentiels.

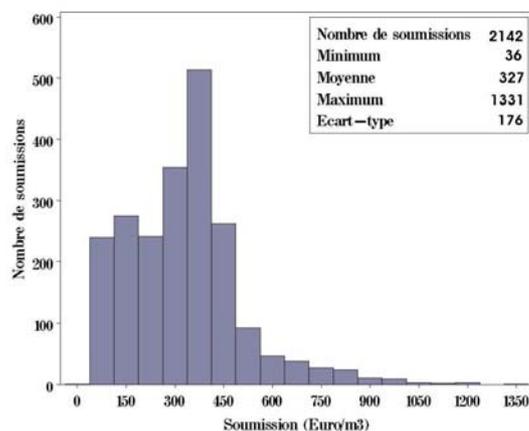


FIG. F27: Histogramme des soumissions proposées pour les lots de Chêne à la vente de Bad Mergentheim.

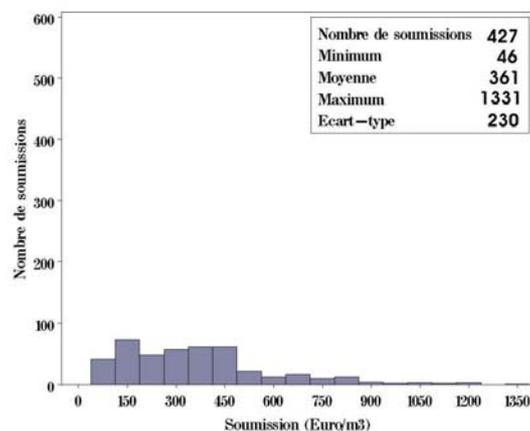


FIG. F28: Histogramme des soumissions gagnantes concernant les lots de Chêne de la vente de Bad Mergentheim.

2.3.2.2 Description en fonction des caractéristiques des lots

Les variables dont nous disposons d'après le catalogue des ventes pour décrire les lots sont le nombre de pièces du lot, le diamètre moyen, le volume ou encore la qualité définie d'après la norme. Dans un premier temps, les corrélations entre ces variables ont été calculées (T12). Afin de mesurer l'effet de la variable "Qualité", celle-ci est transformée en variable quantitative en utilisant la formule (E 5). Cette transformation est certes arbitraire, mais nous avons opté pour elle car elle permet de pouvoir traiter de la sorte une variable qualitative s'est déjà révélé fort utile lors des travaux sur les ventes de bois bord de route en Moselle que nous avons déjà réalisés ([29]).

$$Q_m = 1 \times \frac{V_C}{V_{lot}} + 2 \times \frac{V_B}{V_{lot}} + 3 \times \frac{V_A}{V_{lot}} \quad (\text{E } 5)$$

Avec :

- Q_m : qualité moyenne ;
- V_k : volume de la qualité k en m³ ;
- V_{lot} : volume du lot en m³.

Le tableau (T12) met en évidence des interactions fortes entre certaines variables. Certaines sont *a priori* évidentes, comme celle entre le volume et le nombre de pièces du lot (R=0,91). Une autre interaction forte concerne le diamètre avec ces deux variables (respectivement R=-0,43 et R=-0,56). Ce dernier est négativement corrélé à la taille du lot. Si nous en recherchons la cause, nous avons constaté ¹⁰ qu'il n'y avait pas de pièces vendues à l'unité ou par 2 en dessous de 45 cm de diamètre. Inversement, lorsque nous nous intéressons au diamètre moyen des lots, nous constatons que les valeurs maximales de cette variable chutent rapidement avec la taille du lot : 60 cm pour les lots de 10 pièces, 50 pour ceux de 20 et 40 pour ceux de 30 et plus. La variable représentant la qualité moyenne du lot est corrélée à l'ensemble des variables, positivement avec le diamètre et négativement avec les autres. Pour la relation entre la qualité et le diamètre, ceci s'explique en partie par le fait que les bonnes qualités requièrent un diamètre minimal. En ce qui concerne les relations avec la longueur, plus celle-ci augmente, plus le nombre de défauts augmente. De plus cette augmentation est loin d'être régulière, puisque, en général, plus on s'éloigne du pied, plus les grumes sont chargées en défauts. Il est donc naturel que la qualité moyenne de la pièce diminue avec la longueur. Le volume du lot est corrélé positivement avec la longueur (R=0,08) et négativement avec le diamètre (R=-0,43), ce qui peut expliquer la corrélation négative entre la qualité et le volume. Seuls le nombre de pièces et la longueur entre eux présentent une corrélation non significative.

Concernant les relations entre ces variables et les soumissions, ce sont la qualité et le diamètre qui présentent les plus fortes corrélations (respectivement R=0,65 et R=0,55). Le volume et le nombre de pièce sont corrélés négativement aux soumissions maximales (respectivement R=-0,42 et R=-0,43). Ceci s'explique par la constatation faite partie II.2.2.3 sur la composition des lots proposant des grumes individuelles à savoir que, pour ces lots, la proportion de pièces de qualité A est très supérieure aux autres lots. La longueur moyenne des pièces ne présente en revanche pas de corrélation linéaire avec les soumissions maximales.

2.3.2.3 Description générale en fonction des acheteurs

Un autre paramètre évoqué précédemment et pouvant influencer sur les prix est l'acheteur. Nous avons reporté en annexe B les tableaux détaillant les soumissions en fonction des acheteurs (Annexe B, tableaux B.1 et B.2).

L'analyse du tableau (Annexe B, tableau B.1) permet de dégager différents types de comportement de la part des acheteurs. Il y a tout d'abord les acheteurs qui n'étaient que peu intéressés par le Chêne, comme par exemple C19 qui n'a fait que 6 propositions. Parmi les autres, les

¹⁰ résultats non présentés ici

places de vente pour lesquelles les acheteurs ont émis une soumission variaient. Certains n'ont soumissionné que sur une seule place (C2, C3), d'autres sur deux places (C1, C6), d'autres sur trois places (C11, C12, C15) tandis que les autres ont soumissionné sur toutes les places. Les stratégies d'achat semblent également différer, puisque certains n'ont soumissionné que sur très peu de lots (C9, C15) alors que d'autres ont soumissionné sur beaucoup de lots (C3, C7, C11, C16, C18, C20, C24, C25).

L'observation de la dernière colonne du tableau (Annexe B, tableau B.2) montre qu'il y a une grande diversité entre les niveaux de soumission des acheteurs, puisque la moyenne des soumissions par acheteur s'étale de 95 à 735 €/m³. Si l'on regarde se place au niveau "type d'activité", nous constatons que, pour les catégories d'acheteurs présentant une activité précise, comme les merrandiers ou bien les trancheurs, il y a une relative homogénéité des offres. Par contre, quand la définition de l'activité est plus floue, comme les marchands ou les scieurs, il existe une hétérogénéité plus importante au sein du groupe.

En s'intéressant aux valeurs atteintes par les soumissions, il est aisé de constater que les trancheurs se détachent nettement des autres catégories avec des moyennes de soumissions jusqu'à sept fois supérieures à celles des autres groupes (735 €/m³ pour C5 contre 95 €/m³ pour C1 ou C4). Ce groupe est suivi par celui des merrandiers. Certains scieurs (comme C9) ou certains marchands (comme C14 ou C22) ont également soumis à un niveau de prix approchant celui des merrandiers et de certains trancheurs (autour de 400 €/m³).

Dans le groupe "scierie + commerce", deux comportements sont observables. L'individu C22 a effectivement des moyennes se rapprochant des marchands (C14) ou des scieurs (C9). L'individu C23 n'a proposé quant à lui que de très faibles soumissions (entre 58 et 182 €/m³), qui plus est, il n'est parvenu à décrocher aucun lot.

Parmi les artisans, l'acheteur C15, comme l'acheteur précédent, a soumissionné à de très faibles prix (entre 110 et 150 €/m³). Lui en revanche emporte 50 % de ses soumissions.

2.4 Modélisation des soumissions de la vente à partir des variables du catalogue de vente

2.4.1 Quelle part de la variabilité des prix peut-on attribuer aux caractéristiques de la pièce ?

Les résultats qualitatifs de la section précédente pourraient sembler indiquer que les prix constatés lors de la vente de Bad Mergentheim sont essentiellement liés au type d'acheteur. Cependant, la comparaison ne se fait pas à lots identiques, puisque même l'acheteur émettant le plus grand nombre de soumissions ne s'est prononcé que sur à peine plus de la moitié des lots. Avant d'approfondir l'étude de la relation entre les caractéristiques de la grume et son prix, nous allons tout d'abord regarder quelle part des prix peut être imputée à la qualité de la pièce et quelle part est plutôt liée à l'acheteur.

Sur les 427 lots de Chêne vendus, les 21 acheteurs ont fait 2 078 soumissions. Ceci représente donc une moyenne de 99 soumissions par acheteur et de 5 soumissions par lot. Ces chiffres nous indiquent déjà qu'il sera très difficile de mesurer de façon précise l'effet "lot" et l'effet "acheteur"

et encore moins l'interaction entre les deux.

Nous allons tout d'abord chercher à estimer de manière globale ces effets. Pour ce faire, nous allons étudier le modèle défini par la relation (E 6). La variable étudiée est la soumission, en €/m³; les variables explicatives sont les variables qualitatives "Lot" et "Acheteur".

$$S = L + A + \varepsilon \quad (\text{E } 6)$$

Avec :

- S : soumission en €/m³ ;
- L : variable qualitative "Lot" ;
- A : variable qualitative "Acheteur" ;
- ε : résiduelle, indépendamment et identiquement distribuée (iid) selon $\mathcal{N}(0, \sigma)$.

Ce modèle a été appliqué à l'ensemble des soumissions. A partir de l'estimation du modèle, nous nous sommes intéressé à la somme des carrés de type 1 afin d'évaluer la part de variabilité des prix que l'on pouvait attribuer aux différents effets. Ces sommes de carrés sont présentées dans le tableau (T13). Ces sommes correspondent au modèle (E 6) dans la 3^{ème} et au même modèle avec effets intervertis ($S=L+A+\varepsilon$) dans la 4^{ème} colonne. Nous avons également indiqué le rapport en pourcentage entre les différentes sommes des carrés et la somme des carrés totale (T13).

Chaque effet pris séparément explique plus de 60% de la variabilité des prix des lots. Le poids de l'effet "lot" est néanmoins supérieur à celui de l'effet "acheteur" de 6%. Comme nous l'avons indiqué précédemment, il existe de nombreux lots pour lesquels un acheteur donné ne soumissionnait pas. Pour en avoir une représentation, nous avons réalisé le graphique (F29). En ordonnée, figurent les différents acheteurs regroupés par activité. En abscisse, sont représentés les différents lots regroupés par place de vente.

Cette figure (F29) présente les nombreux vides dans le tableau des soumissions acheteur × lot. Une certaine structure est observable sur cette figure. Tout d'abord, certains vides sont dus à l'absence de soumission d'un acheteur sur une place de vente. Ensuite, il est possible de retrouver au sein de certains groupes, comme celui des trancheurs (G) ou des merrandiers (B), une forte similitude des lots pour lesquels les acheteurs font des propositions. Enfin, nous pouvons à nouveau observer une nette distinction de comportement entre les acheteurs soumissionnant fréquemment et ceux soumissionnant peu.

Toujours dans le but d'estimer la part de la variabilité du prix au m³ imputable à la qualité du lot, nous allons étudier des sous-échantillons de cet ensemble. Une fois encore, il ne s'agit pas là de proposer une modélisation des prix des bois en fonction du lot et de l'acheteur, mais bien de dégager quel est, en tendance, l'effet qui domine l'autre. Certains acheteurs ne soumissionnant que sur un nombre limité de places de vente, nous allons réaliser quatre sous-échantillons - un par place de vente. Dans chaque place de vente, ne seront conservés que les acheteurs soumettant pour un nombre important de lots et que les lots recevant une soumission de la part de la majorité des acheteurs.

En nous intéressant à des sous-tableaux lot×acheteurs plus complets, nous pouvons constater de façon générale que l'effet "lot" est toujours supérieur à l'effet "acheteur" (de 9% pour Roggenberg à 63% pour T1).

	Volume (m ³)	Nombre de pièces	Longueur moyenne (m)	Diamètre moyen (cm)	Qualité moyenne
Volume (m ³)	1	0,91	0,08	-0,43	-0,55
		<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Nombre de pièces		1	-0,009	-0,56	-0,48
			0,6635	<0,0001	<0,0001
Longueur moyenne (m)			1	0,15	-0,09
				<0,0001	<0,0001
Diamètre moyen (cm)				1	0,48
					<0,0001
Qualité moyenne					1
Soumission maximale (€/m ³)	-0,42	-0,43	-0,02	0,55	0,65
	<0,0001	<0,0001	0,56	<0,0001	<0,0001

TAB. T12: Matrice des coefficients de corrélation linéaire entre les variables d'étude.
 1^e ligne : Coefficient de corrélation linéaire de Pearson
 2^e ligne : Probabilité critique du test de significativité.

Paramètres	Variables explicatives	SC Type I ("Lot" en premier)	SC Type I (effets intervertis)	SC Modèle (M) et Totales (T)
Tous les lots et acheteurs (427 lots et 22 acheteurs)				
	Lot	44 507 258 (67%)	14 474 224 (22%)	M : 54 748 827 (82%)
	Acheteur	10 241 449(15%)	40 274 583 (61%)	T : 66 349 974 (100 %)
Sous-échantillon A : Beckstein, 53 lots (≥ 4 soum.), 6 acheteurs				
	Lot	1 206 845 (56%)	955 295(44%)	M : 1 431 821 (66%)
	Acheteur	224 975 (10%)	476 529 (22%)	T : 2 147 332 (100%)
Sous-échantillon B : Neuses, 45 lots (≥ 5 soum.), 8 acheteurs				
	Lot	109 623(34%)	1 057 103(33%)	M : 1 787 585(56%)
	Acheteur	690 662(22%)	730 482(23%)	T : 3 205 332(100%)
Sous-échantillon C : Roggenberg, 37 lots (≥ 4 soum.), 5 acheteurs				
	Lot	948 108 (32%)	895 100 (31%)	M : 1 563 049(54%)
	Acheteur	614 941 (21%)	667 949 (23%)	T : 2 932 760 (100%)
Sous-échantillon D : T1, 53 lots (≥ 3 soum.), 4 acheteurs				
	Lot	1 370 982(75%)	1 264 467(69%)	M : 1 476 689(81%)
	Acheteur	105 706(6%)	212 222(12%)	T : 1 832 588(100%)

TAB. T13: Sommes des carrés (SC) de type 1 du modèle E 6) mesurant les effets "Lot" et "Acheteur".

L'ordre des variables lors de la modélisation est (Lot, Acheteur) pour la colonne 3 et (Acheteur, Lot) pour la colonne 4. Les chiffres entre parenthèse représentent le pourcentage de la SCT.

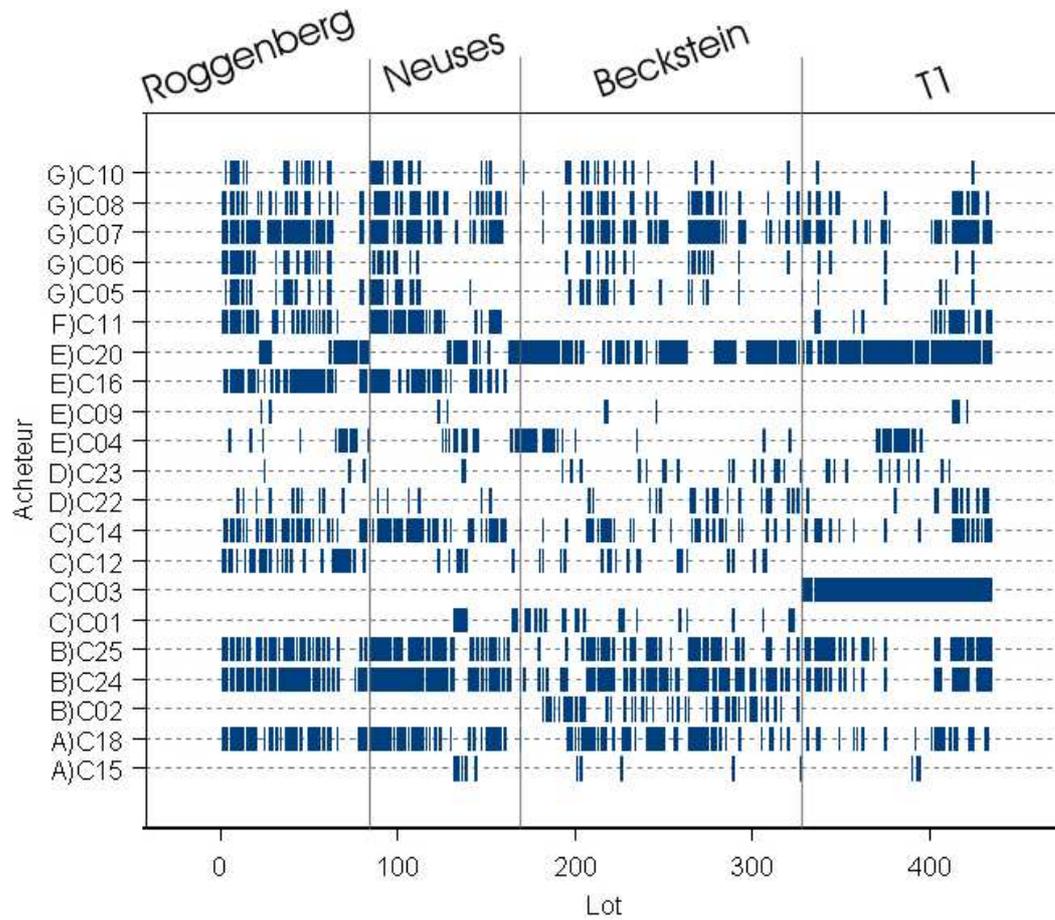


FIG. F29: Répartition des soumissions en fonction des acheteurs et des places de vente. (A : Artisan ; B : Merrandier ; C : Commerce ; D : Commerce et scierie ; E : Scierie ; F : Scierie et Tranchage ; G : Tranchage)

Cette remarque, simple en apparence, permet de tirer deux précisions majeures concernant ce travail de thèse :

- Les prix dépendent majoritairement de caractéristiques "intrinsèques" des lots.
- L'effet "acheteur" est toutefois important dans la constitution des prix. Cet effet ne peut donc pas être négligé dans la modélisation des prix des bois.

2.4.2 Prise en compte des dimensions et de la qualité des pièces pour modéliser le prix au m³ des lots

Après avoir constaté de façon globale l'effet "lot" sur le prix au m³ des grumes individuelles, nous souhaitons préciser le poids des composantes de cet effet, à savoir celui des dimensions et des caractéristiques qualitatives des grumes. L'objectif de cette partie est double :

- estimer la part des effets "diamètre", "longueur" et "volume" sur le prix des grumes ;
- évaluer, une fois l'effet "dimensions" et "acheteur" pris en compte, quelle est la part de variabilité du prix des grumes qui demeure non expliquée (et qui donne une bonne estimation de la borne supérieure de la contribution des caractéristiques qualitatives à la variabilité du prix au m³).

2.4.2.1 Application du modèle de prix des bois des ventes bord de route

La vente de Bad Mergentheim présente de nombreuses caractéristiques communes avec les ventes de bois façonnés françaises. L'élaboration du catalogue de vente, dans lequel sont précisés pour chaque lot le volume, les dimensions ainsi que la qualité des pièces, permet d'envisager d'appliquer le même type de modèle que celui réalisé au cours du DEA préparatoire à cette thèse ([29], [33], [30]).

Comme nous l'avons vu dans la section 2.1.2, notre objectif est de modéliser le prix d'une catégorie de produit, une catégorie étant définie ici comme la combinaison d'une classe de qualité et d'une classe de diamètre. Le modèle se compose de trois parties ([31]).

La première partie de ce modèle estime les prix unitaires par catégorie en concevant le prix des lots comme la simple somme des prix des pièces le composant (ou le prix unitaire au m³ comme la moyenne pondérée par le volume des prix unitaire par catégorie). Pour une qualité donnée, le prix est ainsi une fonction linéaire du diamètre.

$$P = \sum_K k_1 R_k + k_2 C_k + \varepsilon \quad (\text{E } 7)$$

Avec

P : prix unitaire en €/m³ ;

k : qualité (A, B ou C) ;

R_k : proportion de la qualité au sein du lot (en appelant Vol le volume en m³, $R_k = \frac{Vol_k}{Vol_{lot}}$) ;

C_k : diamètre moyen de chaque qualité pondéré par le volume ($C - k = \frac{\sum p_k Vol_{p_k} \times \varnothing_{p_k}}{Vol_{lot}}$, avec p_k numéro de la pièce de qualité k , de volume Vol_{p_k} et de diamètre \varnothing_{p_k}) ;

ε : résiduelle, iid $\mathcal{N}(0, \sigma)$.

Cependant, nous avons constaté que la façon dont les pièces de qualité et de diamètre différents sont regroupées influence le prix de vente ([29], [33]). Nous avons donc défini une seconde partie au modèle, à savoir une fonction de correction liée à l'hétérogénéité définie par (E 8)

$$Q = \sum_K k_3 V_k + k_4 C_k V_k \quad (\text{E } 8)$$

Avec

- Q : correction au prix du lot en €/m³ ;
- V_k : variance de la qualité au sein du lot définie comme $V_k = R_k(1 - R_k)$;
- C_k : diamètre moyen de chaque qualité pondéré par le volume (voir E 7).

Enfin, la troisième partie du modèle permet d'estimer la variance de la résiduelle. Le modèle, estimé par la méthode du maximum de vraisemblance, s'écrit :

$$Y \hookrightarrow \mathcal{N}(E, \sigma^2) \quad (\text{E } 9)$$

Avec

- E : espérance du prix unitaire en €/m³, définie comme $E = P + Q$;
- σ^2 : variance de la résiduelle, définie comme $\sum_k k_5 \frac{\sum_{p_k} Vol_{p_k}^2}{Vol_{lot}^2}$.

Les résultats de l'estimation figurent dans le tableau (T14) et les détails en annexe C (tableau C.1 et graphique des résidus en fonction de la qualité, figure C.1).

	k_1 (€/m ⁻³)	k_2 (€/m ⁻³ .cm ⁻¹)	k_3 (€/m ⁻³)	k_4 (€/m ⁻³ .cm ⁻¹)	$\sqrt{k_5}$ (€/m ⁻³)
A	NS	8,30	NS	NS	238,86
B	-118,63	7,24	NS	NS	223,90
C	NS	2,18	-227,00	NS	50,69

TAB. T14: Paramètres estimés du modèle E 10.

Parmi les différentes variables permettant d'estimer le modèle, peu d'entre elles sont au final significatives, notamment en ce qui concerne les variables permettant de prendre en compte l'hétérogénéité du lot en termes de qualité. Ceci s'explique par le fait qu'il y a en réalité seulement 48 lots présentant un mélange de qualités, et sur ces 48 lots, 40 le sont avec de la qualité C, seule qualité pour laquelle k_3 est significatif.

Pour ce qui est de la première partie du modèle, les qualités A et B ont des pentes associées au diamètre assez proches, avec une ordonnée à l'origine différente (voir figure F30).

Enfin, en ce qui concerne l'estimation de la variance de la résiduelle, nous pouvons constater que celle-ci est très élevée (dernière colonne du tableau T14 et intervalles de confiances approximatifs à 95% de la figure F30), ce qui montre que l'utilisation de la qualité telle qu'elle est définie par les normes allemandes ainsi que du diamètre laisse une large part de la variabilité des prix inexpliquée.

Malgré ces limitations, il est tout de même possible de proposer des courbes de prix en fonction du diamètre et de la qualité avec les intervalles de confiance approximatifs associés (figure F30).

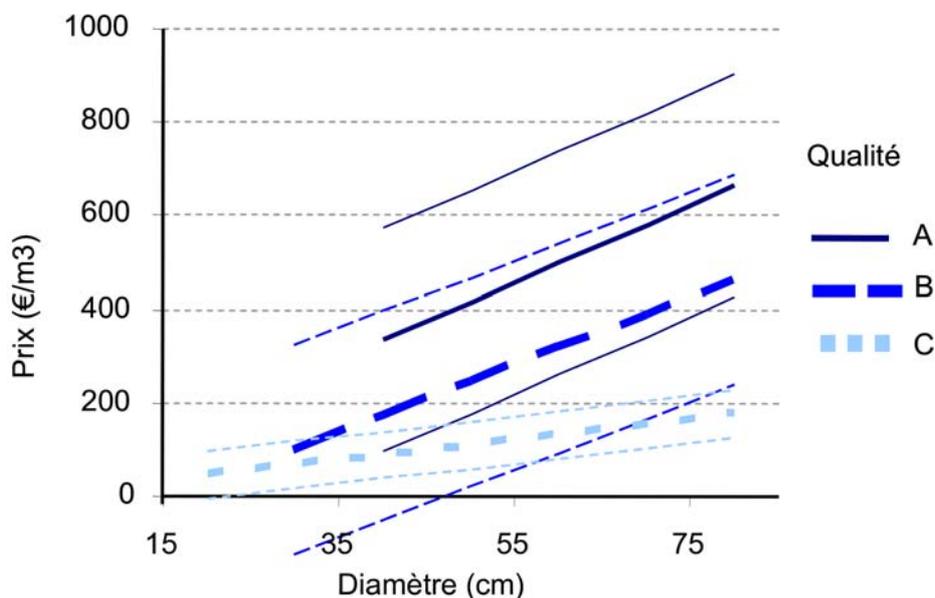


FIG. F30: Prix prédits et intervalles de confiances approximatifs à 95% en fonction du diamètre et de la qualité d'après le modèle (E 9).

Il est ainsi possible d'appréhender de façon globale l'influence de la qualité et du diamètre sur les prix. Cependant, à la lumière des importants intervalles de confiance, cette façon de mesurer les effets "diamètre" et "qualité" n'est pas satisfaisante. Comme souligné dans la partie précédente, il est nécessaire de prendre en compte un effet "acheteur". Un modèle comme le précédent nécessite jusqu'à 16 paramètres. Le nombre de soumissions pour chaque acheteur étant parfois très limité, il n'est donc pas envisageable de les traiter individuellement. De plus, les statistiques générales de vente (Annexe B, tableau B.2) montrent que certains acheteurs semblent tout de même avoir des comportements assez proches. Il est donc intéressant de voir dans quelle mesure il est possible de créer des groupes d'acheteurs homogènes, autrement dit de réaliser une typologie de cette population.

2.4.2.2 Typologie des acheteurs de la vente de Bad Mergentheim

Notre première démarche a bien sûr été d'utiliser les groupes d'acheteurs tels qu'ils étaient définis dans les fichiers. Cette démarche n'a pas été fructueuse, notamment à cause du fait que, à part les cas des merrandiers et des trancheurs, il existe au sein de ces groupes une forte variabilité du niveau de soumission (voir annexe B, tableaux B.1 et B.2). Nous avons donc entrepris de réaliser une typologie des acheteurs. Nous allons nous baser pour cela sur quatre paramètres : la soumission, le diamètre des pièces, la classe de qualité des pièces et l'éloignement de l'acheteur.

Pour les trois premières variables, le minimum, le maximum, la moyenne et l'écart-type sont utilisés. La variable "qualité" a été auparavant transformée en variable quantitative en utilisant la relation (E 5).

Une analyse en composantes principales (ACP) sur ces variables a été réalisée, suivie d'une classification ascendante hiérarchique à partir des axes de cette ACP (critère de Ward, ([8], p.90)). Cette classification permet de dégager six groupes, présentant les caractéristiques suivantes :

- groupe 1 : constitué par les acheteurs C05, C06, C07, C08, C10. Ce groupe correspond au groupe des "trancheurs" ;
- groupe 2 : constitué par les acheteurs C24 et C25. Il s'agit du groupe des "merrandiers" ;
- groupe 3 : constitué par les acheteurs C11, C14, C16, C18. Il s'agit d'une division regroupant commerçants, scieurs et artisans, caractérisée par une forte valorisation des produits ainsi qu'une large gamme de soumission. Il sera qualifié de groupe "haute valorisation" ;
- groupe 4 : constitué par les acheteurs C09 et C22, groupe de scieurs et commerçants, avec des soumissions assez fortes et très peu variables. Il sera qualifié de groupe "scierie de qualité spécialisée" ;
- groupe 5 : constitué des acheteurs C01, C02, C03, C04, C12, C20, C23, groupe de scieurs et commerçants plus un merrandier. Ce groupe présente un niveau de soumission plus faible. Il sera qualifié de groupe "scierie de qualité moyenne" ;
- groupe 6 : constitué par les acheteurs C15 et C19. Groupe caractérisé par de faibles soumissions, très peu variables et une activité vraisemblablement artisanale. Ce groupe sera qualifié de groupe "petite scierie".

Il est intéressant de constater que, à partir des seules variables liées aux soumissions, il est possible de retrouver des groupes d'acheteurs ayant un sens par rapport à l'information dont nous disposons sur leurs activités. Cette remarque, en plus de l'analyse de la partie II.4.1, montre que le type d'acheteur structure fortement les prix. Nous allons donc prendre ces groupes en considération pour poursuivre la modélisation des prix.

2.4.2.3 Effets "diamètre" et "qualité" par groupe d'acheteurs

Les analyses de la section (II.4.3) ont mis en avant que, au vu du faible nombre de lots contenant plusieurs qualités, il n'est pas vraiment possible de distinguer un effet significatif du mélange, à part pour les lots contenant de la qualité C. En raison du faible nombre de lots mélangés, nous allons donc procéder à un regroupement. Pour ce faire, nous allons attribuer à chaque lot mélangés une classe de qualité A, B ou C suivant le niveau de prix leur correspondant. L'analyse de la figure (F31) nous permet de qualifier le mélange (B et C) en "qualité C" et le mélange (A et B) en "qualité B".

Le but de cette démarche est de créer des groupes de lots homogènes afin de mesurer l'influence du diamètre et de la qualité sur les prix en fonction des groupes d'acheteurs définis précédemment. Pour ce faire, nous allons ajuster le modèle linéaire (E 10) pour chaque groupe d'acheteurs. Ce modèle est directement issu du modèle (E 9). En fait, la simplification concernant les lots mixtes transforme la variable R_k en variable indicatrice. Le prix devient donc une fonction linéaire du diamètre moyen du lot C_k .

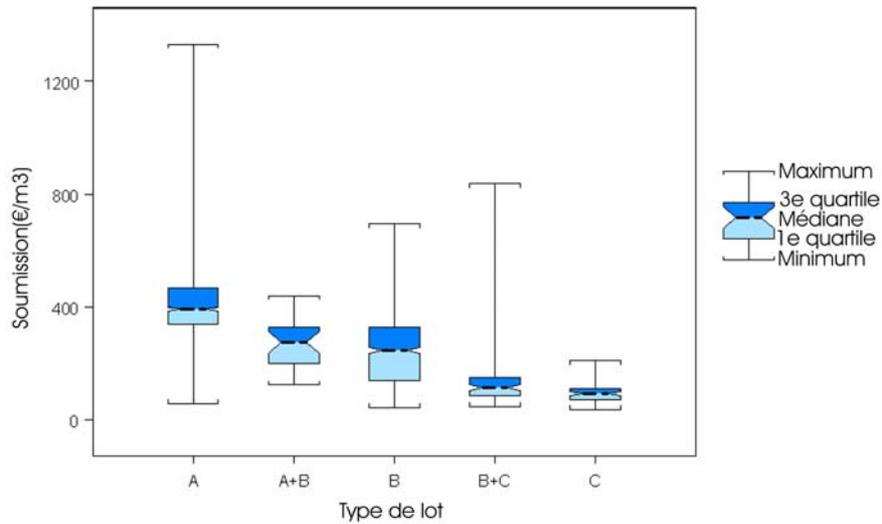


FIG. F31: Boîtes à moustaches des soumissions en fonction des qualités présentes dans le lot.

$$S = \sum_k (k_1 + k_2 \times C_k) \mathbb{1}_k + \varepsilon \quad (\text{E } 10)$$

Avec :

- S : soumission en €/m³ ;
- C_k : diamètre moyen pondéré par le volume en cm ;
- $\mathbb{1}_K$: variable indicatrice de la qualité K ;
- ε : résiduelle, iid $\mathcal{N}(0, \sigma)$.

Il est intéressant de constater l'amélioration de la qualité des modèles lorsque l'on prend en considération l'activité de l'acheteur (tableau T15). Trancheur mis à part, le RMSE diminue pour l'ensemble des groupes. Le R^2 reste proche de 0,83 pour les deux derniers groupes mais gagne au moins 10% pour l'ensemble des autres groupes.

Nous retrouvons par cette modélisation les fortes différences pouvant exister entre les niveaux de soumission par acheteur. Il est intéressant également de constater que l'effet de la qualité existe, notamment entre les qualités A ou B et la qualité C. La différence entre les qualités A et B est parfois moins marquée.

Nous désirons à présent aller plus loin dans l'analyse, à savoir lier le prix de la grume individuelle à ses caractéristiques propres. Nous allons donc maintenant mettre en application cette approche sur les grumes vendues individuellement.

2.4.3 Prise en compte des dimensions et de la qualité des pièces pour modéliser le prix au m³ des grumes vendues individuellement

Comme exposé lors de la présentation de la vente (partie 2.2.3.4), 181 grumes de Chêne ont été proposées individuellement à la vente. Sur ces grumes, 2 n'ont pas reçu de soumission et les 179 restantes se partagent 1 207 soumissions. Le modèle étudié pour tester l'évolution du modèle

Effectif	a_1 (€·m ⁻³)	a_2 (€·m ⁻³ ·cm ⁻¹)	b_1 (€·m ⁻³)	b_2 (€·m ⁻³ ·cm ⁻¹)	c_1 (€·m ⁻³)	c_2 (€·m ⁻³ ·cm ⁻¹)	R ²	RMSE (€·m ⁻³)
Modèle général								
427	NS	8,72	NS	5,19	NS	3,27	0,83	121
Groupe 1 : Trancheurs								
219	-388	15,37	NS	6,21	639	NS	0,88	184
Groupe 2 : Merrandiers								
259	298	1,93	NS	5,69	175	NS	0,97	69
Groupe 3 : Scierie de haute valorisation								
235	NS	6,20	NS	5,20	158	NS	0,93	97
Groupe 4 : Scierie de qualité spécialisée								
62	220	3,58	NS	7,03	NS	NS	0,99	36
Groupe 5 : Scierie de qualité moyenne								
299	NS	3,76	NS	3,90	126	NS	0,84	87
Groupe 6 : Petite Scierie								
20	NS	NS	NS	2,85	NS	125,4	0,83	61

TAB. T15: Paramètres du modèle E 10 estimés sur l'ensemble des lots et décliné en fonction du groupe d'acheteur permettant de modéliser la soumission maximale en fonction du diamètre et de la qualité. Travail sur tous les lots.

lorsque l'on étudie les grumes individuelles est de même forme que précédemment (E 10). Les résultats sont reportés dans le tableau (T16).

A partir du tableau (T16), nous pouvons déjà voir que les coefficients associés à la qualité sont presque systématiquement non significatifs. Rappelons que seul 1% du volume des grumes vendues individuellement étaient de qualité C (voir figure F26).

Nous pouvons également constater que le groupe 6 n'a réalisé que 2 soumissions sur les grumes individuelles. Pour cette raison, nous avons décidé d'exclure ce groupe 6 des analyses des prix des grumes vendues individuellement.

Les valeurs des paramètres du modèle général sont très proches de celles du modèle du groupe 1 (respectivement $a_1=9,11$ et $9,58$ €/m³, $b_2=6,41$ et $6,76$ €/m⁻³·cm⁻¹ et les autres paramètres sont non significatifs). Rappelons que, dans chaque cas, nous étudions le prix de la soumission maximale. Cela signifie que les trancheurs ont un poids important dans le déterminisme des prix puisque, en nombre de soumissions, ces derniers emportaient 87 lots sur 179.

Enfin, il est intéressant de constater la similitude des valeurs des coefficients entre l'étude réalisée à partir de l'ensemble des grumes et celle réalisée à partir des grumes individuelles. Par exemple pour le groupe 3, a_2 vaut respectivement $6,20$ et $6,22$ €/m³ et b_2 $5,20$ et $5,40$ €/m⁻³·cm⁻¹. De même, l'ensemble des coefficients associés à b_1 ou à c_2 ne sont pas significatifs.

Cette dernière étude des prix à partir des caractéristiques dimensionnelles et qualitatives des grumes individuelles, connues d'après le catalogue de vente, permet de confirmer, pour l'échelle d'étude nous intéressant, les résultats du point 2.4.1 :

- le type d'acheteur structure fortement les prix ;
- le diamètre, la qualité et l'acheteur permettent de donner des bonnes tendances en ce qui

Effectif	a_1 (€·m ⁻³)	a_2 (€·m ⁻³ ·cm ⁻¹)	b_1 (€·m ⁻³)	b_2 (€·m ⁻³ ·cm ⁻¹)	c_1 (€·m ⁻³)	c_2 (€·m ⁻³ ·cm ⁻¹)	R ²	RMSE (€·m ⁻³)
Modèle général								
179	NS	9,11	NS	6,41	NS	NS	0,86	217
Groupe 1 : Trancheurs								
143	NS	9,58	NS	6,76	NS	NS	0,88	216
Groupe 2 : Merrandiers								
152	NS	6,74	NS	5,94	NS	NS	0,97	78
Groupe 3 : Scierie de haute valorisation								
158	NS	6,22	NS	5,40	208	NS	0,93	105
Groupe 4 : Scierie de qualité spécialisée								
37	268	2,86	NS	7,54	NS	NS	0,99	31
Groupe 5 : Scierie de qualité moyenne								
74	NS	3,84	NS	4,44	NS	NS	0,80	125
Groupe 6 : Petite scierie. Exclu de l'analyse car seulement 2 soumissions								

TAB. T16: Paramètres du modèle E 10 estimés sur les grumes vendues individuellement et décliné en fonction du groupe d'acheteur permettant de modéliser la soumission maximale en fonction du diamètre et de la qualité.

concerne la modélisation des prix ;

- l'erreur moyenne reste élevée ce qui justifie l'objectif de la thèse à savoir la recherche d'un lien entre les prix et les caractéristiques qualitatives de grumes décrites par davantage d'informations que celles données dans les catalogues de vente, à savoir l'inventaire précis des différentes singularités.

2.5 Conclusion

Afin de relier le prix d'une grume à ses caractéristiques, nous avons décidé d'étudier une vente de grumes proposant un nombre de lot non négligeable constitués d'une seule pièce. Ce mode de vente est couramment usité en Allemagne pour la vente de grumes de bonne qualité. Nous nous sommes donc penché sur le cas de la vente de Bad Mergentheim à laquelle nous avons pu avoir accès grâce à nos collègues allemands.

La modélisation des prix au cours de cette vente est délicate. Afin de dégager les tendances générales, certains regroupements ont été nécessaires.

Nous avons constaté un fort déséquilibre des soumissions entre type d'acheteur, et notamment la forte singularité du groupe des trancheurs qui soumissionnent généralement à un niveau bien supérieur aux autres. Dès lors, et notamment pour les grumes individuelles, ce sont eux qui obtiennent une forte proportion des lots et structurent ainsi fortement les prix de ventes. Afin de ne pas réaliser un modèle de prix propre à une seule activité et pour prendre en compte le fait que l'activité est importante dans la formation des prix, nous avons donc décidé de travailler par groupes d'acheteurs.

Des groupes étaient déjà définis dans les données auxquelles nous avons accès. Cependant, ces groupes étaient parfois hétérogènes en terme de niveau de soumission, notamment pour les groupes dont la définition englobe des activités assez variées, comme "scierie" ou "commerce". Nous avons donc réalisé une typologie de la population d'acheteurs basée sur les caractéristiques des soumissions et des lots. A partir de cette typologie, 6 groupes au comportement homogène ont pu être identifiés. La prise en compte de cette typologie a permis d'améliorer la modélisation. Soulignons également le cas du groupe "petite scierie" qui, du fait de sa quasi-absence de soumissions sur des grumes individuelles, n'apparaît plus à partir de ce stade dans les analyses portant sur les prix des grumes.

Enfin, nous avons été confronté à une définition de la qualité parfois confuse, notamment en ce qui concerne la qualité TF. Le fait qu'il existe cette classe, basée sur une utilisation potentielle, est une gêne à la modélisation. De plus, comme nous l'avons vu précédemment, les trancheurs qui, rappelons-le, sont destinataires de cette qualité, proposent des prix très supérieurs aux autres activités. Dès lors, en cas de doute entre une qualité TF et une qualité B, l'agent responsable du classement penche plutôt pour la qualité TF. Ce comportement est encore plus accentué pour la qualité A, puisqu'un seul groupe d'agents a fait la distinction entre la qualité A et la qualité TF. Pour cette raison, nous avons été amené à regrouper les qualités A et TF.

A l'aide de ces regroupements en classes homogènes, nous sommes parvenu à dégager des tendances générales en ce qui concerne les effets "qualités", "acheteurs" et "dimensions" sur les prix des lots. Nous avons pu notamment constater que la modélisation des prix de l'ensemble des lots comme une somme de fonctions linéaires du diamètre en fonction de la qualité permettait d'obtenir de très bons R^2 . Il est intéressant de noter que pour ces droites, en ce qui concerne la qualité B et quel que soit le groupe d'acheteur, l'ordonnée à l'origine est nulle. En ce qui concerne la qualité C, nous n'avons pas constaté d'effet du diamètre sur les prix puisque ces droites se présentent sous la forme d'une constante dans nos modèles. Ces résultats sont semblables lorsque l'on s'intéresse uniquement aux grumes individuelles avec, pour la qualité A, le même phénomène que pour la qualité B, à savoir une ordonnée à l'origine nulle.

L'élaboration de ce modèle a également permis de mettre en évidence certaines différences par rapport aux ventes de bois façonnés étudiées durant notre DEA. Nous constatons au travers de l'analyse de la vente de Bad Mergentheim une forte structuration des prix par le type d'acheteur que nous n'avions pas pu mettre en évidence précédemment. Cette constatation aura pour conséquence, dans cette étude, de décliner les différents modèles en fonction du groupe d'acheteurs. D'autre part, l'effet du mélange des lots rencontré dans les ventes mosellanes ne se retrouve pas ici. Deux éléments permettent de l'expliquer. D'une part à partir des qualités telles qu'elles sont définies dans le catalogue des ventes, il existe que peu de lots mélangés. D'autre part, nous avons vu que la définition de la qualité des grumes allemande semble être moins intégrée par les utilisateurs que celle des grumes mosellanes d'où la difficulté à mesurer un éventuel effet de mélange.

D'après les différents calculs d'erreur moyenne et en conséquence de ce qui vient d'être exposé, les estimations sont encore très peu précises. Pour répondre à la problématique de la thèse, nous souhaitons à présent améliorer la qualité de cette modélisation, en utilisant comme définition de la qualité, non plus la classe de qualité telle qu'elle est donnée dans le catalogue de vente, mais plutôt une mesure objective de la qualité de la grume via l'inventaire de ses défauts.

3

Relation entre le prix de la grume individuelle et ses singularités

Sommaire

3.1	Mesure des défauts individuels	64
3.1.1	Présentation des contraintes	64
3.1.2	Choix de la méthode : photogrammétrie à partir de photographies numériques	65
3.1.3	Protocole de mesure sur le terrain	66
3.1.4	Protocole d'échantillonnage	67
3.1.5	Exploitation des données de terrain au laboratoire	67
3.1.6	Évaluation de la précision de la méthode photogrammétrique pour la mesure des caractéristiques des grumes individuelles	71
3.1.7	Résultats de la mesure des singularités sur les grumes vendues individuellement	73
3.1.8	Conclusion	75
3.2	Relation entre le prix des grumes individuelles et les singularités : première approche par le modèle linéaire	76
3.2.1	Description de la variable d'étude : le prix au m ³	76
3.2.2	Modélisation des prix en fonction des singularités	79
3.2.3	Bilan de l'étude des prix par régression linéaire	94
3.3	Prise en compte de l'importance des défauts à l'aide des arbres de régression et des forêts aléatoires	98
3.3.1	Présentation des arbres de régression	98
3.3.2	Présentation des forêt aléatoires de Breiman	101
3.3.3	Application des forêts aléatoires pour hiérarchiser l'importance des défauts	101
3.4	Synthèse de l'étude des prix à l'aide des régressions linéaires et des forêts aléatoires	103

À la suite de l'étude des résultats globaux de la vente, nous désirons à présent focaliser notre attention sur les 181 grumes vendues individuellement. Le première étape de ce travail a consisté à élaborer un protocole de mesure nous permettant de réaliser la cartographie des singularités pour chaque grume. Nous avons utilisé ensuite les différentes mesures de ces singularités pour modéliser les prix des grumes individuelles selon deux approches : la régression linéaire et les forêts aléatoires.

3.1 Mesure des défauts individuels

L'objet de cette partie est de présenter la métrologie employée pour mesurer les défauts présents sur les grumes mises en vente. Pour ce faire, nous présentons en premier lieu les contraintes auxquelles nous avons dû faire face. De ces contraintes découle le choix de la méthode de mesure employée. Nous verrons ensuite plus en détail le protocole de terrain mis en œuvre pour acquérir les données, puis celui de laboratoire pour les traiter. Nous finirons cette partie par une évaluation de la précision de la méthode.

3.1.1 Présentation des contraintes

Comme évoqué dans les sections précédentes, l'étude s'est déroulée au cours d'une vente aux enchères. L'organisation de cette vente, décrite dans la partie (II.2.2) et illustrée par la figure (F23), a permis de définir un certain nombre de contraintes :

- comme il s'agissait d'une disposition des grumes faite pour une vente et que nous souhaitions faire les mesures durant cette période d'exposition des grumes, ces dernières devaient rester visibles pour les acheteurs potentiels qui se trouvaient sur la place de vente en même temps que nous. De plus, nous ne devons pas modifier la disposition des grumes pour ne pas modifier les conditions de présentation de la vente. Il n'était de ce fait pas possible de déplacer les grumes ou de les endommager par une découpe de section ou un carottage par exemple. La méthode devait donc être non destructive, utilisable en extérieur et maniable ;
- les grumes n'étaient présentes que quelques semaines et les finances disponibles pour réaliser l'étude étaient également limitées. La méthode devaient donc être suffisamment rapide pour obtenir un maximum de données en un temps limité ;
- la taille des grumes était très variable. La méthode devait donc pouvoir s'adapter à des objets de 2 à 10 mètres de long ;
- l'objectif de la méthode était de réaliser une cartographie des défauts. Elle devait donc autoriser la connaissance du nombre et de la position des défauts externes.

3.1.2 Choix de la méthode : photogrammétrie à partir de photographies numériques

Toutes les contraintes mentionnées précédemment sont parfaitement compatibles avec les outils photogrammétriques. Comme suite au développement récent des appareils photographiques numériques, il est notamment possible de réaliser rapidement un nombre important de prises de vues d'une grume à moindre coût. L'appareil photographique est facilement transportable. De plus, les photographies sont directement numérisées, ce qui facilite leur traitement.

Pour les différents avantages mentionnés précédemment, la photogrammétrie est un outil qui tend à se développer dans le milieu forestier, notamment pour retrouver les caractéristiques de peuplement ([102], [124], [152], [158]).

A l'échelle qui nous intéresse, à savoir celle de l'arbre individuel, Dean ([51]) a calculé le volume du tronc et des branches à partir de photographies numérisées. Sinoquet et Rivet ([146]) ont utilisé un digitaliseur 3D¹¹ magnétique pour mesurer l'architecture en 3D des arbres. Plus récemment, Phattaralerphong et Sinoquet ([127]) ainsi que Sonohat *et al.* ([148]) ont développé une méthode permettant de reconstruire le volume du houppier en 3D à partir de photographies prises sous divers angles de vue.

Plusieurs logiciels commerciaux proposent des solutions pour reconstruire à partir de photographies numériques les objets en 3D. Ces différents logiciels sont plus ou moins adaptés à une taille d'objet donnée et sont plus ou moins contraignants en terme de calibrage.

Le logiciel à sélectionner pour notre travail devait permettre la mesure d'objets de 2 à 10 m de long et un mode de calibrage compatible avec la disposition des arbres et s'adaptant aux conditions de travail en extérieur. Notre choix s'est porté sur Photomodeler Pro ([66]). Une version précédente de ce logiciel a été évaluée par Deng et Faig ([54]) sur des objets de tailles très différentes (une plaque de 17 cm×17cm et une maison de 7m×8m et de 4m de haut). Ils indiquent que la précision sur les coordonnées spatiales des objets dans l'espace est suffisante pour de nombreuses applications pratiques.

La démarche pour reconstituer un objet en 3 dimensions est la suivante ([66]) :

- calibrer l'appareil photographique. Cette étape consiste à photographier une grille projetée depuis une diapositive. Cette démarche permet de déterminer la focale et la distorsion de l'appareil ;
- planifier les photographies à réaliser. Dans notre cas nous faisons le tour de la grume en prenant des photographies sous différents angles. Cet échantillon de photographies était complété par des prises de vue plus globales de la grume ;
- réaliser les photographies ;
- importer les photographies dans le logiciel ;
- marquer sur chaque photographie des caractères d'intérêt. Un caractère d'intérêt peut être un point, une droite, un angle ou une courbe ;
- identifier et marquer, d'une photographie à l'autre, les caractères d'intérêt communs ;

¹¹3 dimensions

- lancer le programme qui permet d’assigner à chaque caractère d’intérêt ses coordonnées dans l’espace.

3.1.3 Protocole de mesure sur le terrain

Le protocole de terrain commençait par la préparation des grumes. Afin de disposer de suffisamment de caractères d’intérêt, nous avons utilisé deux types d’éléments :

- de part et d’autre des grumes, des règles et des équerres étaient disposées. Ces marques permettaient de préciser les lignes droites et les angles. De plus, elles se retrouvaient sur l’ensemble des photographies, ce qui permettait de faciliter par la suite la reconstruction en 3D ;
- d’autre part, des rubans marqués étaient enroulés autour de la grume tous les mètres. Ce sont ces marques qui servaient à la reconstruction en 3D de la grume. En outre, elles permettaient par la suite de redonner une échelle à l’objet reconstitué en 3D.

La grume ainsi équipée, prête à être photographiée, est présentée figure (F32).

Nous avons également disposé devant chaque section de la grume une palette de carreaux de couleur permettant par la suite d’estimer certaines caractéristiques colorimétriques des sections.



FIG. F32: Grume prête à être photographiée après disposition des règles, des équerres, des rubans et de la palette de couleurs de référence.

Les prises de vues de l’objet pouvaient alors débuter. Nous avons utilisé pour cela un Nikon Coolpix 4 600 de résolution 4 méga pixels. Une trentaine de photographies de la grume étaient réalisées sous différents angles. Les photographies ont ensuite été transférées sur micro-ordinateur et archivées.

3.1.4 Protocole d'échantillonnage

La durée de préparation puis de photographie a limité matériellement le nombre de grumes qu'il était envisageable de mesurer. Dans la pratique, il fallait compter une quinzaine de grumes par jour. Il était donc nécessaire de réaliser un échantillonnage des grumes étudiées. Cet échantillonnage a été réalisé en deux phases.

La première phase était préparatoire. À partir des données du catalogue des ventes, il était possible de présenter les grumes sur une grille diamètre×longueur (voir Annexe B, figures B.5, B.6, B.7 et B.8). Au travers de ce travail, nous adoptons une démarche explicative. C'est pourquoi avons recherché à disposer des effets des variables sur l'ensemble de leur domaine de variation. Nous avons donc réalisé un échantillonnage stratifié à partir de ces grilles qui ont servi de trame pour :

1. échantillonner sur l'ensemble de l'espace ;
2. moduler notre fréquence d'échantillonnage en fonction de la densité de points.

La deuxième phase consistait à repérer les singularités. Conjointement aux photographies, nous élaborions une liste des défauts rencontrés sur chaque grume. Ainsi, pour chaque jour de travail sur une place de vente, nous disposions d'un inventaire des défauts rencontrés et des grumes mesurées. Il était ainsi possible de vérifier que les deux conditions d'échantillonnage précédentes étaient vérifiées et de réaliser une synthèse des défauts rencontrés. Cette vérification était d'autant plus importante que l'ensemble des grumes était réparti sur quatre sites. Pour optimiser notre rendement, nous devons limiter les déplacements entre les sites. L'échantillonnage se faisait donc au sein d'une sous-population et il fallait ensuite le ramener à l'ensemble de la population, à savoir les lots de grumes individuelles de la vente. À partir de la projection des individus déjà photographiés (figure F33), nous déterminions quels étaient les critères dimensionnels des futures grumes candidates pour être photographiées ainsi que les défauts mal représentés dans la population déjà mesurée. Le jour suivant, nous cherchions donc, parmi les grumes candidates, celles qui présentaient les défauts mal représentés jusque là.

Au final, 81 grumes ont été mesurées, soit plus de 2 400 photographies. La figure (F33) indique leur répartition.

3.1.5 Exploitation des données de terrain au laboratoire

La phase de laboratoire consistait à marquer sur le logiciel les points semblables des critères d'intérêt entre les photographies prises deux à deux (figure F34). Le rendu final est présenté figure (F39).

Les défauts étaient ensuite mesurés et inventoriés dans une base de données. Nous les présentons ici dans un ordre allant des acquisitions les plus brutes à celles nécessitant un traitement plus pointu.

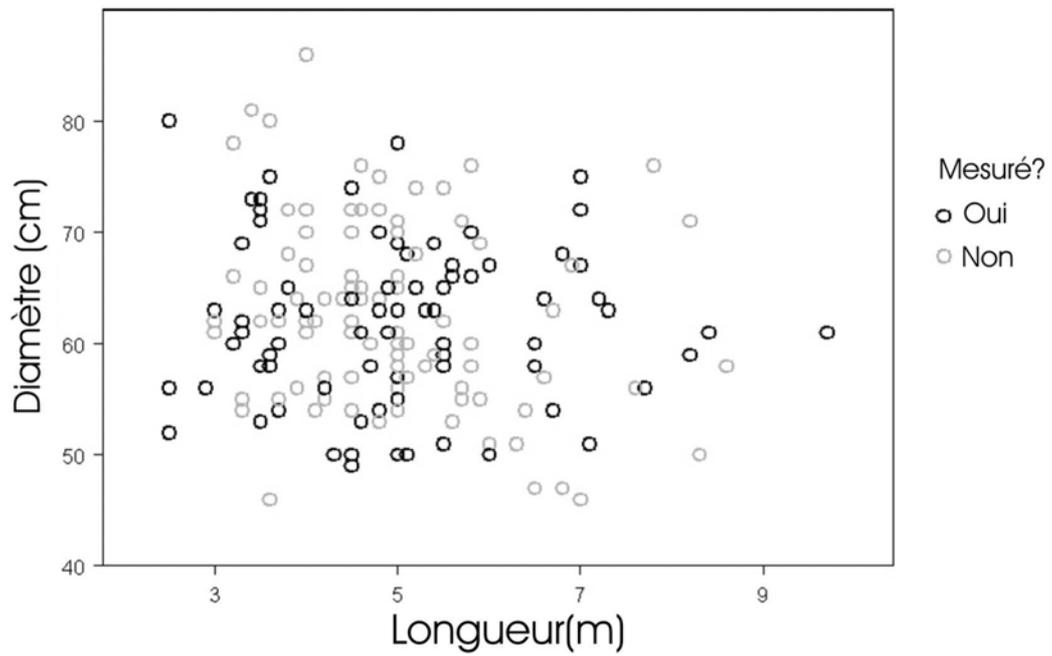


FIG. F33: Répartition des 81 grumes photographiées sur l'espace diamètre×longueur en vue d'une reconstitution en 3D.

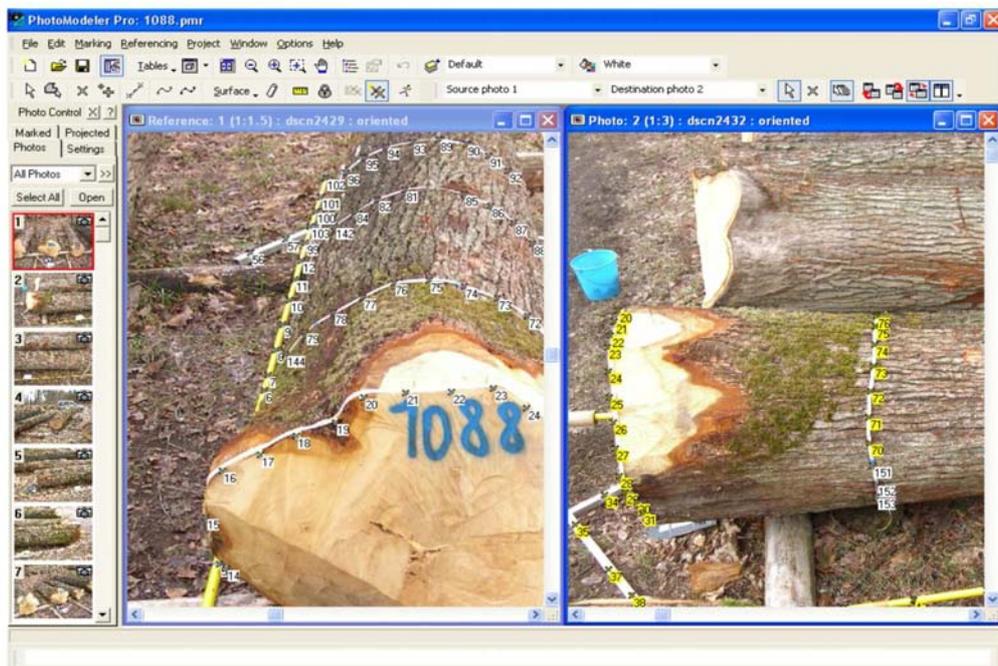


FIG. F34: Copie d'écran illustrant le fonctionnement de Photomodeler.

3.1.5.1 Localisation

Pour les roses et broussins, la mesure du défaut consistait en la localisation spatiale du défaut. Cette localisation spatiale était accompagnée, pour les roses, d'une note d'évaluation de la gravité du défaut, allant de 1 à 3 suivant leur diamètre. Nous avons l'intention d'appliquer le même barème aux nœuds sains et aux nœuds noirs et pourris, mais nous n'avons pas rencontré ces défauts sur la place de vente.

3.1.5.2 Longueur

Pour les défauts concernant les fentes, nous avons mesuré la longueur de la fente. Il s'agit des fentes de cœur et de la roulure. Nous avons également mesuré la largeur d'aubier en prenant une moyenne de la largeur mesurée sur 4 rayons de la grume.

3.1.5.3 Rapport de longueur

Pour calculer la courbure moyenne de la grume, nous avons mesuré le rapport entre la longueur de la courbure et la flèche de l'arbre, comme il est précisé dans la partie (I.2.3). L'angle du fil a été mesuré également par un rapport : celui de la déviation de l'écorce sur la longueur de grume étudiée. Nous renvoyons le lecteur à la partie (I.2.2) pour plus de détails.

3.1.5.4 Calcul du centre de gravité de la section

Pour mesurer l'excentricité de moelle, la connaissance du centre géométrique de la section est nécessaire. Pour estimer le centre de gravité, nous avons utilisé l'estimateur (E 11) (voir aussi figure F35, inspiré de ([142])).

$$\sum_{i=1}^n S_{MA_iA_{i+1}} \overrightarrow{GT_{MA_iA_{i+1}}} = \vec{0} \quad (\text{E 11})$$

Avec :

- G le centre de gravité de la section ;
- M un point de la section ;
- A un point de la circonférence ;
- $S_{MA_iA_{i+1}}$ la surface du triangle MA_iA_{i+1} ;
- $T_{MA_iA_{i+1}}$ le centre de gravité du triangle MA_iA_{i+1} .

Le centre de gravité permet de calculer le diamètre moyen (E 12), l'excentricité (E 13) et le méplat (E 14) .

$$\mathcal{O}_m = 2 \times \frac{\sum_i^n \|\overrightarrow{GA_i}\|}{n} \quad (\text{E 12})$$

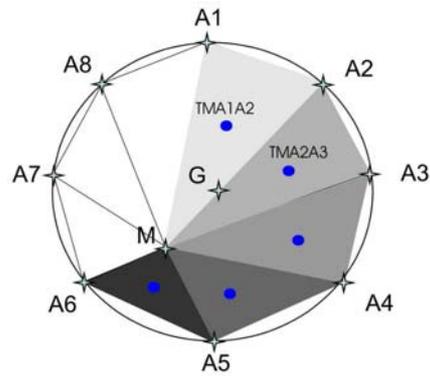


FIG. F35: Mode de calcul du centre de gravité G de la section.

$$Exc = \frac{\|\vec{PG}\|}{\varnothing_m} \quad (\text{E } 13)$$

$$Mep = \frac{R_{max} - R_{min}}{R_{max}} \quad (\text{E } 14)$$

Avec :

\varnothing_m diamètre moyen ;

G,A définis en (E 11) ;

Exc excentricité ;

P position de la moelle ;

Mep méplat ;

R rayon.

L'excentricité est alors la distance entre la moelle et ce centre de gravité. Elle est donnée en pourcentage du diamètre moyen. La connaissance du centre de gravité est un préalable pour calculer ce diamètre moyen, puisque le diamètre passe par ce centre de gravité. Connaissant le centre de gravité et les points de la circonférence, le diamètre moyen est calculé comme le double du rayon moyen et le méplat comme la différence entre le plus petit et le plus grand rayon. le méplat est également donné en pourcentage du plus grand rayon.

3.1.5.5 Longueur sans défauts

Pour calculer cette longueur, nous avons découpé virtuellement chaque grume au niveau de chaque défaut et parallèlement à la section. Nous avons ensuite conservé la mesure du plus grand billon obtenu.

3.1.5.6 Couleur de la section

Afin de mesurer la couleur de la section des grumes, une palette avec 6 couleurs de référence (voir figure F32) était photographiée en même temps que la section. À l'aide du logiciel Gimp ([4]), les composantes rouge, verte et bleue ont été mesurées en trois zones de la section aléatoirement choisies. Le blanc et le noir de la palette ont été également mesurés. Une correction linéaire a été appliquée à l'ensemble des coordonnées chromatiques pour amener toutes les coordonnées blanches à 0 et les coordonnées noires à 1. La moyenne des 9 coordonnées a été calculée pour donner une note de couleur qui correspond à la clarté de la section. L'écart type entre les 3 prises d'essai a également été calculé pour donner un indice de l'hétérogénéité de la couleur de la section.

Nous appellerons "Clarté" la moyenne obtenue, qui peut varier de 0 (blanc) à 100 (noir) et "Nuance" l'écart type obtenu entre les moyennes des 3 prises d'essai.

3.1.6 Évaluation de la précision de la méthode photogrammétrique pour la mesure des caractéristiques des grumes individuelles

Deux tests ont été réalisés afin d'évaluer la précision de la méthode photogrammétrique employée pour réaliser la cartographie des défauts.

Le premier test a consisté à vérifier les informations de longueur et d'angle données par le logiciel en les comparant aux gabarits utilisés. Nous avons en effet disposé sur le sol une équerre dont chaque côté mesurait un mètre de long. Ces deux mesures (longueur de l'équerre et angle) ont été réalisées sur les grumes reconstituées. Les histogrammes de l'erreur sont présentés figure (F36) et figure (F37). En ce qui concerne l'erreur moyenne sur la longueur, elle est de 1,1 cm. Pour la mesure de l'angle droit, elle est de 1,1°. Nous pouvons observer sur ces deux graphes autour de 5 valeurs extrêmes. Après vérification, ces valeurs correspondent à des cas où la reconstitution des grumes en 3D a posé certains problèmes : la grume photographiée était trop proche de grumes voisines, ou bien les conditions de lumière était défavorables, soit par excès, soit par manque.

Cette précision, bien que satisfaisante pour notre utilisation, peut néanmoins paraître assez moyenne. Nous avons en effet signalé dans le paragraphe précédent les difficultés rencontrées lorsque les grumes étaient trop proches. Une autre gêne de même nature est apparue avec les arbres encore debout, qui pouvaient empêcher certaines prises de vue. Comme indiqué précédemment, les conditions d'éclairage ont parfois nui à la qualité des photographies et perturbé voire empêché la reconstitution en 3D.

Pour connaître plus précisément les sources d'imprécision de notre méthode, nous l'avons testée en conditions de laboratoire (second test). Ce deuxième test a consisté à comparer la position de cibles sur une grume d'après la démarche décrite ci-dessus à celle obtenue à l'aide d'une méthode laser appelée AMEB (Appareil de Mesure de l'Enveloppe des Billons, [39]). Cet appareil développé au LERFoB est construit à partir d'un banc de tour (figure F38). Les grumes peuvent tourner autour de l'axe longitudinal. Le principe de la méthode est de mesurer la distance entre le capteur laser et la grume pour différentes positions du laser et différents angles de rotation pour la grume. Un point est ainsi défini par la distance au capteur, la position longitudinale du capteur et l'angle de rotation de la grume. La précision de l'AMEB est de 0,2 mm sur l'axe

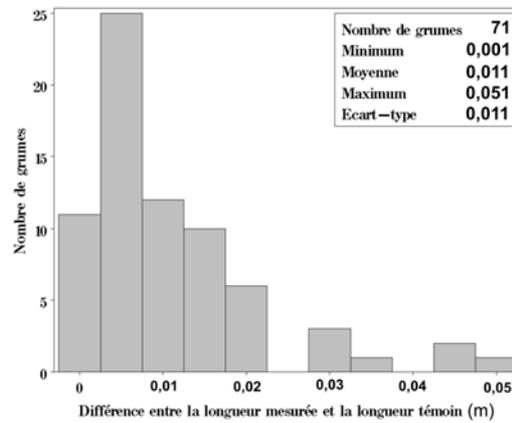


FIG. F36: Histogramme de la différence, en valeur absolue, entre la longueur de référence d'un témoin (1 m) et sa mesure par la méthode photogrammétrique. Les observations extrêmes correspondent à des grumes photographiées dans de mauvaises conditions : trop serrées, en sur ou sous-exposition lumineuse

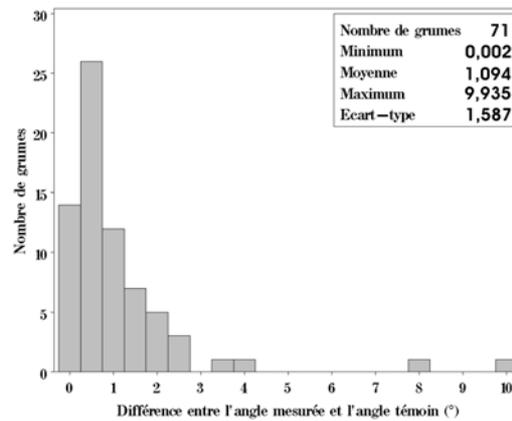


FIG. F37: Histogramme de la différence, en valeur absolue, entre l'angle de référence d'un témoin (90°) et sa mesure par la méthode photogrammétrique. Les observations extrêmes correspondent à des grumes photographiées dans de mauvaises conditions : trop serrées, en sur ou sous-exposition lumineuse

longitudinal et de 0,2 à 0,5 mm pour la distance entre le point et le capteur.

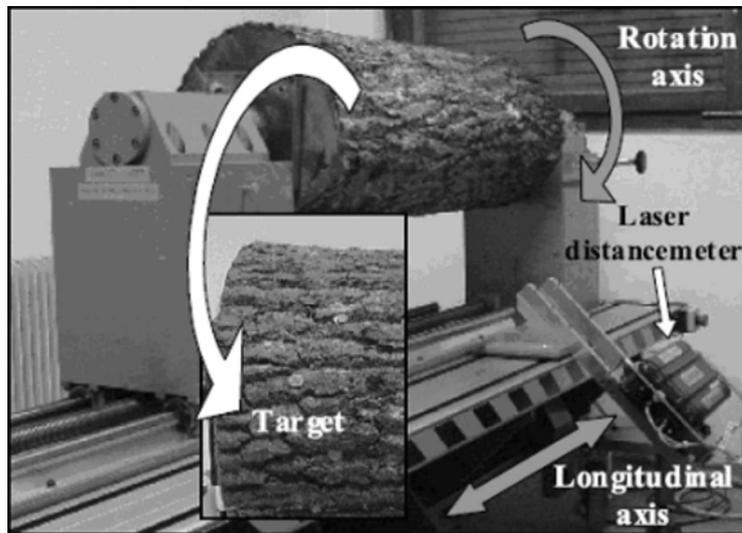


FIG. F38: Présentation de l'AMEB

L'inconvénient de l'AMEB est la taille limite des grumes pouvant être étudiées. Nous avons donc étudié une grume de 1,5 m de long et 45 cm de diamètre. Les représentations graphiques de la grume obtenues par les deux méthodes sont présentées sur la figure (F39).

Nous disposons, en plus de ces sorties graphiques, des coordonnées de 30 cibles dans l'espace. Nous avons réalisé un changement de base permettant de connaître la position de ces points dans un repère commun. Nous avons calculé ensuite l'écart existant entre le point mesuré par la méthode photogrammétrique et le point mesuré par la méthode laser. L'histogramme de ces distances est représenté sur la figure (F40). La précision de l'AMEB permet de se servir de cet appareil comme référence et de dire que l'erreur moyenne est de 0,8 cm avec un écart type de 0,5 cm en conditions de laboratoire.

3.1.7 Résultats de la mesure des singularités sur les grumes vendues individuellement

Sur les 81 grumes vendues individuellement et photographiées *in situ*, 72 ont pu être reconstituées. Sur ces 72 grumes, une n'a pas reçu de soumission et une autre présentait une lunure. La présence de ce défaut a entraîné une forte chute dans le prix de cette grume. Nous avons donc exclu ces deux grumes de l'étude et travaillons à présent avec un effectif de 70 grumes.

Les histogrammes ainsi que les principales statistiques des variables permettant de mesurer les défauts de ces 70 grumes, à savoir nombre de broussins, épaisseur d'aubier, excentricité, méplat, courbure, fil tors, diamètre moyen de la roulure, longueur de la roulure, longueur de fentes de pied, longueur des fentes en bout, nombre de roses de niveaux 1, 2 et 3 ainsi que couleur de l'échantillon, peuvent être consultés en annexe D.

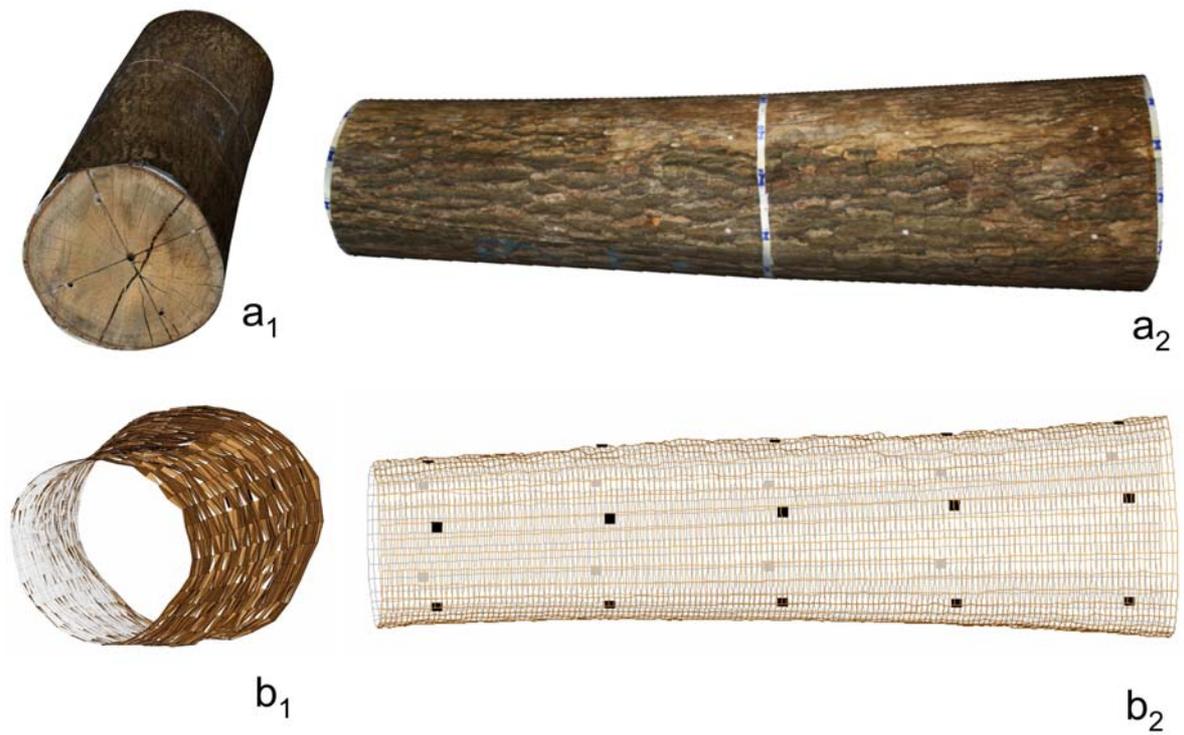


FIG. F39: Rendu des représentations de grumes en 3D.

1 : vue de face, 2 : vue de côté, a : réalisé avec Photomodeler ([66]), b : réalisé avec Bil3D ([157]), d'après les données de l'AMEB ([39]).

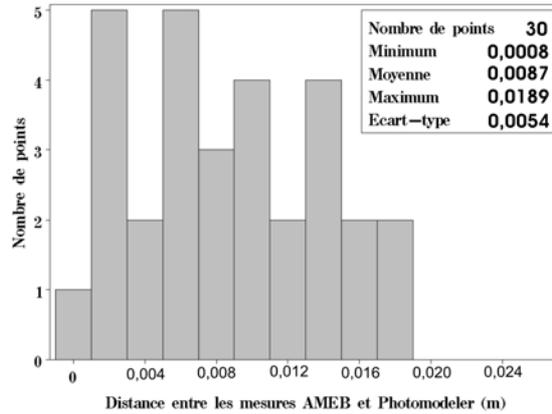


FIG. F40: Précision de la mesure des grumes par la technique photogrammétrique. Histogramme des distance entre la mesure des coordonnées d'un point à l'aide de Photomodeler ([66]) et celles mesurées par l'AMEB ([39]) servant de référence.

3.1.8 Conclusion

Nous avons vu dans cette section la méthodologie mise au point pour accéder à une mesure des différentes singularités de nos grumes. La précision de la mesure de la localisation des défauts dans l'espace est certes assez relative, mais elle nous est apparue suffisante par rapport à l'objectif visé. Nous allons à présent utiliser ces données pour étudier l'incidence des défauts sur les prix.

3.2 Relation entre le prix des grumes individuelles et les singularités : première approche par le modèle linéaire

Nous allons aborder au cours de cette partie la modélisation du prix des grumes individuelles en fonction des singularités. Rappelons que la variable d'étude est la soumission maximale. Dans le cas où nous déclinons l'étude en fonction du groupe d'utilisateurs, nous nous intéressons à la soumission maximale parmi les soumissions réalisées par les membres du groupe et ce, sans tenir compte des soumissions des utilisateurs des autres groupes.

3.2.1 Description de la variable d'étude : le prix au m³

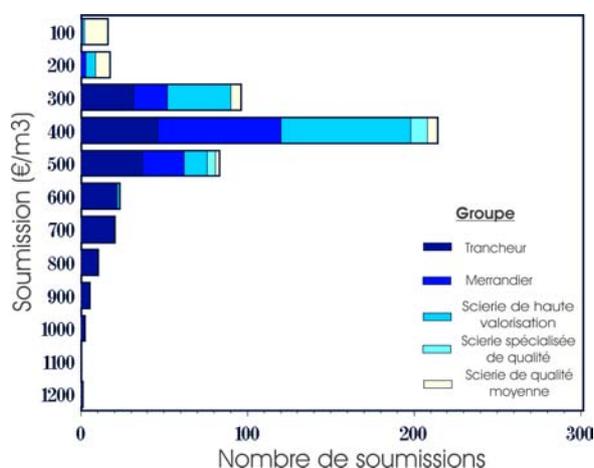


FIG. F41: Histogramme de l'ensemble des soumissions proposées en fonction du groupe d'acheteur pour les 70 grumes étudiées.

L'histogramme de l'ensemble des soumissions proposées pour les 70 grumes étudiées (F41) montre une très forte fréquence de soumissions (autour de 400 €/m³). Cette fréquence importante est particulièrement marquée pour les groupes d'acheteurs 2 ("Merrandier") et 3 ("Scierie spécialisée de qualité"). Le groupe 4 ("Scierie spécialisée de qualité") soumissionne très peu sur les grumes étudiées (seulement 15 soumissions), mais il le fait avec des soumissions assez fortes (plus de 431 €/m³) et très groupées (écart-type de 41 €/m³). Le groupe 5, comme pour le reste de la vente, soumissionne assez bas (222 €/m³).

En ce qui concerne les soumissions maximales, la moyenne des 70 grumes étudiées est de 456 €/m³, soit près de 100 € de plus que la moyenne des soumissions maximales pour l'ensemble des lots de la vente (361 €/m³ pour 427 lots) et 75 €/m³ de moins que la moyenne des soumissions maximales des grumes vendues individuellement (530 €/m³ pour 179 grumes). Cette dernière différence s'explique par le fait que nous avons privilégié un échantillonnage couvrant l'ensemble de l'espace diamètre×longueur. De ce fait, la proportion de grumes de grande taille et celles de petits diamètres est plus importante dans les grumes échantillonnées que dans la population des grumes vendues individuellement (voir figure F33, page 68). Or nous avons vu dans la partie II.2.3.2 que les grumes de grande taille ou de petit diamètre sont aussi celles présentant les prix

au m³ les plus faibles.

Afin de visualiser les relations pouvant exister entre les variables décrivant les grumes et les soumissions, une ACP a été réalisée avec la soumission maximale de chaque groupe en variable supplémentaire. Les figures (F42, F43) reproduisent le cercle des corrélations obtenu avec les trois premiers axes.

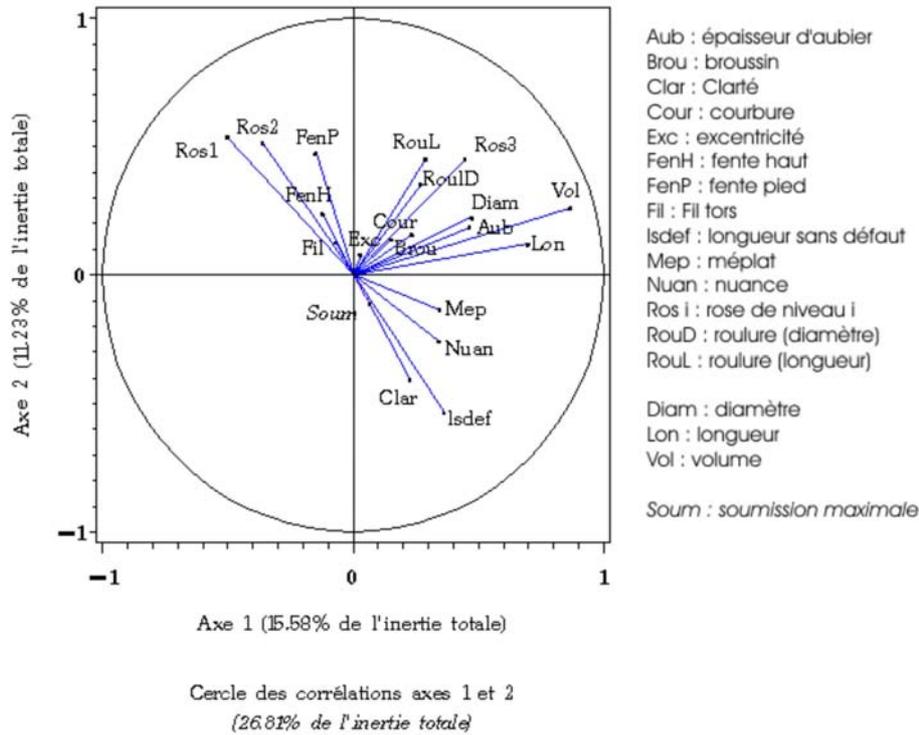


FIG. F42: Cercle des corrélations (Axes 1 et 2) des variables mesurant les caractéristiques (dimensions et singularités) des grumes individuelles étudiées. La soumission maximale figure en variable supplémentaire.

Les deux premiers axes représentent environ le quart de la variabilité totale. L'axe 2 est fortement corrélé aux variables dimensionnelles, à savoir le diamètre et le volume. Deux groupes de variables semblent se dégager, avec une subdivision possible du premier :

1. le premier cadran concentre de nombreuses variables qui semblent se scinder en deux faisceaux. Le premier, plus proche de l'axe des abscisses, est constitué des variables dimensionnelles : longueur, volume et diamètre. Ce faisceau inclut également l'épaisseur d'aubier qui est fortement corrélée au diamètre ;
2. l'autre faisceau, au niveau de la première bissectrice, regroupe les variables liées à la roulure (longueur et diamètre) ainsi que les roses de niveau 3. Entre ces deux faisceaux se trouvent, mais mal représentés dans ce plan, la courbure, l'excentricité et les broussins ;
3. le dernier groupe de variables est situé sur les deuxième et quatrième cadrans. Dans le deuxième cadran, en perpendiculaire à la première bissectrice, se retrouvent projetés les

roses de niveau 1 et 2, les fentes de pied et de haut de grume. On y trouve aussi le fil tors. Le quatrième cadran regroupe les variables liées à la couleur (nuance, clarté), ainsi que la longueur sans défaut et le méplat. La variable "Soumission maximale", utilisée en variable supplémentaire, figure également dans ce cadran. Elle est cependant très mal représentée dans ce premier espace.

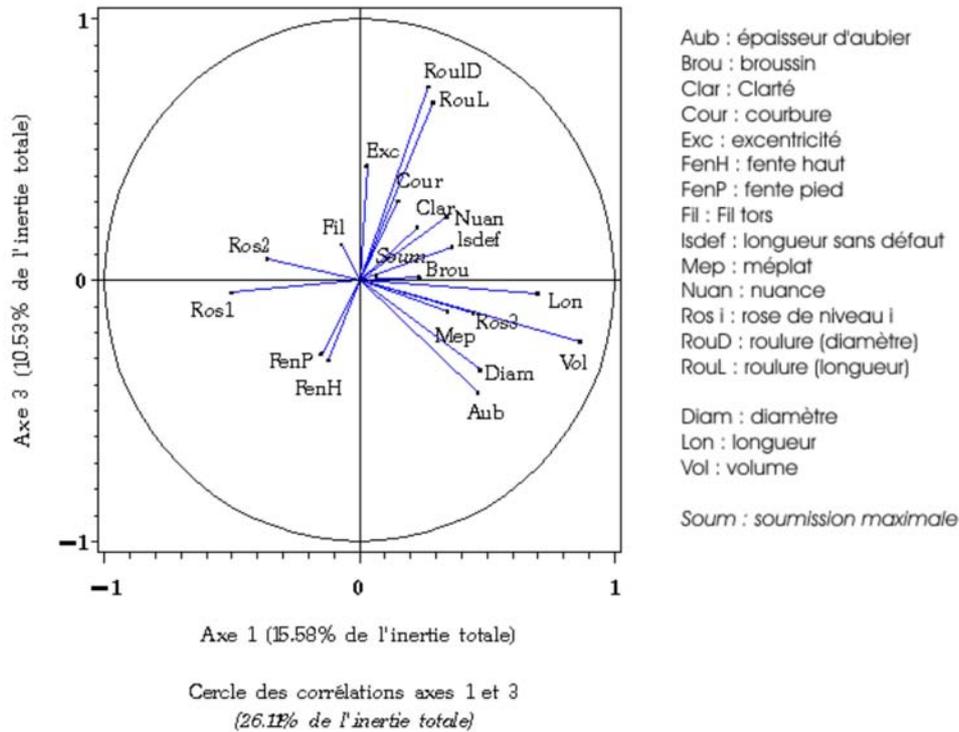


FIG. F43: Cercle des corrélations (Axes 1 et 3) des variables mesurant les caractéristiques (dimensions et singularités) des grumes individuelles étudiées. La soumission maximale figure en variable illustrative.

Le plan issu des axes 1 et 3 représente également le quart de la variabilité totale ($15,58 + 10,53 = 26,11\%$) (voir figure F43). Les variables sont cette fois beaucoup plus étalées sur le cercle des corrélations. Les variables issues d'une même singularité sont toujours fortement corrélées (diamètre et longueur de la roulure, fente de pied et fente en haut de grume, diamètre et épaisseur d'aubier, nuance et clarté). La variable soumission maximale se trouve très proche de l'origine du graphique montrant encore une mauvaise représentation dans ce plan.

Cette approche descriptive des variables explicatives et de la variable étudiée montre qu'il existe souvent de fortes corrélations entre les variables. Cette remarque est fondamentale pour nos interprétations futures bien que peu originale. D'autre part, à partir de ces observations et de celles des autres axes, la variable soumission semble ici mal assez corrélée aux autres variables, ce qui est le signe annonciateur de difficultés probables pour la modéliser simplement les prix en fonction des dimensions et surtout des défauts.

Après cette approche descriptive, il s'agit à présent de tenter de relier la soumission maximale aux variables mesurant les singularités.

3.2.2 Modélisation des prix en fonction des singularités

3.2.2.1 Notion de prix hédonistes

Dans sa forme la plus simple, la méthode des prix hédonistes cherche à expliquer le prix de vente d'un produit par la quantité de caractéristiques qu'il contient et à calculer le prix implicite de ces caractéristiques ([153]). La méthode est basée sur le principe que les biens ne sont pas des entités en soi, mais une combinaison d'attributs ou de caractéristiques ([13]). La différence de prix existant entre les biens d'un même type, qui ne se distinguent que par des caractéristiques différentes, fournit une information sur le prix implicite attribué à ces caractéristiques ([153]).

Les premières applications de cette démarche sont à rechercher du côté de l'explication du prix de légumes par Waught (*in* [34]) ou bien du prix d'automobiles par Court (*in* [78], [107]) qui a le premier utilisé le terme de "prix hédoniste" en 1941.

De nombreux auteurs (*e.g.* [34], [113], [144]) attribuent la définition du cadre formel de la méthode à Rosen en 1974 ([135]). Depuis lors, les applications furent très nombreuses dans des domaines très variés. Nous pouvons citer quelques exemples à titre d'illustration :

- Berndt *et al.* ([17]) ont estimé de la sorte des indices de prix pour des ordinateurs ;
- Combris *et al.* ([38]) ou Nerlove ([123]) l'ont utilisé pour déterminer les caractéristiques des prix et les préférences des consommateurs dans le domaine de l'oenologie ;
- Jaoul et Vidal ([95]) ont déterminé les caractéristiques des programmes télévisuels répondant à la demande des téléspectateurs ;
- dans le domaine de l'estimation de terrains, Bastian *et al.* ([13]) ou Cheshire et Sheppard ([36]) ont mesuré l'impact des aménités environnementales ainsi que de celui du voisinage sur la valeur des terrains.

La démarche pour estimer les prix hédonistes est la suivante ([6]). Un bien est décrit par un vecteur \mathbf{Z} de ses caractéristiques qui peuvent être aussi bien physiques ou intrinsèques à l'objet qu'externe à celui-ci (par exemple, le paysage ou la proximité d'un commerce pour une maison). Le prix est alors décrit comme une fonction de ces caractéristiques (E 15).

$$p_i = P(Z_{1i}, \dots, Z_{Ni}) \quad (\text{E } 15)$$

La dérivée de la fonction hédoniste $P()$ par rapport à la caractéristique n est interprétée comme le prix hédoniste de cette caractéristique. Différentes formes de modèles sont disponibles pour décrire cette fonction de prix. Le modèle le plus courant est le modèle linéaire (E 16), estimé par la méthode des moindres carrés. D'autres méthodes semi-paramétriques ou non paramétriques sont couramment employées, mais ces méthodes sont difficilement utilisables avec notre jeu de données contenant au maximum 70 observations. Nous nous limiterons donc au cas le plus simple de la méthode, c'est à dire le modèle linéaire (E 16).

$$p_i = Z_i \cdot K + \varepsilon \quad (\text{E } 16)$$

Avec :

p_i : vecteur des prix ;

Z_i : vecteur des caractéristiques ;

K : matrice des coefficients ;

ε : résiduelle.

3.2.2.2 Modèle d'étude

Nous avons réalisé l'analyse des soumissions maximales en tenant compte des 5 groupes d'utilisateurs. Soit \mathbf{P} le vecteur des prix des soumissions maximales pour un groupe d'acheteurs (E 17). Les lots n'ayant pas reçu de soumission ont été, à ce stade, exclus de l'étude. Soit N le nombre de lots ayant reçu une soumission, K le nombre de caractéristiques estimées et L le nombre d'acheteurs du groupe ayant soumissionné.

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} p_1 \\ \dots \\ p_n \\ \dots \\ p_N \end{pmatrix} \quad (\text{E } 17)$$

Avec :

p_i : soumission maximale en €/m³ pour le lot n .

Soit \mathbf{Z} la matrice des caractéristiques des lots (E 18) :

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} V_{1,1} & \dots & V_{k,1} & \dots & V_{K,1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{1,n} & \dots & V_{k,n} & \dots & V_{K,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{1,N} & \dots & V_{k,N} & \dots & V_{K,N} \end{pmatrix} \quad (\text{E } 18)$$

Avec :

$V_{k,n}$: valeur de la variable k pour le lot n .

Et \mathbf{K} le vecteur colonne des coefficients (E 19)

$$\mathbf{K} = \begin{pmatrix} k_1 \\ \dots \\ k_k \\ \dots \\ k_K \end{pmatrix} \quad (\text{E } 19)$$

Les différentes variables prises en considération sont les suivantes :

- variables de dimension : volume, diamètre, leur carré et leur racine ;

- variables de mesure des singularités : épaisseur d'aubier, excentricité, courbure, fil tors, broussin, diamètre de la roulure, longueur de la roulure, fente en haut, fente de pied, rose de niveau 1, rose de niveau 2, rose de niveau 3, méplat.

Pour prendre en compte l'effet "acheteur", nous avons défini la matrice \mathbf{D} indicatrice de la soumission de l'acheteur l pour le lot n et donc composée de 1 et de 0 (E 20) :

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} D_{1,1} & \dots & D_{l,1} & \dots & D_{L,1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ D_{1,n} & \dots & D_{l,n} & \dots & D_{L,i} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ D_{1,N} & \dots & D_{l,N} & \dots & D_{L,N} \end{pmatrix} \quad (\text{E } 20)$$

Avec :

$D_{l,n} = 1$ si la soumission du lot n correspond à l'acheteur l , 0 sinon.

Et \mathbf{K}' le vecteur colonne des coefficients associés à ces acheteurs (E 21).

$$\mathbf{K}' = \begin{pmatrix} k'_1 \\ \dots \\ k'_l \\ \dots \\ k'_L \end{pmatrix} \quad (\text{E } 21)$$

Pour chaque groupe, l'estimation du modèle (E 22) a été réalisée selon la méthode des moindres carrés. D'après la section II.2, acheteurs, diamètre et qualité sont trois paramètres influençant le prix des bois. La matrice \mathbf{D} ainsi que la variable "diamètre" ont donc été incluses au modèle et les variables liées aux singularités ont été sélectionnées par la méthode stepwise. Pour être retenues dans le modèle final, la probabilité critique du test de significativité des variables soumises à la sélection devait être inférieure à 10%.

$$(P) = (Z:D) \begin{pmatrix} K \\ K' \end{pmatrix} + \varepsilon \quad (\text{E } 22)$$

3.2.2.3 Résultat

L'objet de cette section est de balayer les différents résultats obtenus pour le modèle général et pour l'ensemble des groupes. Les résidus des différents modèles sont regroupés en annexe C.

Modèle Général

Du fait de problèmes d'hétéroscédasticité, ce n'est plus la soumission maximale qui a été étudiée mais sa racine carrée. Ce problème est général à l'ensemble des cas présentés ici et c'est cette

même transformation que nous avons utilisée à chaque fois. Afin d'être homogène, nous avons inclus la variable $\sqrt{\text{Diamètre}}$.

Pour ce modèle, le nombre de soumissions N est de 70. Après sélection, le nombre K de variables retenues dans le modèle est de 7. Ces variables sont la racine carrée du diamètre, le volume, les roses de niveau 2 et de niveau 3, la courbure et le fil tors. Le nombre L d'acheteur de ce groupe est 12. Le coefficient de détermination est de 0,77. Le tableau (T17) présente les valeur de K et K'.

Variable	K (*)	Acheteur (€ ^{1/2} .m ^{-3/2})	K'
$\sqrt{\text{Diamètre}}$	2,25	C03	2,43
$\sqrt{\text{Volume}}$	-6,34	C05	16,12
Rose niveau 2	-2,13	C06	12,7
Rose niveau 3	3,67	C07	14,7
Courbure	37,73	C08	14,44
Fil tors	12,83	C10	13,87
		C11	6,52
		C14	11,38
		C18	7,99
		C22	11,53
		C24	10,62
		C25	7,50

TAB. T17: Résultats de la modélisation des prix des 70 grumes individuelles étudiées, toutes activités confondues.

(*) L'unité des k est fonction de la variable associée.

	Différents R ²		
	A	S	D
Seul	0,68	0,22	0,18
+ D	0,70	0,36	
+ D + S	0,77		

TAB. T18: Différents R² pour les résultats de la modélisation des prix des 70 grumes individuelles étudiées, toutes activités confondues.

Chaque colonne représente un effet : A="Acheteur", D="Dimensions", S="Singularités". La première ligne indique les R² pour les effets pris seuls. Les deux dernières lignes ajoutent successivement l'effet "Singularité" puis l'effet "Diamètre".

Les résidus issus de ce modèle sont représentés en Annexe C, figure C.2.

Le modèle général prend en compte deux variables dimensionnelles, le diamètre et le volume. L'effet du diamètre est similaire à celui mesuré dans la section précédente sur l'ensemble des grumes individuelles. L'effet du volume peut paraître surprenant puisque négatif. Nous renvoyons pour cela le lecteur à la partie (II.2.4.1) dans laquelle nous avons montré que la longueur est corrélée négativement au prix au m³ et ce, du fait que, plus une grume est longue, plus elle contient de défauts et donc plus son prix au m³ chute. Le volume étant fortement corrélé à cette longueur, ceci peut expliquer le signe du coefficient associé à cette variable.

Il est par contre plus surprenant de constater que trois des quatre variables liées aux singularités soient affectées de signe positif (rose de niveau 3, courbure et fils tors). Deux éléments peuvent selon nous expliquer ce phénomène :

- il existe d'une part de fortes corrélations entre les différentes variables (voir annexe D). En raison du nombre élevé de variables par rapport au nombre d'observations, il n'a pas été possible de tester ces interactions dans le modèle. Si, comme expliqué précédemment, le volume est une variable synthétique pour la qualité en terme de défaut, il est alors difficile d'interpréter les coefficients des autres variables individuellement ;
- d'autre part, nous sommes en présence de grumes de très bonne qualité. Ceci signifie donc que les défauts présents sur les grumes sont limités. Le coefficient positif n'est alors pas à

interpréter comme un effet positif du défaut, mais peut l'être plutôt comme un effet positif de l'absence des autres défauts.

Nous avons également voulu évaluer la part de la variabilité des prix imputable aux effets "Acheteur", "Dimensions" et "Singularités". Nous avons donc calculé, à partir des variables présentes dans \mathbf{K} et \mathbf{K}' , les différents R^2 des modèles contenant uniquement les acheteurs (\mathbf{K}'), uniquement les variables de singularité de \mathbf{K} et uniquement les variables de dimension de \mathbf{K} . Nous avons ensuite calculé ceux des combinaisons "Acheteurs" et "Dimensions", "Acheteur et Singularité" et, bien sûr, celui du modèle complet (tableau T18). Nous pouvons ainsi constater que le R^2 passe de 0,68 à 0,70 puis à 0,77 lorsque que l'on ajoute successivement les dimensions puis les singularités aux acheteurs. Les singularités ou les dimensions prises indépendamment ont un R^2 avoisinant les 20%.

L'observation des résidus fait nettement apparaître des différences entre groupes d'acheteurs (Annexe C, figure C.2). De plus, certains groupes sont très peu représentés dans cette étude, comme le 4 ou le 5. Nous allons donc à présent décliner cette étude en fonction du groupe d'acheteurs. Il ne s'agit pas seulement de prendre en compte le groupe à partir des données précédentes, mais bien de redéfinir les matrices \mathbf{P} et \mathbf{K} , c'est-à-dire d'identifier, parmi les soumissions faite par un groupe d'acheteurs donné, quelle est la soumission maximale pour chaque lot et à quel acheteur du groupe il faut l'attribuer.

Groupe 1 : Trancheurs

Pour ce groupe, le nombre de lots N ayant reçu au moins une soumission est de 61. Après sélection des variables, $K=5$: la racine carrée du diamètre, la racine carrée du volume, la roulure, le méplat et les roses de niveau 2. Le nombre K' d'acheteurs de ce groupe est de 5. Le coefficient de détermination est de 0,66. Le tableau (T19) présente les valeurs de K et K' .

Variable	K (*)	Acheteur ($\text{€}^{1/2} \cdot \text{m}^{-3/2}$)	K'
$\sqrt{\text{Diamètre}}$	2,20	C05	-26,28
$\sqrt{\text{Volume}}$	65,35	C06	-28,13
Volume	-28,06	C07	-31,30
Méplat	-0,21	C08	-30,10
Rose niveau 2	-4,14	C10	-27,86
Roulure	3,44		

TAB. T19: Résultats de la modélisation des prix à partir des 61 soumissions maximales des trancheurs.

(*) L'unité des k est fonction de la variable associée.

	Différents R^2		
	A	S	D
Seul	0,43	0,23	0,26
+ D	0,54	0,52	
+ D + S	0,66		

TAB. T20: Différents R^2 pour les résultats de la modélisation des prix à partir des 61 soumissions maximales des trancheurs . Chaque colonne représente un effet : A="Acheteur", D="Dimensions", S="Singularités". La première ligne indique les R^2 pour les effets pris seuls. Les deux dernières lignes ajoutent successivement l'effet "Singularité" puis l'effet "Diamètre".

Les résidus issus de ce modèle sont représentés en Annexe C, figure C.3.

Une fois encore, les variables dimensionnelles "Diamètre" et "Volume" ressortent mais, cette fois-ci, les effets des deux dimensions sont positifs (tableau T19). Parmi les variables liées aux singularités, 2 sur 3 sont négatives (Méplat et Rose de niveau 2). Les roses de niveau 2 semblent

influencer fortement les prix. Le méplat est également un défaut pénalisant pour cette utilisation car il entraîne des irrégularités dans le figuré. Il peut paraître étonnant de ne pas avoir davantage de défauts sélectionnés, notamment les singularités liées à la couleur de la section. Il faut à nouveau préciser que nous sommes sur une vente de grumes de bonne qualité et que la gamme de variation de certains défauts n'atteint sans doute pas des valeurs pénalisantes pour ces utilisations. D'ailleurs, si l'on prend le maximum de la variable multiplié par son coefficient estimé, la chute des prix est faible par rapport au prix au m³ des grumes.

Cette fois, le R² fait un saut plus important, puisqu'il passe de 0,41 pour le modèle avec uniquement les acheteurs, à 0,66 lorsque l'on prend en compte les dimensions et les singularités (T20. Prises indépendamment, ces deux variables présentent un R² approchant les 25%.

Rappelons tout de même que ces résultats sont établis à partir d'un nombre assez restreint d'observations et que nous devons rester prudent quand à l'interprétation de ces résultats.

Groupe 2 : Merrandiers

Pour ce modèle le nombre de lot N est de 66. Après sélection, le nombre de variables liées aux singularités K est de 2 : la racine carrée du diamètre et la longueur. Le nombre d'acheteurs du groupe L est de 2. Le tableau (T21) présente les valeurs de K et K'.

Variable	K (*)	Acheteur (€ ^{1/2} .m ^{-3/2})	K'
$\sqrt{\text{Diamètre}}$	1,00	C24	17,43
Épaisseur d'aubier	-64,02	C25	17,77
Courbure	-18,70		

TAB. T21: Résultats de la modélisation des prix à partir des 66 soumissions maximales des merrandiers.

(*) L'unité des k est fonction de la variable associée.

	Différents R ²		
	A	S	D
Seul	0,28	0,03	0,08
+ D	0,32	0,13	
+ D + S	0,41		

TAB. T22: Différents R² pour les résultats de la modélisation des prix à partir des 66 soumissions maximales des merrandiers. Chaque colonne représente un effet : A="Acheteur", D="Dimensions", S="Singularités". La première ligne indique les R² pour les effets pris seuls. Les deux dernières lignes ajoutent successivement l'effet "Singularité" puis l'effet "Diamètre".

Les résidus issus de ce modèle sont représentés en Annexe C, figure C.4.

Peu de variables de singularités sont sélectionnées dans ce modèle (épaisseur d'aubier et courbure). Elles présentent toutes les deux un effet négatif sur les prix des grumes (respectivement -64,02 €·m⁻³·m⁻¹ et -18,70€·cm·m⁻¹). Il faut également signaler qu'une variable d'importance pour les merrandiers, à savoir la largeur des accroissements, n'a pas pu être intégrée à l'étude, faute d'une résolution suffisante des photographies numériques. Néanmoins, nous sommes peut-être à nouveau en présence de la situation pour laquelle les défauts présents lors de la vente varient dans la gamme d'acceptation des utilisateurs, puisqu'il est vrai que les offres des merrandiers ont un écart-type très faible (66 €/m³ autour de la soumission maximale moyenne pour

cette activité qui est de 387 €/m³). A titre de comparaison, l'écart-type des trancheurs est trois fois plus important.

En intégrant le diamètre, l'épaisseur d'aubier et la courbure en plus de l'effet "acheteur", le R² passe de 0,28 à 0,41 (T22). Le R² des modèles construits à partir des seules variables de caractéristiques, dimensions ou singularités, sont très faibles.

Groupe 3 : Scieries de haute valorisation

Pour ce modèle, le nombre de soumissions N est de 64. Après sélection, le nombre de variables liées au singularités est de 6 : la racine carrée du diamètre, le fil tors, la roulure, le volume, la longueur sans défaut et la clarté. Le nombre d'acheteurs est de 3. Le coefficient de détermination est de 0,51. Le tableau (T23) présente les valeurs de K et K'.

Variable	K (*)	Acheteur (€/m ^{3/2})	K'
$\sqrt{\text{Diamètre}}$	1,51	C11	9,51
fil tors	6,97	C14	11,66
Volume	-1,22	C18	9,69
Roulure	-470,12		
Longueur sans défaut	0,38		
Clarté	-2,41		

TAB. T23: Résultats de la modélisation des prix à partir des 64 soumissions maximales du groupe "scieries de haute valorisation".
(*) L'unité des k est fonction de la variable associée.

	Différents R ²		
	A	S	D
Seul	0,28	0,14	0,15
+ D	0,35	0,25	
+ D + S	0,51		

TAB. T24: Différents R² pour les résultats de la modélisation des prix à partir des 64 soumissions maximales du groupe "scieries de haute valorisation".

Chaque colonne représente un effet : A="Acheteur", D="Dimensions", S="Singularités". La première ligne indique les R² pour les effets pris seuls. Les deux dernières lignes ajoutent successivement l'effet "Singularité" puis l'effet "Diamètre".

Les résidus issus de ce modèle sont représentés en Annexe C, figure C.5.

Pour ce modèle, deux variable dimensionnelles sont à nouveau présentes : le diamètre et le volume. Seul le fil tors présente un coefficient ayant un signe contraire à l'intuition. Le signe négatif du coefficient affectant la clarté indique bien que, plus la section d'une grume est claire, plus elle est appréciée. Le diamètre de la roulure influence fortement les prix (-5€/cm).

La prise en compte des effets des singularités permet de faire passer le R² de 0,28 à 0,51 (T24).

Groupe 4 : Scieries spécialisées de qualité

Pour ce modèle, N=15. Les variables liées aux singularités sont au nombre de 6 : racine carrée du diamètre + longueur, clarté, épaisseur d’aubier, fil tors, excentricité. 2 acheteurs interviennent dans ce modèle. Le coefficient de détermination est de 0,94. Le tableau (T25) présente les valeurs de K et K’.

Variable	K (*)	Acheteur (€ ^{1/2} .m ^{-3/2})	K’
$\sqrt{\text{Diamètre}}$	-0,19	C09	27,63
clarté	-6,98	C22	27,32
Longueur	-0,61		
Fil tors	3,74		
excentricité	-0,18		
Épaisseur d’aubier	84,73		

TAB. T25: Résultats de la modélisation des prix à partir des 15 soumissions maximales du groupe "scieries spécialisées de qualité".
(*) L’unité des k est fonction de la variable associée.

	Différents R ²		
	A	S	D
Seul	7,6.10 ⁻⁴	0,75	0,30
+ D	0,20	0,93	
+ D + S	0,94		

TAB. T26: Différents R² pour les résultats de la modélisation des prix à partir des 15 soumissions maximales du groupe "scieries spécialisées de qualité".

Chaque colonne représente un effet : A="Acheteur", D="Dimensions", S="Singularités". La première ligne indique les R² pour les effets pris seuls. Les deux dernières lignes ajoutent successivement l’effet "Singularité" puis l’effet "Diamètre".

Les résidus issus de ce modèle sont représentés en Annexe C, figure C.6.

Ce groupe ne soumissionne pas beaucoup sur les grumes étudiées puisque nous avons relevé seulement 15 soumissions. Avec 7 variables, il ne faut donc pas se fier au R² élevé, qui est passé de 7,6.10⁻⁴ à 0,93 à la suite de l’introduction des variables de caractéristiques des grumes (dimensions et défauts) des grumes (T26). Le coefficient affectant l’épaisseur d’aubier a une valeur assez élevée ainsi qu’un signe positif (84,74). Un aubier épais est un inconvénient car il entraîne une chute de rendement. La clarté influence également le prix de la grume (k=-6,98) et le fil tors est à nouveau associé à un coefficient positif (k=3,74).

Groupe 5 : Scieries de qualité moyenne

Pour ce modèle N=26, avec un effectif L d’acheteurs ayant soumissionné de 6. Après sélection les 4 variables liées aux singularités sont les suivantes : la racine carrée du diamètre, la courbure, le fil tors et la fente du haut de la grume. Le coefficient de détermination est de 0,64 Le tableau (T27) présente les valeurs de K et K’.

Les résidus issus de ce modèle sont représentés en Annexe C, figure C.7.

Ce groupe ne propose également que peu de soumissions pour les grumes individuelles (N=26) car, s’agissant des scieries de qualités moyennes, elles soumissionnent en général sur des lots de moindre qualité qui contiennent peu de pièces uniques. L’effet du diamètre n’est cependant pas significatif. Ce résultat peut paraître paradoxal d’après les constatations réalisées partie II.2.4.2. Il faut cependant remarquer que, d’une part, peu de grumes sont utilisées pour réaliser les estimations des paramètres de ce cinquième groupe et que, d’autre part, les acheteurs soumissionnent peut-être tous sur un même genre de grume et, de ce fait, la gamme de variation des niveaux de

Variable	K (*)	Acheteur (€ ^{1/2} .m ^{-3/2})	K'
√Diamètre	-0,41	C01	17,74
Fil tors	-25,50	C02	20,45
Courbure	-98,97	C03	17,53
Fentes haut	12,55	C12	17,32
		C20	17,55
		C23	15,64

TAB. T27: Résultats de la modélisation des prix à partir des 26 soumissions maximales du groupe "scieries de qualité moyenne".
(*) L'unité des k est fonction de la variable associée.

	Différents R ²		
	A	S	D
Seul	0,22	0,54	0,02
+ D	0,27	0,54	
+ D + S	0,64		

TAB. T28: Différents R² pour les résultats de la modélisation des prix à partir des 26 soumissions maximales du groupe "scieries de qualité moyenne".

Chaque colonne représente un effet : A="Acheteur", D="Dimensions", S="Singularités". La première ligne indique les R² pour les effets pris seuls. Les deux dernières lignes ajoutent successivement l'effet "Singularité" puis l'effet "Diamètre".

dimensions ou bien de singularités n'est pas suffisante pour que les effets correspondants soient significatifs.

La courbure et le fil tors influencent en revanche fortement le prix. Les fentes de haut présentent un coefficient positif (+12,55 €·m⁻³·m⁻¹).

A la suite de l'introduction des variables décrivant les grumes, le R² passe de de 0,26 à 0,64 (T28).

3.2.2.4 Evaluation des modèles

Afin de tester la stabilité des modèles étudiés, nous avons réalisé une validation croisée. Cette validation a consisté à estimer les paramètres du modèle sur 69 grumes et à appliquer cette estimation à la 70^{ème}. En répétant cette opération pour les 70 grumes, on obtient de la sorte 70 estimations qui seront comparées aux valeurs réelles. Nous avons calculer pour faire cette comparaison l'erreur relative (formule E 23).

$$ER = \frac{(V_p - V_r)}{V_p} \times 100 \quad (E\ 23)$$

Avec :

- ER : erreur relative en % ;
- V_p : valeur prédite en €/m³ ;
- V_r : valeur réelle en €/m³.

Pour chaque modèle, nous avons donc estimé l'erreur relative et en avons représenté l'histogramme. De plus, dans cette démarche de validation croisée, nous avons opéré, lors des 70 itérations, la sélection des variables comme pour le modèle général. Nous pouvons ainsi évaluer la stabilité des différents modèles.

Nous allons à présent décliner cette étude de validation avec tous les utilisateurs confondus puis par groupe d'utilisateurs.

Modèle général

L'histogramme du modèle général (F44) montre une bonne précision du modèle puisque plus de 75% des observations sont à $\pm 10\%$ du prix réel. Le tableau (T29) indique qu'il y a également une bonne stabilité dans les variables sélectionnées. Parmi les 6 variables initiales (en gras dans le tableau), 5 d'entre elles sont sélectionnées à plus de 95% des itérations. Seul le défaut "rose de niveau 3" n'est sélectionné que 20 fois sur 68. Dans la sélection initiale des valeurs, la probabilité critique de ce défaut était en effet à 9%, alors que les autres étaient toutes inférieures à 5%. L'écart-type des estimations des constantes du modèle liées aux acheteurs est assez faible et très homogène (moins de 3). En ce qui concerne les paramètres liés aux variables dimensionnelles et qualitatives, nous constatons que cet écart-type est très faible, démontrant une bonne stabilité du modèle.

La soumission maximale de certains lots correspondait à l'unique soumission d'un acheteur sur les grumes étudiées. Dans ce cas précis, nous n'avons pas pu réaliser la validation croisée. Ceci explique que les fréquences de certains tableaux ne correspondant pas au nombre de soumissions N ayant servi à établir le modèle. Nous avons ici 68 grumes pour faire les validations croisées alors que N=70.

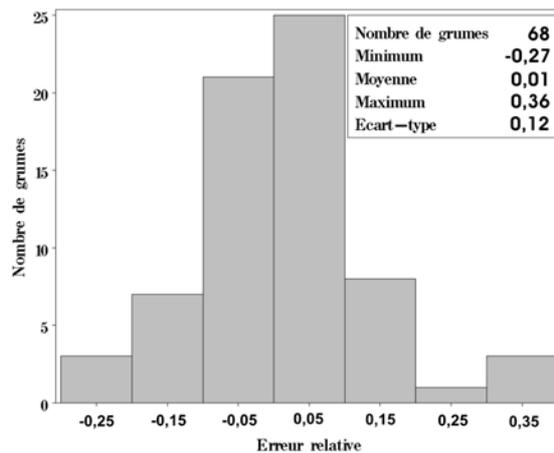


FIG. F44: Histogramme des précisions relatives calculées à partir des validations croisées pour tous les groupes confondus.

L'erreur relative vaut $\frac{(V_p - V_r)}{V_p}$, avec V_r la valeur observée et V_p la valeur prédite.

Groupe 1 : Trancheurs

L'histogramme du modèle correspondant aux trancheurs (figure F45) montre encore une bonne précision des estimations puisque l'on a cette fois-ci les trois quarts des estimations à $\pm 15\%$ du prix observé. Pour le choix des variables (tableau T30), il y a comme précédemment une bonne stabilité. En ce qui concerne la variation des coefficients, on constate un très fort écart-type. En regardant de plus près les valeurs, quand la variable "longueur" est sélectionnée, les valeurs

Variable	Fréquence	K(*)		Acheteur	K'(€ ^{1/2} .m ^{-3/2})	
		Moyenne	Écart-type		Moyenne	Écart-type
$\sqrt{\text{Diamètre}}$	68/68	2,12	0,46	C05	15,99	2,59
$\sqrt{\text{Volume}}$	64/68	-5,54	0,68	C06	12,51	2,39
Rose niveau 2	63 /68	-1,91	0,20	C07	14,48	2,70
Rose niveau 3	20/68	3,96	0,39	C08	14,14	2,42
Courbure	62/68	36,83	2,47	C10	13,82	2,61
Fil tors	66/68	11,74	1,07	C14	11,16	2,45
Broussin	5/68	-3,98	0,60	C18	8,24	2,47
Clarté	2/68	-4,01	0,02	C22	11,23	2,11
				C24	10,47	2,44

TAB. T29: Résultats des validations croisées du modèle linéaire de prix des grumes vendues individuellement, tous groupes confondus.
 (*) L'unité des k est fonction de la variable associée.

des paramètres liés aux acheteurs sont complètement modifiées. En présence de cette variable, ils oscillent autour de +30 €/m³ alors que, quand elle n'est pas sélectionnée, ils valent autour de -30 €/m³ avec un écart-type d'environ 3 €/m³. La variable "fil tors" n'est sélectionnée que conjointement à la variable "longueur".

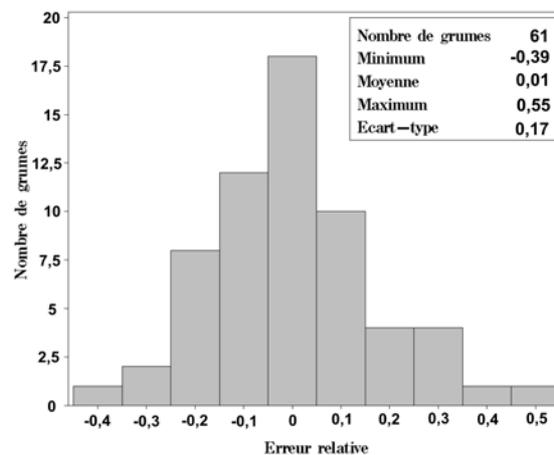


FIG. F45: Histogramme des précisions relatives calculées à partir des validations croisées pour les tranches.

L'erreur relative vaut $\frac{(V_p - V_r)}{V_p}$, avec V_r la valeur observée et V_p la valeur prédite.

Variable	Fréquence	K(*)		Acheteur	K' (€ ^{1/2} .m ^{-3/2})	
		Moyenne	Écart-type		Moyenne	Écart-type
$\sqrt{\text{Diamètre}}$	61/61	1,09 (2,28)	3,71 (0,31)	C05	-19,76 (-26,62)	21,55 (3,13)
$\sqrt{\text{Volume}}$	61/61	69,13 (65,02)	14,05 (3,57)	C06	-21,62 (-28,52)	21,68 (3,21)
Volume	61/61	-28,09 (-27,99)	2,02 (1,44)	C07	-24,75 (-31,64)	21,64 (2,97)
Roulure	56/61	3,54 (3,51)	0,30 (0,23)	C08	-23,54 (-30,43)	21,64 (3,07)
Méplat	57/61	-0,21 (-0,21)	0,01 (0,01)	C10	-21,33 (-28,19)	21,60 (3,31)
Rose niveau 2	61/61	-4,15 (-4,12)	0,29 (0,12)			
Fil tors	4/61	11,06	1,31			
Clarté	2/61	-5,76 (-5,66)	0,11			
Longueur	5/61	-4,93	0,87			

TAB. T30: Résultats des validations croisées du modèle linéaire de prix des grumes vendues individuellement pour les trancheurs.

Les valeurs entre parenthèses sont calculées sur les 56 validations pour lesquelles la variable "Longueur" n'a pas été sélectionnée.

(*) L'unité des k est fonction de la variable associée.

Groupe 2 : Merrandiers

L'histogramme de l'erreur relative (figure F46) est plus resserré que les précédents, que ce soit pour les extrêmes ou bien pour la précision moyenne. En ce qui concerne la stabilité des variables (tableau T30), les variables sélectionnées par le modèle à partir de tous les individus, tout comme les constantes liées aux acheteurs, présentent un écart-type très faible. Si l'on regarde de plus près les résultats, à part dans deux cas pour lesquels ces variables ne sont significatives ni pour l'un, ni pour l'autre, ce sont soit la longueur, soit le duo "épaisseur d'aubier" et "courbure" qui sortent.

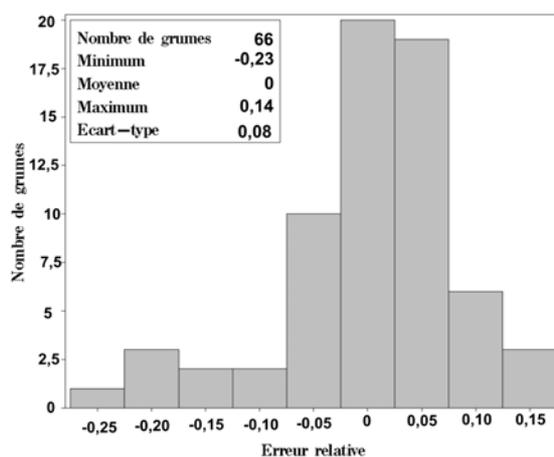


FIG. F46: Histogramme des précisions relatives calculées à partir des validations croisées pour les merrandiers.

L'erreur relative vaut $\frac{(V_p - V_r)}{V_p}$, avec V_r la valeur observée et V_p la valeur prédite.

Variable	Fréquence	K(*)		Acheteur	K'(€ ^{1/2} .m ^{-3/2})	
		Moyenne	Écart-type		Moyenne	Écart-type
$\sqrt{\text{Diamètre}}$	66/66	0,89	0,20	C24	15,68	1,59
Épaisseur d'aubier	44/66	-65,28	5,43	C25	12,97	1,61
Courbure	44/66	-19,24	1,49			
Longueur	20/66	-0,41	0,01			
Volume	2/66	-1,22	0,20			
Longueur sans défaut	7/66	-0,46	0,05			

TAB. T31: Résultats des validations croisées du modèle linéaire de prix des grumes vendues individuellement pour les merrandiers.

(*) L'unité des k est fonction de la variable associée.

Groupe 3 : Scieries de haute valorisation

En ce qui concerne le groupe 3, l'histogramme des erreurs relatives est tout à fait comparable au précédent (figure (F47)). A part la clarté et la longueur sans défaut, les autres variables sont sélectionnées quasi systématiquement. En ce qui concerne la roulure, ce sont soit son diamètre (55 cas) soit sa longueur (9 cas) qui interviennent. Il est étonnant de remarquer dans le tableau de données que, quand c'est la longueur de la roulure qui intervient, alors le volume de la pièce n'est plus sélectionné, mais la longueur comme variable expliquant le prix du lot. Enfin, nous retrouvons pour le diamètre le même phénomène que celui observé pour la longueur dans le cas des trancheurs : quand le diamètre est sélectionné, les valeurs des autres paramètres sont fortement modifiées et les différents écarts-types associés se retrouvent augmentés. Si nous faisons abstraction de ces trois cas, nous retombons sur des valeurs proches de celles des groupes précédents en ce qui concerne les valeurs des écarts-types (valeurs présentées entre parenthèses dans le tableau (T32)).

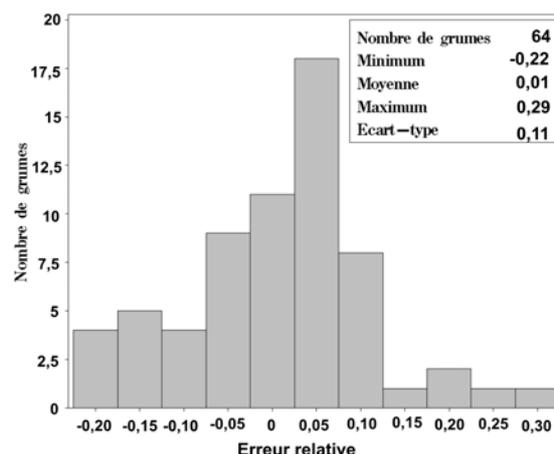


FIG. F47: Histogramme des précisions relatives calculées à partir des validations croisées pour les scieries de haute valorisation.

L'erreur relative vaut $\frac{(V_p - V_r)}{V_p}$, avec V_r la valeur observée et V_p la valeur prédite.

Variable	Fréquence	K(*)		Acheteur	K' (€ ^{1/2} .m ^{-3/2})	
		Moyenne	Écart type		Moyenne	Écart type
$\sqrt{\text{Diamètre}}$	64/64	2,32 (1,33)	4,54 (0,29)	C11	5,60 (9,51)	17,40 (3,82)
fil tors	62/64	6,58 (6,70)	1,62 (1,43)	C14	7,61 (11,52)	17,38 (3,88)
Volume	55/64	-2,52 (-2,54)	0,36 (0,38)	C18	5,67 (17,38)	9,58 (3,92)
Roulure (diamètre)	55/64	-457,38 (-458,26)	46,46 (43,34)			
Longueur sans défaut	25/64	0,39 (0,39)	0,02 (0,02)			
Clarté	29/64	-2,54 (-2,52)	0,14 (0,13)			
$\sqrt{\text{Volume}}$	5/64	24,42 (24,01)	3,80 (4,25)			
Épaisseur d'aubier	1/64	51,90 (51,90)				
Courbure	6/64	-20,22 (-20,24)	0,73 (0,59)			
Broussin	1/64	-3,56				
Roulure (longueur)	9/64	-2,52 (-2,54)	0,36 (0,38)			
Diamètre	3/64	-1,39	0,07			
Longueur	6/64	-0,32 (-0,31)	0,04 (0,03)			

TAB. T32: Résultats des validations croisées du modèle linéaire de prix des grumes vendues individuellement pour le groupe "scieries de haute valorisation".

Les valeurs entre parenthèses sont calculées sur les 61 validations pour lesquelles la variable "Diamètre" n'a pas été sélectionnée.

(*) L'unité des k est fonction de la variable associée.

Groupe 4 : Scieries de qualité spécialisé

Ce groupe comporte un très faible nombre d'observations, et la validation croisée n'a été possible qu'avec un seul individu (C22) vu que le second du groupe (C09) n'avait emporté la soumission qu'une seule fois. On peut observer un histogramme des erreurs relatives (figure F48) très réduit puisque les extrema sont de -9% et +15%. En ce qui concerne les variables sélectionnées, en plus de la racine carrée du diamètre, deux variables sont présentes fréquemment : la clarté et la longueur. Pour les autres, les apparitions sont beaucoup plus éparées. On retrouve le cas où la sélection d'une variable entraîne de fortes perturbations. Il s'agit cette fois du volume. Une fois celui-ci éliminé, nous retombons sur des valeurs d'écart-type très faibles.

Malgré de faibles erreurs relatives, le groupe 4 pose des problèmes pour notre étude. En effet, il y a très peu de stabilité dans la sélection des variables et les valeurs prises par les coefficients associés à ses variables ont parfois une très importante variabilité comme, par exemple, pour la longueur de la roulure. Non seulement le nombre d'observations est limité mais, en plus, nous pouvons observer une grande variabilité des résultats : dans le tableau (tableau T33) 13 défauts différents sont sélectionnés, mais pour 12 d'entre eux ces sélections interviennent moins de 3 fois sur 15. Seuls les effets "diamètre" et "clarté" semblent réellement interprétables pour ce groupe.

Groupe5 : Scierie de qualité moyenne

Ce groupe est celui présentant les plus mauvais résultats. Tout comme le précédent, il ne contient que très peu d'individus. Les précisions relatives sont très moyennes voire mauvaises (figure F49), avec un maximum à + 1130%. De plus, les écart-types associés à l'estimation

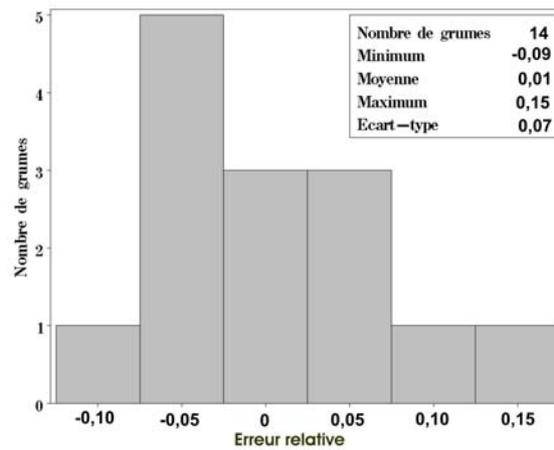


FIG. F48: Histogramme des précisions relatives calculées à partir des validations croisées pour les scieries spécialisées de qualité.

L'erreur relative vaut $\frac{(V_p - V_r)}{V_p}$, avec V_r la valeur observée et V_p la valeur prédite.

Variable	Fréquence	K(*)		Acheteur	K*($\text{€}^{1/2} \cdot \text{m}^{-3/2}$)	
		Moyenne	Écart-type		Moyenne	Écart-type
$\sqrt{\text{Diamètre}}$	15/15	-0,88 (1,066)	5,55 (0,21)	C22	30,59 (18,52)	32,99 (2,56)
clarté	15/15	-7,34 (-7,17)	1,04 (0,96)			
Longueur	12/15	-1,33 (-0,59)	1,88 (0,18)			
Fil tors	2/15	2,83 (6,73)	5,51			
excentricité	2/15	-0,08	0,03			
Épaisseur d'aubier	3/15	73,11 (39,49)	29,42			
<i>sqrtVolume</i>	1/15	61,59				
Broussin	1/15	-1,10 (-1,10)				
Roulure (diamètre)	3/15	-800,23 (-272,91)	1305 (1318)			
Roulure (Longueur)	1/15	-25,43 (-25,43)				
Fente pied	1/15	1,08 (1,08)				
Rose niveau 2	1/15	-0,31	-0,31			
Rose niveau 3	2/13	0,31 (1,57)	1,80			
Volume	1/15	11,03				
Longueur sans défaut	2/15	-0,17 (0,003)	0,24			
Nuance	1/15	-0,72				

TAB. T33: Résultats des validations croisées du modèle linéaire de prix des grumes vendues individuellement pour le groupe "scieries spécialisées de qualité".

Les valeurs entre parenthèses sont calculées sur les 61 validations pour lesquelles la variable "Volume" n'a pas été sélectionnée.

(*) L'unité des k est fonction de la variable associée.

des coefficients sont vraiment très importants. Si nous retirons l'observation qui intègre comme variable le diamètre, on arrive une fois de plus à les améliorer, mais ils restent cependant très au dessus de ceux des autres groupes. Enfin, il y a une très grande variabilité dans les variables sélectionnées et la variable "longueur de la rouler", qui est présente 17 fois sur 24, n'apparaît pas dans le modèle final.

Les observations extrêmes de la figure (figure F49) correspondent à des soumissions de l'acheteur C02 ayant un niveau élevé pour le groupe (plus de 500 €/m³ alors que la moyenne est à 256 €/m³)

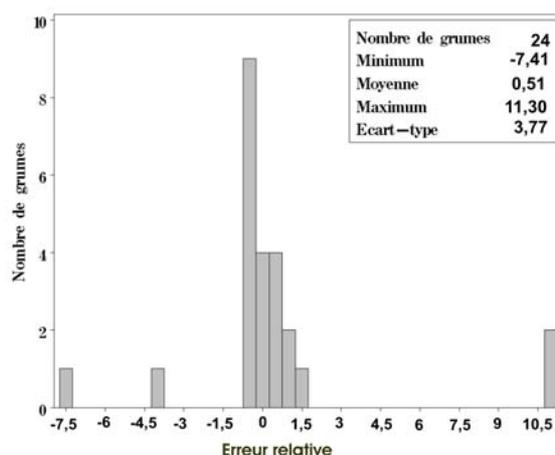


FIG. F49: Histogramme des précisions relatives calculées à partir des validations croisées pour les scieries de qualité moyenne.

L'erreur relative vaut $\frac{(V_p - V_r)}{V_p}$, avec V_r la valeur observée et V_p la valeur prédite.

3.2.3 Bilan de l'étude des prix par régression linéaire

Le bilan de la modélisation des soumissions maximales à partir du groupe d'acheteur, des dimensions et de la mesure des singularités, est mitigé.

Les points forts de la méthode sont le taux de variabilité expliqué important ainsi que l'erreur moyenne relativement faible si l'on compare ces valeurs avec celles d'études déjà entreprises (voir partie II.1.2). Par rapport à un modèle ne prenant en compte que les acheteurs, l'ajout des singularités augmente le R² de 2 à 20% (10% en moyenne). Le fait d'ajouter les singularités va permettre de faire progresser les R² des modèles "Acheteur"+"Dimensions" de 7 à 74% (25% en moyenne). Les modèles établis à partir des variables de caractéristiques dimensions et singularités seules ont un R² entre 13 et 93% (en moyenne 46%). Il est également intéressant de souligner que la validation a montré une bonne stabilité des variables sélectionnées et a démontré, avec des taux d'erreurs relatives faibles, la bonne qualité des modèles.

La faiblesse de cette modélisation réside dans la difficulté d'interprétation des coefficients. Les premières modélisations des prix réalisées lors de notre DEA à partir des variables synthétiques

de la qualité, comme la note attribuée par l'agent forestier selon la norme montraient un fort lien avec les prix ([29]). Néanmoins, en passant à l'échelle individuelle et en incluant en plus des informations propres à chaque singularité présente, ce sont souvent des variables synthétiques de la qualité (comme la longueur ou le volume) qui, au final, ressortent comme significatives au détriment des variables mesurant les défauts.

Nous allons tout de même apporter les premiers éléments de réponses à la problématique de cette thèse et ceci de deux façons.

La première façon de considérer l'importance des défauts est de mesurer la fréquence de sélection du défaut à travers l'ensemble des validations croisées. Nous avons calculé, pour chacune des 6 validations, une fréquence de sélection des défauts. En calculant la moyenne de ces fréquences par défaut, il est possible d'établir un premier classement d'importance des défauts comme présenté sur la figure (F50). Précisons que la gravité n'est pas ici mesurée par la chute de prix mais plutôt par la prise ou non en considération du défaut correspondant.

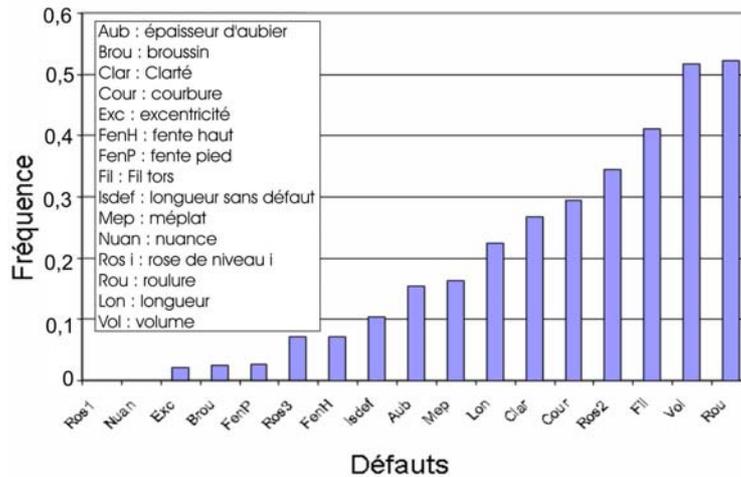


FIG. F50: Classement d'importance des défauts par fréquence de sélection lors des validations croisées.

Le classement de la figure (F50) fait apparaître que la roulure est sélectionnée plus d'une fois sur 2. Fils tors, Rose de niveau 1 et courbure sont eux sélectionnés 1 fois sur 3. Certains défauts, comme les roses de niveau 1, la nuance de couleur, le broussin, l'excentricité ou bien les fentes de pied, ne sont pratiquement jamais sélectionnés.

La seconde possibilité pour classer les défauts est d'utiliser les modèles ajustés dans la partie II.3.2.2.3 pour regarder la conséquence du défaut sur les prix des grumes, où plus précisément sur la racine carrée de ce prix. Pour ce faire, nous allons calculer l'impact du défaut en appliquant la formule (E 24).

$$Impact_i = k_i(V_{i_{max}} - V_{i_{min}}) \quad (E\ 24)$$

Avec :

i : défaut considéré ;

k_i : coefficient associé au défaut estimé pour l'ensemble des acheteurs et pour chaque groupe par le modèle E 22 ;

$V_{i_{max}}$: valeur maximale de la variable V mesurant le caractère i ;

$V_{i_{min}}$: valeur minimale de la variable V mesurant le caractère i .

Pour l'effet acheteur, il s'agit simplement de la différence entre le k' maximal et le k' minimal. Les résultats de ces calculs sont reportés dans le tableau (T35).

Sur l'ensemble des soumissions, les défauts influençant fortement les prix sont les roses de niveau 2. Qui plus est, c'est le seul défaut influençant négativement les prix. Les défauts ayant un effet positif sont, par ordre croissant, la courbure, les roses de niveau 3 et le fil tors. Cet effet est compris entre 2 et 3 $\text{€}^{1/2}.\text{m}^{-3/2}$. Rappelons néanmoins que nous n'avons pas tenu compte, dans ces modèles, des covariations possibles entre les défauts.

En ce qui concerne le groupe des trancheurs (groupe 1), l'effet "acheteur" est beaucoup moins marqué (+5,02 contre +13,69 $\text{€}^{1/2}.\text{m}^{-3/2}$ précédemment). Parmi les défauts influençant négativement les prix, il y a, par ordre croissant et en valeur absolue le méplat (-4,34) . Pour ceux influençant positivement, l'ordre croissant est "roulure" puis "rose de niveau 2". Les valeurs atteintes sont également assez importantes puisque cette dernière atteint presque 6 $\text{€}^{1/2}.\text{m}^{-3/2}$.

Pour le groupe des merrandiers (groupe 2), l'effet "acheteur" est très limité. De même, les effets "diamètre" et "longueur" n'entraînent pas de variation très importante des prix.

En ce qui concerne le groupe des scieries de haute valorisation, les variations de prix engendrées par les défauts ne sont pas non plus très importantes. L'effet "acheteur" est assez faible (+2,15 $\text{€}^{1/2}.\text{m}^{-3/2}$). Le classement donne, par ordre croissant d'importance pour les défauts influençant négativement les prix, la clarté (-1,63 $\text{€}^{1/2}.\text{m}^{-3/2}$) puis la roulure (-2,35 $\text{€}^{1/2}.\text{m}^{-3/2}$) et pour ceux influençant positivement les prix, le fil tors (+1,32 $\text{€}^{1/2}.\text{m}^{-3/2}$) puis la longueur sans défaut (+1,65 $\text{€}^{1/2}.\text{m}^{-3/2}$).

Pour le groupe des scieries spécialisées, l'effet de l'acheteur sur le prix est négligeable, tout comme celui du diamètre. Dans l'ordre, c'est l'excentricité puis la clarté qui entraînent des chutes de prix, avec un niveau de chute restant très modéré (respectivement -2,43 et -2,58 $\text{€}^{1/2}.\text{m}^{-3/2}$). Pour ce qui est de l'influence positive, ce sont le fil tors puis l'épaisseur d'aubier (respectivement 0,86 et 1,60 $\text{€}^{1/2}.\text{m}^{-3}$).

Nous retrouvons avec le dernier groupe, scieries de valorisation moyenne, un effet important de l'acheteur. Le diamètre n'influence quasiment pas les prix. Le coefficient associé aux fentes est positif (+8,03 $\text{€}^{1/2}.\text{m}^{-3}$). Le classement par ordre croissant d'importance des autres défauts est "courbure" (-4,55 $\text{€}^{1/2}.\text{m}^{-3}$) puis "fil tors" (-5,86 $\text{€}^{1/2}.\text{m}^{-3}$).

Cette première approche par la modélisation des prix a permis de fournir un premier balayage en ce qui concerne l'importance des défauts. Si cette approche est assez robuste d'après les validations croisées, l'interprétation des résultats reste tout de même délicate et certains résultats choquent quelque peu les connaissances empiriques voire la simple logique. Cette première ap-

Variable	Fréquence	K(*)		Acheteur	K'(€ ^{1/2} .m ^{-3/2})	
		Moyenne	Écart-type		Moyenne	Écart-type
$\sqrt{\text{Diamètre}}$	21/21	12,3 (2,4)	47,47 (1,89)	C01	17,74	
Fil tors	7/21	-25,20 (-25,20)	3,5 (3,5)	C02	20,45	
Courbure	2/21	-126,27 (-126,27)	9,87 (9,87)	C03	17,53	
Fentes haut	9/21	11,81 (11,81)	2,36 (2,36)	C12	17,32	
Épaisseur d'aubier	1/21	-404,99		C20	17,55	
Roulure (diamètre)	3/21	1617,89 (1617,89)	220,24 (220,24)	C23	15,64	
Roulure (longueur)	17/21	-5,75 (-5,79)	1,71 (1,76)			
Fente Pied	2/21	-13,21 (-13,21)	8,48 (8,48)			
Diamètre	1/21	-14,11				
Méplat	1/21	-0,28 (-0,28)				
Longueur sans défaut	1/21	-2,73 (-2,73)				
Clarté	2/21	-28,86 (-28,86)	22,18 (22,18)			

TAB. T34: Résultats des validations croisées du modèle linéaire de prix des grumes vendues individuellement pour le groupe "scieries de qualité moyenne".

(*) L'unité des k est fonction de la variable associée.

Variable	Général	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
Moyenne de $\sqrt{\text{Soumission}}$	20,42	22,54	19,7	19,36	20,78	14,90
Acheteur	+13,69	+5,02	+0,34	+2,15	+0,31	+4,81
$\sqrt{\text{Diamètre}}$	+4,12	+1,83	+2,2	+2,76	+0,27	-0,6
Volume	-5,71	+5,72		-2,72		
RoseN2	-4,03	-5,94				
RoseN3	+2,68					
Courbure	+2,34					-4,55
Fil tors	+2,95			+1,32	+0,86	-5,86
Roulure		+3,92		-2,35		
Méplat		-4,34				
Longueur			-2,36		-1,57	
Longueur sans défauts				+1,65		
Clarté				-1,63	-2,58	
Excentricité					-2,43	
Ép. aubier					+1,60	
Fente haut						+8,03

TAB. T35: Différentiel de prix entraîné par les différents défauts.

(la valeur indiquée est le différentiel entre le prix d'une grume contenant le défaut à son niveau minimal et une grume avec le défaut à son niveau maximal, tous les autres défauts étant égaux par ailleurs).

proche ne peut donc se suffire à elle-même. Nous allons la compléter par un autre éclairage à partir d'une utilisation d'arbres de régression qui permet de mieux gérer la prise en compte des interactions ainsi que la sélection de variables.

3.3 Prise en compte de l'importance des défauts à l'aide des arbres de régression et des forêts aléatoires

Dans le cas qui nous occupe, la modélisation des prix à partir du modèle linéaire classique présente des difficultés notamment du fait des interactions complexes pouvant exister entre les différentes variables. Les arbres de classification et de régression sont des techniques statistiques connaissant un succès grandissant depuis les travaux de Breiman en 1984 ([18]). Ces techniques permettent l'exploration et la modélisation de données caractérisées par de nombreuses variables explicatives ([83]). En outre, la méthode permet de mieux appréhender les relations non linéaires et de prendre en compte les interactions entre les variables prédictives ([90]). Dans cette partie, nous allons aborder le principe des arbres de régression. Nous exposerons ensuite leur utilisation dans les algorithmes de forêts aléatoires puis nous en présenterons l'application à la classification des défauts de nos grumes.

3.3.1 Présentation des arbres de régression

3.3.1.1 Principe

Les arbres de régression décrivent les variations d'une variable quantitative à l'aide de plusieurs variables qualitatives ou quantitatives ([52]). Un arbre est construit par divisions successives de l'ensemble des individus en sous-ensembles appelés "nœuds de l'arbre". Au départ, le nœud contenant l'ensemble des observations est qualifié de "nœud racine". Les nœuds terminaux sont qualifiés de "feuilles" ([83]). A chaque étape de division, il faut :

1. sélectionner une variable et un niveau de cette variable pour réaliser la division ;
2. définir si les nœuds obtenus sont intermédiaires ou terminaux ;
3. donner une valeur à chaque nœud.

Le premier point consiste à sélectionner parmi toutes les divisions possibles celle donnant les nœuds les plus purs en fonction d'un critère d'homogénéité (moindres carrés, indice de Gini, entropie, ...)([26]).

Les critères d'arrêt disponibles pour définir un nœud terminal sont l'effectif du nœud ou son hétérogénéité. L'itération du processus jusqu'à l'obtention de nœuds purs ou à effectif minimal donne l'arbre dit maximal. Cet arbre est fortement dépendant de l'échantillon utilisé pour le construire. Il est possible de réduire cet arbre en un arbre de prédiction final grâce à des techniques d'élagage prenant en compte une mesure de coût-complexité ([26]).

L'attribution d'une valeur à un nœud terminal s'effectue, dans le cas des arbres de régression, par le calcul de la moyenne des individus de la feuille.

3.3.1.2 Illustration à partir des données de la vente des grumes étudiées

Nous allons illustrer le point précédent à partir de nos données. Nous étudions toujours le prix en €/m³ de la soumission maximale en fonction de l'acheteur (variable qualitative), des dimensions et défauts de la grume (variables quantitatives). Rappelons que nous avons 70 grumes et 12 acheteurs.

La première division de l'arbre scinde la population en deux en fonction du type d'acheteur (figure F51).

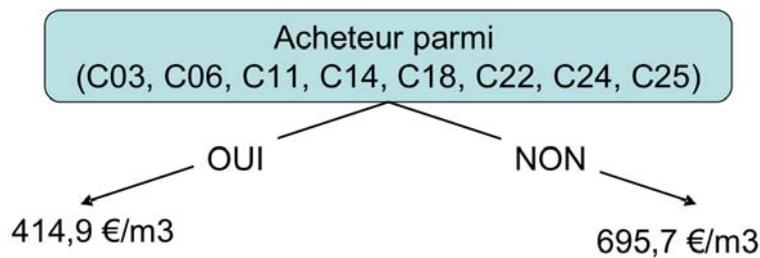


FIG. F51: Arbre de régression : présentation de la première division de l'arbre réalisé à partir des 70 grumes avec pour variable à expliquer la soumission maximale et comme variables explicatives les variables de dimensions et de singularités.

Tous les acheteurs faisant partie de la branche de droite appartiennent au groupe "Trancheur". Le C06 et le seul acheteur de ce groupe à être dans la branche de gauche.

Les divisions suivantes amènent à l'arbre final présenté figure (F52). Les paramètres sélectionnés pour cet arbre sont une taille minimale de feuille de 5 individus, une déviance minimale de 0,010 et un élagage par la méthode du coût-complexité mesuré sur la déviance.

Nous retrouvons ici la forte influence des acheteurs avec une première division qui scinde les lots suivant l'activité de l'enchérisseur. La première division permet en effet de séparer les trancheurs C05, C07, C08 et C10 des autres acheteurs. Notons que le trancheur C06 a été classé avec les autres utilisateurs. Pour ce qui est des défauts, nous ne retrouvons pas les mêmes variables qu'avec les régressions qui, rappelons-le, avaient sélectionné les roses, la courbure et le fil tors.

Si cette technique des arbres de régression permet de s'adapter à des données complexes et fournit des sorties simples à interpréter, elle présente tout de même certains inconvénients. L'opérateur doit en effet fixer de nombreux paramètres que ce soit pour définir les nœuds terminaux ou bien pour l'élagage de l'arbre. Nous avons observé une grande sensibilité du résultat final à la variation de ces paramètres. Nous avons également constaté une forte variabilité des arbres obtenus suite à des validations croisées que nous avons réalisées selon le principe de la section précédente¹².

L'instabilité des arbres est un fait de reconnu dans la littérature ([26]). Pour pallier ce problème,

¹²Résultats non présentés

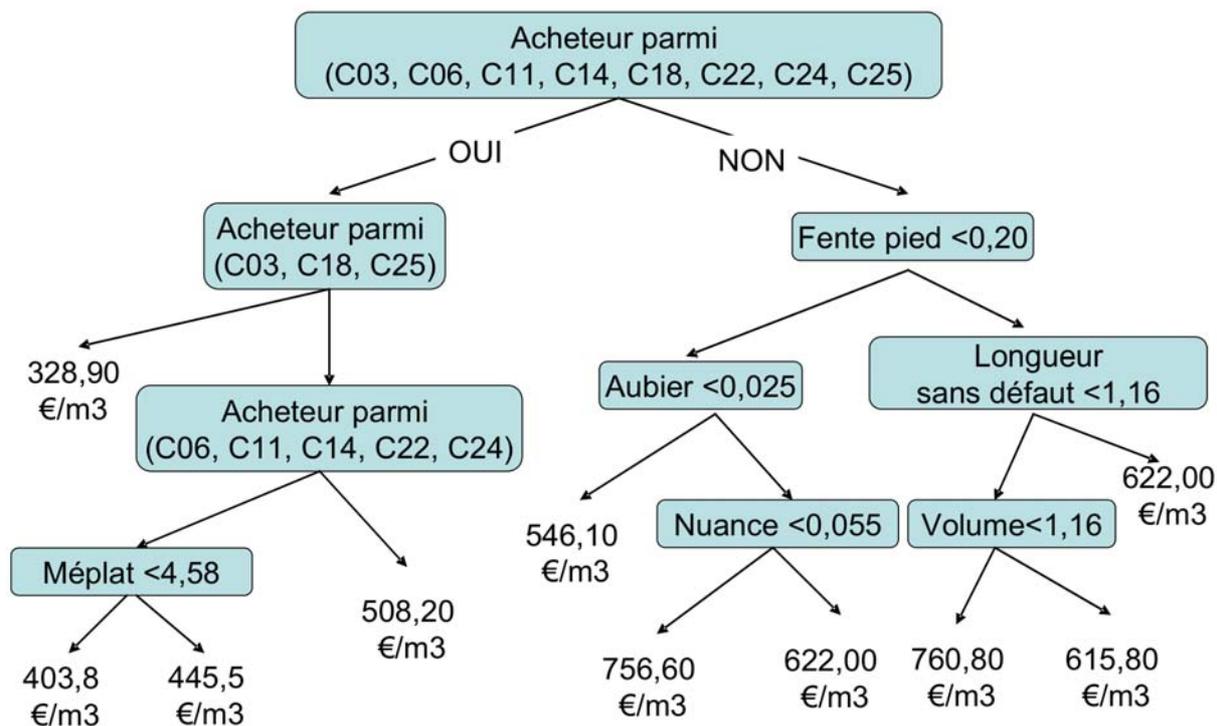


FIG. F52: Arbre de régression final à partir des 70 grumes avec, pour variable à expliquer, la soumission maximale et, comme variables explicatives, les variables de dimension et de singularité.

Depuis le nœud racine (en haut), les observations sont successivement divisées en groupe. Pour chaque groupe, la flèche partant sur la gauche indique que le nouveau nœud vérifie la condition du nœud précédent et le contraire pour la flèche de droite. La soumission maximale moyenne est affectée aux nœuds terminaux.

Breiman a proposé un nouvel algorithme appelé "*Random Forest*" (forêt aléatoire) ([25]) dont nous allons à présent exposer le principe (4.3.2) avant de l'appliquer à nos données (4.3.3).

3.3.2 Présentation des forêt aléatoires de Breiman

Les forêts aléatoires consistent à réaliser un nombre A d'arbres doublement perturbés au moyen d'un tirage aléatoire réalisé au niveau de l'échantillon d'apprentissage et au niveau des partitions internes. Chaque arbre est ainsi généré à partir d'un sous-échantillon obtenu par tirage avec remise de N individus dans la population initiale. Ensuite, l'arbre est construit en utilisant la méthodologie des arbres de régression, à la différence près que la sélection des variables candidates à la division s'effectue sur un sous-ensemble de K variables également sélectionnées aléatoirement. Une autre différence réside dans le fait que les arbres ne sont pas élagués ([26]).

Le modèle final est le modèle moyen de ces A arbres et n'est pas vraiment explicite ([76]). Lors de la phase de prédiction, l'individu dont on veut estimer les prix est propagé dans chaque arbre de la forêt et une estimation du prix lui est attribué en fonction des règles des arbres de régression ([26]). La prédiction globale de la forêt est fournie en prenant les moyenne de l'ensemble des estimations des A arbres.

Parallèlement aux résultats de prédiction, l'algorithme permet de livrer une information sur l'importance des variables. A partir des individus n'ayant pas été retenus par l'échantillonnage il est possible de calculer un taux d'erreur entre les prédictions de la forêt aléatoire et la valeur observé de la variable étudiée. L'importance des variables est évaluée comme l'augmentation de ce taux d'erreur lorsque l'on permute aléatoirement les valeurs d'une variables sur les données de ces individus n'ayant pas participé à l'élaboration des arbres ([77]).

Pour notre travail, ce classement d'importance a été utilisé pour hiérarchiser celle des défauts et des variables de dimension (longueur, diamètre volume) dans les différents groupes. Nous avons utilisé comme paramètres :

- $A=10000$;
- $K=7$, d'après ([25]) conseillant de prendre 1/3 des variables dans le cas de forêts aléatoires de régression ;
- $N'=N-10$, N correspondant au nombre de grumes ayant reçu au moins une soumission dans un groupe donné (voir 4.2.2).

Les résultats de ce classement sont présentés dans ce qui suit.

3.3.3 Application des forêts aléatoires pour hiérarchiser l'importance des défauts

Nous appliquons la méthode précédente à l'ensemble des soumissions, ainsi qu'aux soumissions en fonction des groupes d'utilisateurs. L'ensemble des résultats sont reportés figure (F53)

Les forêts aléatoires montrent une certaine variabilité en fonction des groupes dans le classement d'importance des variables. A part le cas du groupe 5, nous retrouvons systématiquement une variable dimensionnelle dans les trois premières. Cette variable peut être la racine carrée du diamètre (pour l'ensemble des acheteurs confondus, pour le groupe 1 et pour le groupe 4) ou

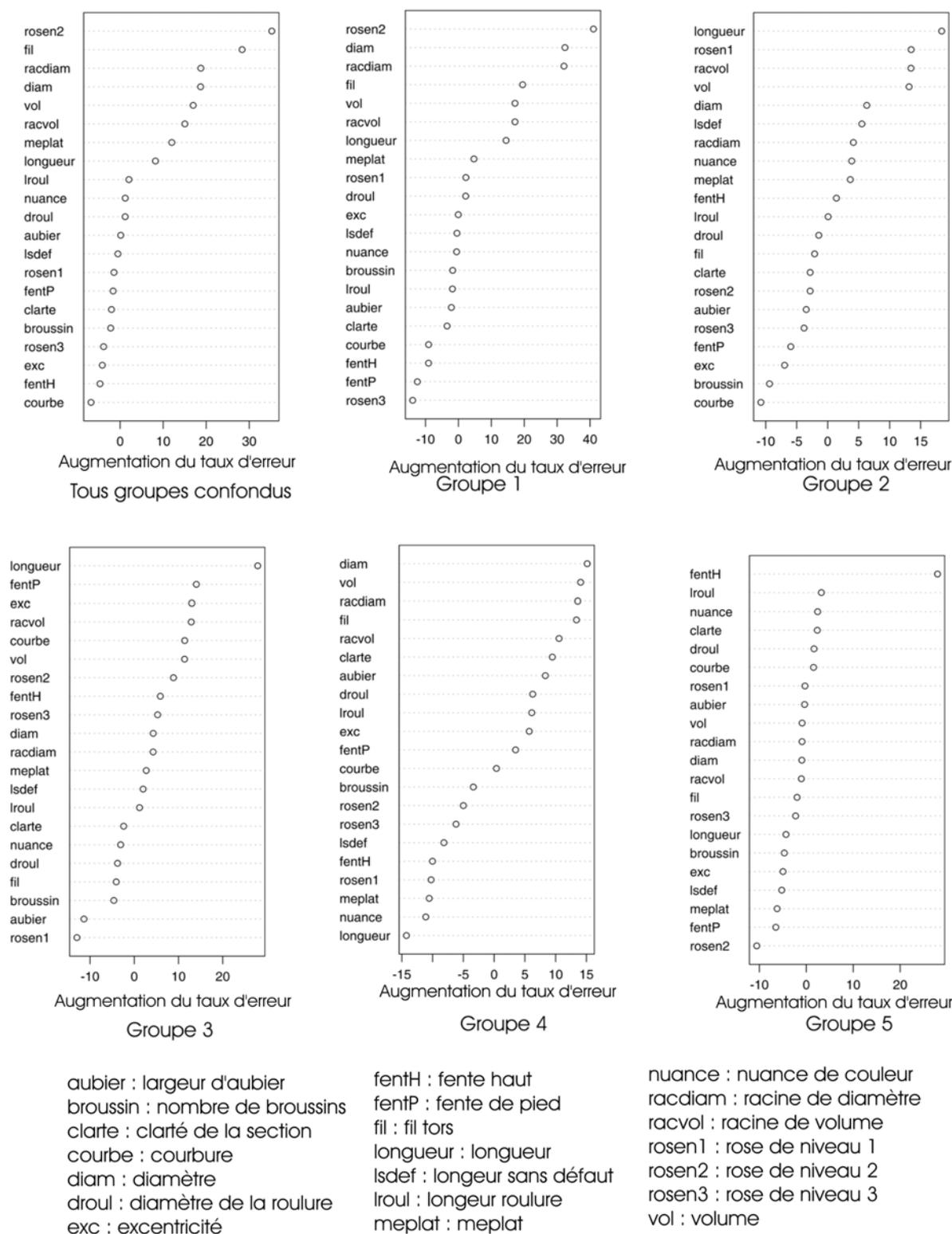


FIG. F53: Classement d'importance des défauts à l'aide des forêts aléatoires de Breiman. Le classement est réalisé à partir de l'importance des variables, mesurée par l'augmentation de l'erreur de prédiction

bien le diamètre (pour le groupe 1 et le groupe 4), la longueur (groupes 2 et 3), la racine carrée du volume (groupe 2) ou encore le volume (groupe 4).

Si l'on compare les résultats obtenus avec les variables sélectionnées par la régression linéaire, il est intéressant de constater que de nombreuses variables sélectionnées précédemment figurent parmi les plus importantes selon cette seconde méthode. Par exemple, la variable définie comme la plus importante par les forêts aléatoires (respectivement pour les différents cas "rose de niveau 2", "rose de niveau 2", "longueur", "diamètre" et "fente de haut") figure systématiquement parmi celles sélectionnées par la régression (voir tableau T35 partie II.3.2.3, page 97).

Précisons cependant qu'il s'agit là d'une illustration d'une utilisation possible de la méthode des forêts aléatoires de Breiman. Afin de pouvoir en tirer des conclusions plus robustes, il serait nécessaire de disposer d'un nombre d'individus dans notre population beaucoup plus important.

3.4 Synthèse de l'étude des prix à l'aide des régressions linéaires et des forêts aléatoires

Au cours de cette section, nous avons vu deux méthodes permettant d'appréhender l'importance des défauts en fonction de leurs conséquences sur les prix de grumes vendues individuellement : la régression linéaire et les forêts aléatoires de Breiman. Chacune de ces méthodes a montré ses avantages et ses inconvénients.

La méthode par régression linéaire permet théoriquement de mesurer de façon quantitative la chute de prix engendrée par un défaut. Nous avons cependant constaté, vraisemblablement à cause des interactions entre variables, que nous mesurons parfois une augmentation de prix avec une gravité de défaut croissante, ce qui est contraire à l'entendement.

A l'inverse, la mesure de l'importance des variables à l'aide des forêts aléatoires permet de proposer une classification de l'ensemble des caractéristiques de la grume. Du fait de la prise en compte, par construction, des interactions entre variables, il est en revanche plus difficile d'obtenir à partir des arbres de régressions une mesure de l'incidence d'un défaut sur le prix des bois.

4

Discussion du chapitre "Singularités et prix des bois"

Sommaire

4.1	Quelles sont les limites de la méthode employée?	106
4.2	Peut-on envisager d'autres pistes pour relier prix des grumes et leurs singularités?	107
4.3	Relation entre singularités et prix des grumes : jusqu'où peut-on aller?	107

LES trois premières sections de ce chapitre ont été l'occasion de présenter différents résultats en ce qui concerne la relation des prix avec les singularités des grumes. Deux méthodes ont été utilisées pour évaluer l'impact des défauts. Les résultats obtenus ne permettent de répondre que partiellement à la problématique de la thèse et justifient de ce fait la nécessité d'une étude complémentaire. Avant cela, nous allons revenir sur la méthode et les résultats de cette première partie en nous interrogeant successivement sur les limites de la méthode, sur d'autres pistes d'exploration possibles et sur les liens entre les défauts et le prix qui sont apparus clairement en dépit des critiques et limites de ces méthodes.

4.1 Quelles sont les limites de la méthode employée ?

Notre objectif était de relier le prix de grumes individuelles aux défauts présents sur celles-ci. La mise en pratique de cette démarche a fait apparaître certaines contraintes limitant la qualité des résultats.

La première de ces difficultés est le fait d'avoir un très grand nombre de variables à étudier. Pour mener parfaitement à bien cette tâche, il aurait été intéressant de disposer d'un jeu de données beaucoup plus important que celui dont nous disposons. En effet, avec 70 grumes pour une quinzaine de variables, nous ne pouvions faire ressortir que les tendances fortes. En outre, nous suspectons de fortes interactions entre variables, qu'il n'est pas possible de mesurer précisément, et qui viennent complexifier la modélisation.

De plus, si nous avions voulu tout de même mesurer ces interactions avec un nombre raisonnable de grumes étudiées, il aurait alors été nécessaire de nous appuyer sur un plan d'expérience, ce qui n'était absolument pas possible dans le cas présent. En effet, nous étions dépendant des grumes présentes sur les places de vente et nous ne pouvions pas sélectionner à notre guise les combinaisons de défauts.

Enfin, la métrologie de mesure des défauts que nous avons mise en œuvre présente également des limites. Tout d'abord, le temps de reconstitution d'une grume et de repérage des défauts à partir des photographies est très important (une demi-journée pour créer la grume en 3D et une demi-journée pour réaliser le repérage des défauts). Une possibilité d'amélioration de la méthode consisterait à placer des repères de couleur sur les défauts et mesurer la localisation de ces repères dans l'espace sans reconstituer l'ensemble de la grume. En effet, le fait d'avoir une grume complètement reconstituée en 3D ne nous a été d'aucune utilité, si ce n'est illustrative pour l'interprétation des données que nous avons réalisées. D'autre part, la méthode n'a pas permis de repérer certaines singularités comme les largeurs d'accroissement ou bien les picots à cause d'une résolution trop faible des photographies. Les nouveaux appareils photographiques apparus

récemment et à résolution beaucoup plus élevée que celui que nous avons à notre disposition au moment de l'étude permettraient peut-être de corriger ce problème.

4.2 Peut-on envisager d'autres pistes pour relier prix des grumes et leurs singularités ?

A partir de nos données, il était possible d'envisager d'autres pistes d'exploitation des résultats. Nous avons par exemple regardé si nous pouvions relier la probabilité de soumission à la qualité de la grume. Cette démarche s'est révélée infructueuse dans notre cas, car, comme nous l'avons vu dans la présentation des résultats de la vente, les différents acheteurs ont des stratégies de soumission ne dépendant pas que des caractéristiques de la grume : certains semblaient soumettre systématiquement alors que d'autres ne le faisaient que quand ils étaient vraiment intéressés par l'acquisition de la pièce. Néanmoins, à partir d'une population de grumes présentant une plus grande variabilité de défauts, il serait sans doute envisageable d'appliquer cette approche.

Une approche également envisagée aurait pu consister à calculer, à partir des types de défauts et de leur position, le rendement matière pour une utilisation donnée. Le prix de la grume se serait alors présenté sous la forme d'une fonction des cours des produits finaux et des coûts de transformation. Il est évident que l'utilisateur ne connaît pas de façon exacte la propagation du défauts au sein de la grume, mais son expérience permet d'en réaliser une estimation *a priori*. Ne disposant pas nous-même de cette expérience, une approche intéressante pourrait être de se servir des techniques d'étude non destructive des grumes à l'aide de scanner 3D ([110],[111]) (acquisition attendue cette année au laboratoire) pour connaître de façon exacte la propagation du défaut au sein de la grume et de voir dans quelle mesure il est alors possible d'en faire la liaison avec le prix.

4.3 Relation entre singularités et prix des grumes : jusqu'où peut-on aller ?

Globalement, Nous n'avons pas constaté de nette amélioration de la qualité des modèles à la suite de l'introduction d'une description fine de la grume. Cette constatation nous amène à nous interroger sur le niveau de précision dans la description des défauts que nous devons utiliser lorsque nous tentons de relier le prix des grumes aux singularités. En effet, nous avons régulièrement constaté une bonne corrélation entre les prix des grumes et une variable permettant de synthétiser l'information qualité : les normes, quand elles sont bien définies et reconnues, ou, par exemple, la longueur ou le méplat dans le cas de l'étude présentée. Ceci suggère que les acheteurs s'appuient sur une estimation "moyenne" de la qualité d'une grume et ne réalisent pas un inventaire complet des défauts en opérant une décote à chaque défaut rencontré. Si une telle hypothèse était vérifiée, il deviendrait difficile d'utiliser les prix comme mesure de l'incidence des défauts et nous amènerait à nous interroger sur le sens même de l'"incidence d'une singularité"

Comme nous l'avons indiqué dans la revue bibliographique et ainsi que nous l'avons vérifié sur nos données, les prix ne sont pas uniquement fonction des caractéristiques des grumes. Ainsi, d'après la théorie des enchères (voir détails en annexe E), le prix proposé pour un lot n'est pas

directement l'estimation de sa valeur faite par l'agent, mais une fonction croissante de cette estimation qui fait intervenir la mise en concurrence avec d'autres agents. Dans le cadre de notre étude, cette théorie est intéressante de plusieurs points de vue :

- il existe de nombreux exemples dans la littérature d'application de la théorie des enchères aux ventes de bois (voir Annexe E) ;
- la variable d'étude analysée, à savoir la soumission maximale, est le résultat d'une vente aux enchères par soumissions cachetées ;
- la théorie des enchères permet d'estimer la valeur privée, c'est à dire la véritable estimation que l'agent réalise de la grume, valeur alors non perturbée des effets liés à ses stratégies. Cette valeur privée pourrait devenir ensuite la variable à expliquer en fonction des caractéristiques des arbres.

Si, d'un point de vue conceptuel cette approche s'est révélée très attractive, il n'a en revanche pas été possible de la mettre en application de façon profitable du fait du grand nombre d'hypothèses étant grossièrement fausses dans le cas de notre vente : nombre de soumissionnants à une enchère *a priori* inconnu, forte hétérogénéité des participants, hétérogénéité des objets vendus, non indépendances des soumissions.

Cette discussion a permis de souligner certaines limites à notre première approche, notamment le fait que le prix des grumes est un signal complexe contenant bien plus d'information que la simple mesure de l'importance accordée aux défauts et aux dimensions de la pièce, même si ces dernières restent prépondérantes. Nous proposons à présent d'apporter un éclairage complémentaire à la problématique de cette thèse en cherchant à nous rapprocher d'une mesure plus directe de l'importance accordée aux différents défauts, à savoir la mesure de la préférences des utilisateurs.

Chapitre III : Enquête de préférence auprès des utilisateurs

COMME indiqué dans la présentation de la démarche de notre travail en introduction, l'étude du prix des grumes vendues individuellement n'est pas suffisante pour répondre de façon complète à la problématique de la thèse, à savoir mesurer l'impact des différents défauts du bois de Chêne. En effet, nous avons pu mettre en évidence au cours de la première partie un certain nombre de lacunes de l'indicateur "prix".

Le prix est tout d'abord une grandeur très variable dont le lien avec la qualité est bruité en fonction des marchés, de la santé économique ou des stratégies des différents protagonistes. D'autre part, l'étude telle que nous l'avons entreprise, à savoir nous concentrer sur la vente particulière de Bad Mergentheim, ne nous a pas permis de contrôler le matériel d'étude et de faire varier à notre guise les paramètres étudiés, comme le type de défauts présents, leur intensité ou encore le public consulté.

Afin de remédier à ces lacunes, nous proposons une approche complémentaire dont les attentes sont définies en réponse aux imperfections soulignées précédemment :

- avoir la possibilité de tester les effets d'une gamme de singularités dont nous pourrions choisir le type et le niveau de gravité ;
- pouvoir décider du public consulté ;
- mesurer l'incidence des singularité sur la qualité telle qu'elle est perçue par les différentes personnes consultées à l'aide d'un indicateur plus direct que le prix.

Comme nous le décrivons dans la première section de ce chapitre, de nombreuses méthodes, le plus souvent appliquées en analyse sensorielle, permettent de mesurer la préférence d'un consommateur pour un bien ou un service donné. Une rapide revue d'exemples issus de la littérature est entreprise afin d'illustrer la démarche développée dans les sections qui font suite.

Le cœur de cette démarche est une enquête réalisée auprès des premiers transformateurs du bois de Chêne en France. La deuxième section présente la conception de cette enquête. Il présente à la fois la réalisation du matériel d'enquête mais aussi les concepts et modèles sélectionnés pour son interprétation.

La troisième section expose quant à lui les différents résultats de l'enquête ainsi que leur analyse.

Enfin la quatrième section vient clore ce chapitre en proposant une discussion des résultats.

1

Comment estimer la préférence des utilisateurs ?

Sommaire

1.1	Présentation de l'analyse conjointe	114
1.1.1	Origine et objet	114
1.1.2	Définition de l'utilité	114
1.2	Présentation du protocole de mesure	115
1.3	Conclusion	116

LES recherches visant à comprendre et à modéliser le comportement d'un consommateur en fonction des caractéristiques du produit sont nombreuses, tant dans les domaines de l'agro-alimentaire que du marketing tout en demeurant rares aux niveaux "grumes" et "produits à base de bois". Notre prétention n'est pas d'en faire ici une synthèse bibliographique, mais d'en présenter la démarche qui sera par la suite appliquée à notre étude. Ces études s'appuyant sur la technique d'analyse conjointe, nous revenons sur cette notion dans une première partie. La seconde partie permet de présenter et d'illustrer en détails ce protocole.

1.1 Présentation de l'analyse conjointe

1.1.1 Origine et objet

L'analyse conjointe est issue des travaux des psychomètres réalisés dans le but de "comprendre le comportement du consommateur dans ses dimensions multiples comme être social, individuel et agent économique" ([109]). De même que l'analyse des prix hédonistes, l'analyse conjointe est basée sur le principe qu'un produit est composé de différents attributs et que le choix du consommateur dépend de l'ensemble de ces attributs ([97]). Il s'agit donc de mesurer l'effet conjoint de plusieurs variables (les caractéristiques) sur les valeurs prises par une variable dépendante à expliquer (la préférence)([109]).

1.1.2 Définition de l'utilité

L'utilité est une notion de base utilisée en micro-économie et définie comme le "nombre attribué à un bien par une personne et qui sert d'indicateur de la satisfaction que procure la consommation de ce bien" ([82]). On considère classiquement que l'utilité en tant que telle n'a pas de sens outre le fait qu'elle permette de classer les biens selon la préférence qui leur est accordée.

La fonction $u(\cdot)$ qui, à chaque bien x , associe un nombre $u(x)$ de telle sorte que x est préféré à y si et seulement si $u(x) > u(y)$, est appelée fonction d'utilité. La fonction d'utilité associée à chaque bien, ou panier de biens, l'équivalent d'une note ou d'un indice de satisfaction, de telle sorte que le classement de ces notes reflète exactement les préférences ([131]).

Dans le cas de biens constitués d'une combinaison d'éléments ou de caractéristiques, l'individu fait son choix en fonction des différentes caractéristiques. L'utilité partielle est l'utilité affectée à chacune de ses caractéristiques. L'utilité du bien est donc une fonction des différentes utilités partielles ([109], équation (E 25)).

$$U = f(u_1, u_2, u_3, \dots, u_n) \quad (\text{E } 25)$$

où $u_1, u_2, u_3, \dots, u_n$ sont les utilités partielles des caractéristiques.

L'analyse conjointe consiste ainsi, à travers ce processus de mesure, à déterminer les valeurs d'utilités partielles pour recomposer la préférence finale. Dans notre cas, la grume constitue le bien étudié et les différentes singularités en représentent les caractéristiques. Il s'agit donc de mesurer l'utilité accordée aux différentes singularités pour en établir un classement.

1.2 Présentation du protocole de mesure

En nous inspirant de ([80], [85], [109], [140] et [141]), nous avons pu identifier le protocole généralement employé pour mesurer les préférences des consommateurs. Nous allons dans cette section présenter les différentes étapes de ce protocole :

1. sélection des caractéristiques : afin d'étudier la préférence des individus en fonction des caractéristiques d'un objet, il faut, dans un premier, temps choisir ces caractéristiques ou attributs. Ceux-ci doivent être *a priori* déterminants, c'est-à-dire importants et différenciants. Ils doivent également être indépendants car de trop fortes corrélations aboutissent à la redondance et le risque est de mesurer cette dernière au lieu de la préférence. Les attributs doivent décrire complètement le produit. Enfin, chacun des attributs doit être facilement appréhendable et identifiable. Leur sélection peut se faire à partir de revues bibliographiques ou à l'aide de consultations d'experts ;
2. attribution des niveaux : une fois les caractéristiques sélectionnées, il faut en fixer le niveau de variation. Ces niveaux doivent être réalistes et bien répartis sur l'ensemble des niveaux acceptés par les consommateurs ;
3. choix du plan d'expérience : le plan d'expérience permet de définir quelles sont les combinaisons de niveaux des différentes caractéristiques qui vont être présentées aux utilisateurs. Les plans factoriels complets permettent d'estimer les effets principaux et les interactions de l'ensemble des caractères étudiés. Cependant, ces plans deviennent vite de très grande taille et, par conséquent, peu réalistes à mettre en œuvre. Par exemple, pour 4 caractères à 3 niveaux, le plan est de 64 combinaisons possibles. Des stratégies permettent de réduire ces combinaisons (plan factoriel fractionnaire, blocs incomplets), aux dépens d'une perte d'information, c'est-à-dire que certaines interactions ne sont alors plus mesurables ;
4. construction des groupes de comparaison. Le plan d'expérience permet de définir les caractéristiques des différents objets présentés aux utilisateurs. L'étape suivante est de déterminer comment ces objets seront présentés : individuellement, par paires ou en groupe. En comparant ([80]) et ([140]), deux stratégies différentes sont observables. La première consiste à limiter le nombre d'objets de l'étude et de présenter ces objets plusieurs fois à des individus différents. Cette approche est très intéressante pour accéder aux préférences individuelles ou celles de sous-groupes de population. L'autre stratégie est de maximiser le nombre de profils présentés. On considère alors chaque interviewé comme un individu issu d'une population homogène. La démarche est donc plutôt cette fois orientée vers la compréhension que vers la prévision ;

5. mesure des préférences : il s'agit de déterminer la réponse attendue des personnes enquêtées : notation, classement ou choix ;
6. choix du modèle : la dernière étape consiste à établir un modèle permettant de rechercher les utilités partielles de chaque modalité ;
7. identification des interviewés : le questionnaire établi, il faut sélectionner les personnes devant répondre à l'enquête : population visée, protocole d'échantillonnage dans cette population

1.3 Conclusion

L'analyse conjointe est utilisée pour étudier les facteurs influençant le comportement des consommateurs. Elle permet d'identifier les attributs des objets déterminants dans les préférences de ces consommateurs. Le protocole généralement utilisé comporte sept étapes permettant de définir l'objet à étudier, son mode d'étude ainsi que la population type. Ce protocole va être utilisé dans notre cas pour mesurer la préférence des acheteurs en fonction des défauts présents sur les grumes de Chêne.

2

Conception de l'enquête permettant de mesurer les préférences des utilisateurs de Chêne

Sommaire

2.1	Détermination des caractéristiques des grumes destinées à l'enquête	118
2.1.1	Caractéristiques communes à l'ensemble des grumes de l'étude	118
2.1.2	Singularités sélectionnées	119
2.1.3	Choix des niveaux de gravité des défauts sélectionnés	119
2.1.4	Détermination du plan d'expérience	121
2.1.5	Création des grumes virtuelles	123
2.2	Mode de présentation des grumes virtuelles aux interviewés	130
2.2.1	Choix du support de présentation des grumes virtuelles	130
2.2.2	Protocole de présentation des grumes	131
2.2.3	Répartition des grumes en 18 triplettes	134
2.3	Modèles choisis pour analyser les résultats de l'enquête	134
2.3.1	Nombre d'occurrences en première, deuxième et troisième positions	135
2.3.2	Classement par attribution d'un rang	136
2.3.3	Mesure des forces relatives	137
2.4	Finition du questionnaire et choix des interviewés	139
2.4.1	Finition du questionnaire	139
2.4.2	Typologie des interviewés	140
2.4.3	Choix des interviewés	141
2.5	Conclusion	143

La présente section expose les différentes étapes de la conception de l'enquête. Il illustre l'application de la démarche présentée précédemment au cas précis de l'analyse de l'importance accordée aux différents défauts des grumes de Chêne. Les quatre grandes étapes sont le choix des grumes entrant dans l'enquête, l'élaboration du questionnaire, l'étude du mode d'exploitation des données et la détermination du profil des interviewés.

2.1 Détermination des caractéristiques des grumes destinées à l'enquête

L'objet de cette section correspond aux deux premiers points du protocole présenté dans la section précédente, à savoir la sélection des caractéristiques des grumes et l'attribution du niveau de ces caractéristiques. Nous avons vu au cours des précédentes études que de nombreuses caractéristiques servent à décrire une grume de Chêne : ses dimensions, sa forme, sa couleur, ses singularités ou même son origine. Parmi ces caractéristiques, certaines sont au centre même de cette étude (les singularités) et d'autres sont plus annexes. Ne pouvant ignorer les caractéristiques ne nous intéressant pas directement, nous allons plutôt les considérer comme identiques pour l'ensemble des grumes étudiées. Les caractéristiques que nous avons fait varier sont celles dont nous voulions mesurer l'importance, c'est à dire les singularités et celles-ci seulement.

2.1.1 Caractéristiques communes à l'ensemble des grumes de l'étude

2.1.1.1 Critères dimensionnels

Ainsi que nous venons de l'écrire, les grumes présentées aux personnes enquêtées ne vont pas varier en terme de dimensions. Il s'agit donc de choisir des dimensions réalistes et pouvant correspondre à l'ensemble des utilisations. Nous avons pour cela regardé la répartition des grumes en terme de diamètre et de longueur lors de la vente de Bad Mergentheim (figure F25, page 44). Les grumes comprises entre 4 et 6 m de long et 40 et 60 cm de diamètre représentent la majorité des grumes mises en vente. Nous avons soumis ces dimensions au jugement de professionnels de la filière pour déterminer plus précisément les diamètres et la longueur des grumes recherchées. Il a été finalement décidé d'utiliser une longueur de grume de 5 m et un diamètre de 65 cm.

La largeur d'aubier a été considérée comme constante, parce que, s'agissant d'un critère "objectif", il est facile d'en mesurer le poids au travers de la chute de volume valorisable. Nous avons fixé cette largeur 3 cm, ce choix correspondant à la largeur maximale acceptable dans la qualité A d'après la norme CTBA ([15]).

2.1.1.2 Critères non explicités

Certains critères n'ont pas été explicités. Par exemple, l'origine des arbres ou bien s'il s'agissait de *Quercus robur* L. ou de *Quercus petraea* Liebl. Il était indiqué aux interviewés qu'il n'y avait pas de différence d'origine ou bien d'essence entre les différentes grumes présentées.

L'écorce, dont l'épaisseur est déterminante pour le cubage des bois ([154]) n'a pas non plus été décrite. Elle a été également considérée comme identique dans l'ensemble des grumes de l'étude.

2.1.2 Singularités sélectionnées

À partir de la norme CTBA ([15]), les différents défauts ont été listés. Il n'est évidemment pas possible de pouvoir tous les prendre en considération. Quatre critères ont servi pour sélectionner ces défauts :

1. la fréquence : les défauts les plus fréquents ont été prioritaires dans cette étude. Un défaut comme la lunure par exemple est très rare. Il a donc été écarté ;
2. la gravité : un défaut excluant d'office la grume d'une utilisation ne peut être conservé car la grume présentant ce défaut serait systématiquement classée dernière et donc la comparaison avec les autres deviendrait inutile ;
3. le lien supposé avec la sylviculture : dans la mesure où l'un des objectifs de la thèse est d'établir une liste hiérarchisée de défauts à prendre en compte dans les simulateurs, il est intéressant que les déterminants de ces défauts soient aussi également implémentés dans ces simulateurs. Nous avons donc exclu les défauts considérés comme liés à une cause "extérieure", c'est-à-dire non liée *a priori* à une cause sylvicole, comme par exemple l'intervention humaine, animale, ou les dégâts de foudre ;
4. le nombre de facteurs du plan d'expérience : nous verrons dans la partie correspondante (7.1.4) que le plan sélectionné a fixé à 13 le nombre de défauts. Parmi les défauts potentiels répondant aux critères précédents, il faut donc sélectionner les 13 défauts retenus. Cette sélection a été réalisée suivant la qualité des réponses aux trois critères précédents.

Le bilan des défauts sélectionnés et rejetés figure dans le tableau (T36). Nous avons fait figurer en premier les défauts sélectionnés. Par la suite, nous avons indiqué les défauts dont nous aurions pu tenir compte si nous avions sélectionné plus de 13 défauts et, enfin, les défauts rejetés d'office. Pour ces deux derniers cas, la raison du rejet du défaut de l'enquête a été précisé. Ce tableau permet également d'introduire les notations qui nous serviront à présent pour nommer les défauts sélectionnés.

2.1.3 Choix des niveaux de gravité des défauts sélectionnés

Pour chaque défaut, 3 niveaux de gravité ont été étudiés. Le premier niveau, ou plutôt le niveau 0, correspond à l'absence du défaut ou à l'état le plus favorable de la singularité. Les niveaux ont ensuite été fixés d'après la norme CTBA ([15]). Le niveau 1 se trouve juste avant le seuil entraînant le premier déclassement dû au défaut considéré et le niveau 2 à un niveau

Défaut	Pris en compte	Raison du rejet	Notation
Accroissements	✓		acc
Méplat	✓		mep
Excentricité	✓		exc
Couleur	✓		coul
Courbure	✓		cour
Fente de cœur simple	✓		fen
Fentes de cœur multiples	✓		fen
Roulure	✓		rou
Nœud sain	✓		ns
Picot	✓		pic
Rose	✓		ros
Broussin	✓		brou
Fil tors	✓		fil
Nœud pourri	✓		np
Gale du Chêne	potentiel	agent extérieur	
Gélivure	potentiel	fentes déjà prises en compte	
Fentes de retrait	potentiel	fentes déjà prises en compte	
Excroissance	potentiel	rare et trop grave	
Pourritures	potentiel	trop grave et dû à agent extérieur	
Cœur rouge	potentiel	rare et dû à agent extérieur	
Aubier pourri	potentiel	agent extérieur	
Trous d'insectes	potentiel	agent extérieur	
Largeur d'aubier	non	voir partie III.2.1.1.1	
Lunure	non	rare	
Fente d'abattage	non	agent extérieur	
Corps étranger	non	agent extérieur	
Blessure cicatrisée	non	agent extérieur	
Côté sec	non	trop grave	
Coup de foudre	non	agent extérieur	
Surface carbonisée	non	agent extérieur	

TAB. T36: Présentation des défauts sélectionnés pour l'enquête et de ceux non pris en compte. Le terme de "potentiel" indique que le défaut aurait pu éventuellement être pris en compte dans un plan d'expérience à plus de 13 facteurs.

L'explication des causes de rejet "agent extérieur", "rare", ou "trop grave" est donnée partie 7.1.2. .

intermédiaire entre ce premier seuil et le deuxième seuil. Le tableau (T37) indique les niveaux de gravité affectés aux différents défauts.

Défaut	Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2
acc	Fin, réguliers	Larges, réguliers	Irréguliers
mep	Aucun	5%	15 %
exc	Aucune	7,5 %	14 %
coul	Homogène, claire	Homogène, foncée	Hétérogène
cour	Aucune	4%	8%
fen	Aucune	Simple au pied (25 %)	Multiple au pied (50 %) et simple en haut (25%)
rou	Aucune	1/2 circonférence (33%)	Totale (33%)
NS	Aucun	2 de 3 cm	2 de 3 cm, 2 de 8 cm
pic	Aucun	2	10
ros	Aucune	2 de 3 cm	6 de 3 cm, 1 de 6 cm
brou	Aucun	1	3
fil	Aucun	6,5 %	10 %
NP	Aucun	2 de 3 cm	2 de 3 cm, 2 de 5 cm

TAB. T37: Indication des niveaux de défaut sélectionnés.
Les % dans le cas de la fente ou de la roulure représentent les % du diamètre de la section .

2.1.4 Détermination du plan d'expérience

2.1.4.1 Stratégie de choix du plan d'expérience

Si nous avons voulu tester l'ensemble des combinaisons avec 13 défauts et 3 niveaux de gravité, il aurait fallu disposer pour l'enquête de $13^3 = 2197$ grumes, ce qui est irréaliste. Nous devons donc réduire cet effectif. Comme présenté en partie III.1.2, deux stratégies sont envisageables :

- la première consiste à essayer de tester un maximum d'effets et donc de présenter des grumes différentes d'un enquêté à l'autre. L'avantage de cette approche est de pouvoir mesurer correctement les effets principaux des défauts et étudier leurs interactions. L'inconvénient est de devoir supposer l'ensemble des interviewés comme ayant un même comportement vis-à-vis des défauts. D'un point de vue pratique, cette approche nécessite également de disposer d'un grand nombre de profils de grumes différents. Une vigilance accrue dans la préparation de chaque enquête est nécessaire pour présenter les bons profils aux bonnes personnes. Enfin la défaillance d'un interviewé entraîne un déséquilibre dans le plan d'expérience ;
- la seconde option, consiste à présenter toujours la même enquête aux différentes personnes interrogées. Les avantages sont une simplification du travail de réalisation et de préparation de l'enquête. Si une personne pressentie pour répondre à l'enquête se retire au dernier moment, cela ne perturbe pas le plan. Il est de plus théoriquement possible de remonter jusqu'à l'effet individuel. L'inconvénient est qu'un interviewé ne peut juger qu'un nombre limité de profils. Nous sommes donc limité dans le nombre de grumes à présenter. Pour limiter ce nombre de grumes, nous pouvons diminuer le nombre de défauts étudiés. Nous pouvons également renoncer à l'étude des interactions d'ordre élevé voire à toutes les interactions.

Les arguments pratiques, à savoir un travail de réalisation de l'enquête plus court et une utilisation plus souple du questionnaire, ont prévalu. Nous nous sommes donc orienté vers la seconde stratégie. Pour la mettre en œuvre, nous nous sommes appuyé sur l'utilisation de plans factoriels fractionnaires.

L'utilisation d'un plan factoriel fractionnaire a pour but de limiter le plus possible le nombre d'expériences à réaliser pour étudier un nombre d'effets donnés, en ne réalisant qu'une fraction des expériences du plan complet ([47]). Comme indiqué précédemment, cette réduction ne se fait pas sans diminuer la richesse de l'interprétation. Le fait de diminuer le nombre d'expériences entraîne en effet une confusion entre certaines interactions et certains effets ([37]). Un plan d'expérience est caractérisé par sa résolution. La résolution du plan indique quels effets, principaux ou interactions, sont estimables. Par exemple, pour un plan de résolution III, tous les effets principaux sont estimables les uns par rapport aux autres mais certains sont confondus avec des interactions d'ordre 2 ([103]).

2.1.4.2 Création du plan d'expérience

Afin de réaliser le plan d'expérience, nous avons utilisé le logiciel SAS 8.01 ([89]) et les deux macros suivantes :

- la macro %MktRuns ([103]) : elle permet de déterminer la taille d'un plan d'expérience à partir du nombre de facteurs et du nombre de modalités de chaque facteur. Cette macro indique les différentes tailles de plans équilibrés¹³ et orthogonaux¹⁴ possibles. Si ces deux conditions ne peuvent pas être respectées, elle indique les plans pour lesquels les violations de l'orthogonalité et de l'équilibre sont minimisées ;
- la macro %MktEX ([103]) : elle permet d'établir les plans factoriels à partir du nombre de facteurs, du nombre de modalités et du nombre d'individus.

Si nous regardons les plans orthogonaux et équilibrés existants pour une quinzaine de défauts, nous nous rendons compte que, pour un nombre compris entre 10 et 13 défauts, la taille du plan équilibré et orthogonal est de 27 individus. A partir de 14 défauts, le plan passe à 54 individus. C'est donc le plan à 13 facteurs, 3 niveaux et 27 individus que nous avons retenu. Il s'agit là d'un plan de résolution III. Un plan de résolution IV nécessiterait 243 grumes. Le plan obtenu est présenté en annexe F (tableau F.1).

2.1.4.3 Affectation des niveaux de gravité aux modalités du plan

Le plan d'expérience sélectionné, il faut à présent déterminer pour chaque facteur quel est le niveau attribué à chaque modalité. En effet, si le niveau 0 est attribué systématiquement à la modalité 1 par exemple, nous obtenons alors pour la première grume une grume parfaite. Cette grume ne présente que peu d'intérêt dans notre étude car nous saurions d'office qu'elle est la meilleure. Ce qui nous intéresse, c'est plutôt d'avoir une comparaison de grumes dont le

¹³Le plan est qualifié d'équilibré quand toutes les modalités de chaque facteur apparaissent un même nombre de fois.

¹⁴Lorsque chaque paire de facteurs a le même nombre d'occurrence, le plan est alors qualifié d'orthogonal.

classement n'est pas trivial et donc plus riche en enseignements. Nous allons donc rechercher à comparer des grumes de qualités *a priori* assez proches, que nous qualifierons de "moyenne" par opposition à la grume de "bonne qualité" qui est systématiquement préférée et celle de "mauvaise qualité" qui est toujours rejetée.

Il est possible d'affecter aux trois niveaux de modalité de chaque facteur du plan les niveaux de défaut 0, 1 ou 2. Afin de pouvoir évaluer les différents plans obtenus, il est nécessaire de définir un critère. Comme nous souhaitons avoir des grumes se répartissant autour d'une grume moyenne, nous allons affecter le niveau -1 à l'absence de défaut, le niveau 0 au défaut de niveau 1 et le niveau +1 au défaut de niveau 2. Nous réalisons ensuite la somme des défauts pour chaque grume. Le critère d'évaluation du plan est alors la somme de la puissance quatre des scores des grumes. Nous avons choisi d'utiliser cette puissance quatre afin de pénaliser d'autant plus les grumes s'éloignant de la "grume moyenne".

Afin de minimiser ce critère, il s'agit de faire des permutations de niveaux de défauts dans les niveaux de modalités du plan d'expérience. Un algorithme simple à mettre en place pour minimiser ce critère est de prendre un plan de départ aléatoire. À partir de ce plan, nous réalisons une permutation. Si le nouveau plan présente une valeur inférieure pour le critère, alors la permutation est validée. Dans le cas contraire, la permutation est rejetée et il faut repartir de l'état d'avant cette permutation. Il suffit ensuite d'itérer ce raisonnement. Cependant il y a un fort risque de converger vers un minimum local.

Afin de limiter le risque de converger vers un minimum local, nous avons utilisé la méthode du recuit simulé ([115], [128]). L'algorithme en est présenté figure (F54). Le principe est de moduler les permutations en fonction d'une température du système. Si à la suite d'une permutation, le nouveau plan présente une valeur du critère inférieure à celle du plan de départ, la permutation est acceptée. Dans le cas contraire, la permutation est adoptée avec une probabilité dépendant de la température. Plus la température est faible, moins la probabilité d'accepter un plan présentant une valeur de critère supérieure est élevée. Inversement, quand la température est élevée, les permutations sont acceptées presque systématiquement quelle que soit la valeur du critère.

Le plan finalement retenu est présenté en annexe F (tableau (F.2)).

2.1.5 Création des grumes virtuelles

Maintenant que nous disposons du plan d'expérience, il faut des grumes ayant les caractéristiques correspondantes. La recherche de grumes réelles qui auraient les critères définis ci-dessus serait un travail extrêmement long, fastidieux et sans doute inutile vu qu'il est quasiment impossible de trouver une grume qui ait exactement les caractéristiques voulues et aucune autre. Il a donc été décidé de créer des grumes totalement artificielles et virtuelles. Celles-ci ont été élaborées à l'aide des logiciels de création graphique Blender, 3DS Max et Corel Photopaint. Les différentes étapes sont la création de l'enveloppe, la création de la section, la création du tronc puis l'habillage.

Cette section présente les différentes étapes nécessaires à la réalisation des grumes virtuelles. La création d'une grume se fait en deux temps :

- il faut tout d'abord réaliser une enveloppe en 3D permettant de donner l'allure générale de la grume. Les paramètres permettant de réaliser cette enveloppe sont la longueur, le diamètre,

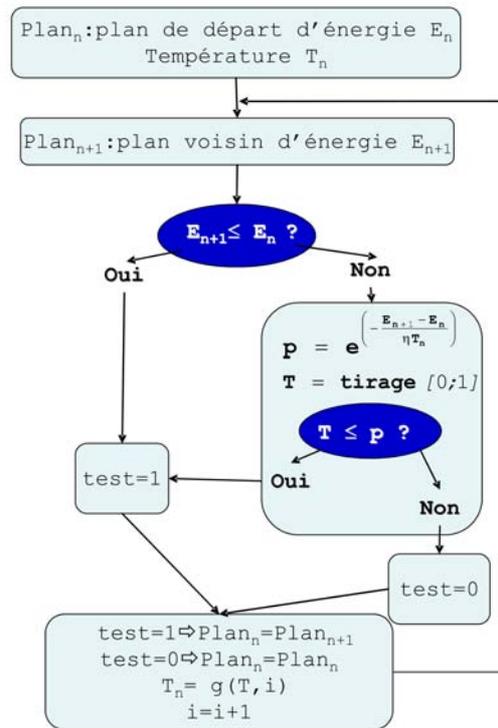


FIG. F54: Algorithme Métropolis et recuit simulé ([115], [128]).

- le méplat et la courbure. La partie III.2.1.5.1 présente les étapes de la création de la grume, depuis le choix du profil de tige jusqu'à l'intégration des singularités de forme ;
- la seconde étape consiste à réaliser l'habillage de cette grume, c'est-à-dire réaliser la texture qui sera appliquée sur l'enveloppe. La partie III.2.1.5.2 présente comment les différents niveaux de défaut sont pris en compte pour réaliser le rendu des sections puis celui du tronc.

2.1.5.1 Création de la forme générale des grumes virtuelles

La forme générale de la grume a été construite à partir de l'équation (E 26) établie par Dhôte *et al.* ([55]). Cette équation permet de calculer le diamètre en fonction de la hauteur dans l'arbre. Comme indiqué dans la partie III.2.1.1.1, nous voulions que toutes nos grumes aient un diamètre sur écorce à 1 m 30 de 65 cm. La longueur des grumes sélectionnée était de 5 m. Nous n'avons pas compté ces 5 m à partir du sol, mais à partir de 50 cm pour limiter le bois dans l'empatement

$$d(z) = (\mu_4 * (\mu_2 - z) + \mu_5 * \mu_3 * (\mu_1 - \mu_2)) * (1 + \epsilon(z)) \quad (\text{E } 26)$$

Avec :

- $d(z)$: diamètre de la tige (sous écorce) au niveau z au dessus du sol (cm) et hors du houppier ;
- $\mu_1 = 32,5m$: sommet du profil, légèrement inférieur à la hauteur totale de l'arbre ;
- $\mu_2 = 15,4m$: estimation du point de jonction tige-houppier ;
- $\mu_3 = 2,78cm/m$: décroissance métrique dans le houppier ;
- $\mu_4 = 0,88cm/m$: décroissance métrique le long de la tige ;
- $\mu_5 = 1$: amplitude du saut de diamètre à la base du houppier (1 si pas de saut) ;
- $\epsilon(z)$: fonction exponentielle corrigeant le tronc de cône dans l'empatement.

On obtient ainsi le profil décrit par la figure (F55). Ce profil est utilisé en l'état pour construire les arbres droits à section circulaire.

Dans le cas des arbres à section méplat, le cercle de la section est transformé en ellipse. Concernant les arbres courbes, nous réalisons une courbure simple en arc de cercle. Connaissant la longueur de la corde et celle de la flèche, il est possible de retrouver le rayon, et donc l'équation du cercle, grâce au théorème de Pythagore (figure (F56)). À partir de là, nous avons déterminé la déviation de la section par rapport à l'axe central de la grume (F57).

Une fois l'enveloppe réalisée, nous bruitons légèrement celle-ci pour avoir un rendu plus réaliste. La figure (F58) présente l'enveloppe obtenue pour la grume 1.

2.1.5.2 Création de la texture à appliquer aux grumes virtuelles

Deux types de textures ont été créés, une texture schématique et une texture réaliste. La texture réaliste est obtenue à partir de photographies de grumes réelles.

En ce qui concerne les sections, la couleur a été réalisée par retouche d'images depuis une même photographie pour l'ensemble des grumes. Les fentes et les roulures ont également été dessinées à l'aide de l'outil graphique. Les accroissements ont simplement été schématisés par des ellipses concentriques. Ces ellipses ont été centrées sur la moelle, ce qui permet également de donner une idée de l'excentricité. Tous les accroissements n'ont pas été représentés, seulement

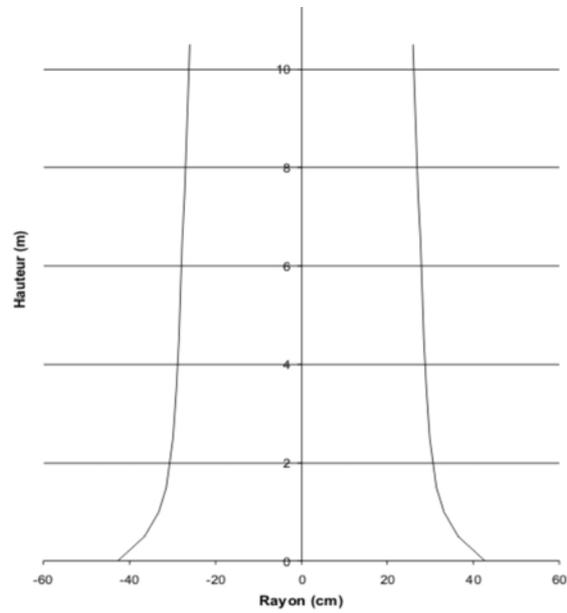


FIG. F55: Profil de tige établi à partir du modèle de ([55]) et utilisé pour décrire la forme des grumes virtuelles .

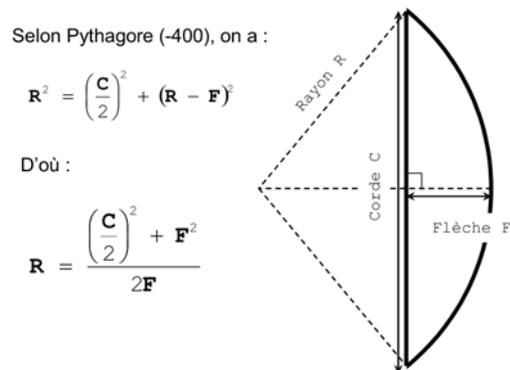


FIG. F56: Calcul du rayon de courbure connaissant la valeur de la flèche et la longueur de la corde.

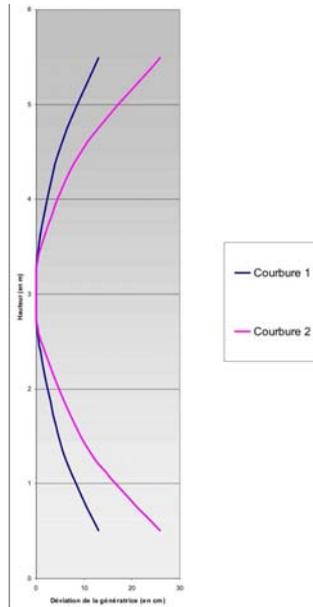


FIG. F57: Présentation des deux niveaux de courbures choisis pour la création des grumes virtuelles.

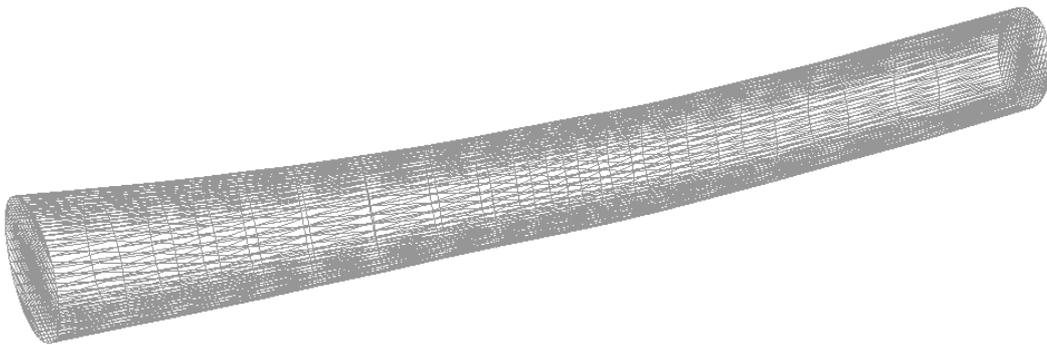


FIG. F58: Illustration de l'enveloppe finale obtenue pour la création d'une grume virtuelle.

1 sur 5 environ, pour donner l'allure générale. Trois photographies d'une barrette, c'est-à-dire d'une coupe de section d'arbre, ont été sélectionnées et exposées pour mieux évaluer ce critère. La figure (F59) expose trois cas différents de représentations de section.

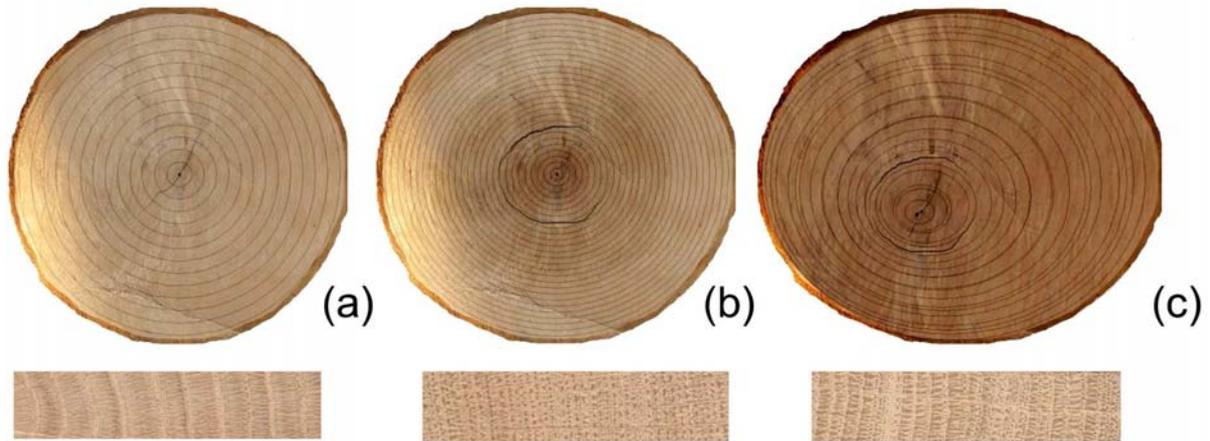


FIG. F59: Représentation de trois types de section qui seront appliquées aux grumes virtuelles.
 a) Circulaire, cœur centré et accroissements larges, b) méplat léger, cœur centré et accroissements fins, c) méplat fort, cœur excentré et accroissements larges.

Le fil tors a été obtenu en réalisant une rotation du figuré droit de l'écorce. La tangente de l'angle de rotation est égale au niveau de gravité recherché pour le fil tors.

Pour les défauts liés à la branchaison, la démarche a été légèrement plus complexe. Nous avons cherché à reproduire des arbres proches de la réalité. Fontaine *et al.* ([71],[72],[73]) ont montré qu'il y a une forte concentration de bourgeons épicorniques, donc potentiellement de futures branches, au niveau des limites d'unités de croissance. Spiecker ([151]) a quant à lui réalisé des études sur le nombre et l'état des gourmands (vivants, morts) en fonction de la hauteur dans la grume. Ces deux approches nous serviront pour calibrer nos fonctions de probabilité de présence de défauts (voir ci-dessous).

Afin de positionner un défaut, nous avons besoin d'une coordonnée verticale et d'une coordonnée horizontale. L'algorithme de positionnement des défauts a varié suivant le type de défaut.

Pour les picots, nous avons commencé par positionner aléatoirement le picot verticalement en tirant sa position en mètres dans une loi uniforme $[0,5]$. Pour ce qui est de la position horizontale, nous nous sommes appuyé sur la théorie des hélices foliaires de Plantefol (*e.g.* [75], [87]). Cette théorie postule que les bourgeons se répartissent le long de la tige selon une hélice. Nous avons fixé le pas de l'hélice à un tour par unité de croissance. D'après les données de la thèse de Hatsch ([86]), la longueur moyenne d'une unité de croissance pour des grumes de 5 m telles que les nôtres est de 35 cm. Connaissant la position verticale, il est alors possible de retrouver la coordonnée horizontale (r , en radian) comme indiqué figure (F60). Afin de ne pas produire un rendu trop régulier entre les différentes grumes, nous avons effectué le tirage de cette position horizontale dans une loi normale, d'espérance r et d'écart-type 0,2.

Cette technique n'est cependant pas adaptée aux défauts plus gros comme les roses ou bien

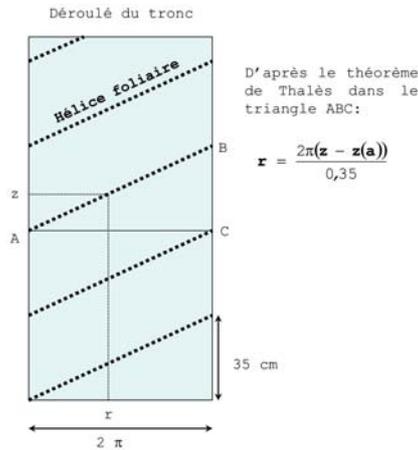


FIG. F60: Illustration du choix du positionnement horizontal des défauts grâce à la théorie des hélices foliaires.

les noeuds qui ne se distribuent pas uniformément en fonction de la hauteur. Nous avons vu qu'il existe une plus forte concentration de ceux-ci en début ou en fin de chaque unité de croissance. Ensuite, plus nous nous rapprochons de la cime, plus leur fréquence augmente. C'est pourquoi nous avons utilisé comme fonction de densité la fonction donnée par la formule (E 27) et représentée figure (F61).

$$f(x) = \frac{(1 + \sin(6\pi \times x)) \times x^\alpha}{\int_0^5 1 + \sin(6\pi \times t) \times t^\alpha dt} \tag{E 27}$$

Avec x : hauteur en m. .

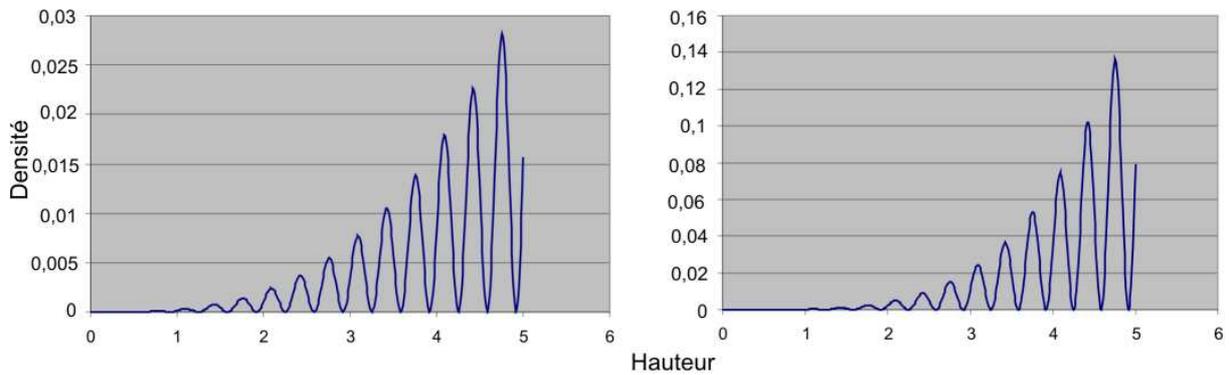


FIG. F61: Fonction de densité adoptée pour la probabilité de présence des roses (à gauche) et des noeuds (à droite) en fonction de la hauteur dans la grume.

Afin de prévenir tout de même le risque d'avoir deux défauts superposés ou trop rapprochés, nous avons réalisé, pour chaque grume, trois simulations de placement des défauts et nous avons

choisi celle présentant la meilleure répartition des défauts. La figure (F62) présente les deux types de réalisation, schématique et réaliste, pour deux grumes.

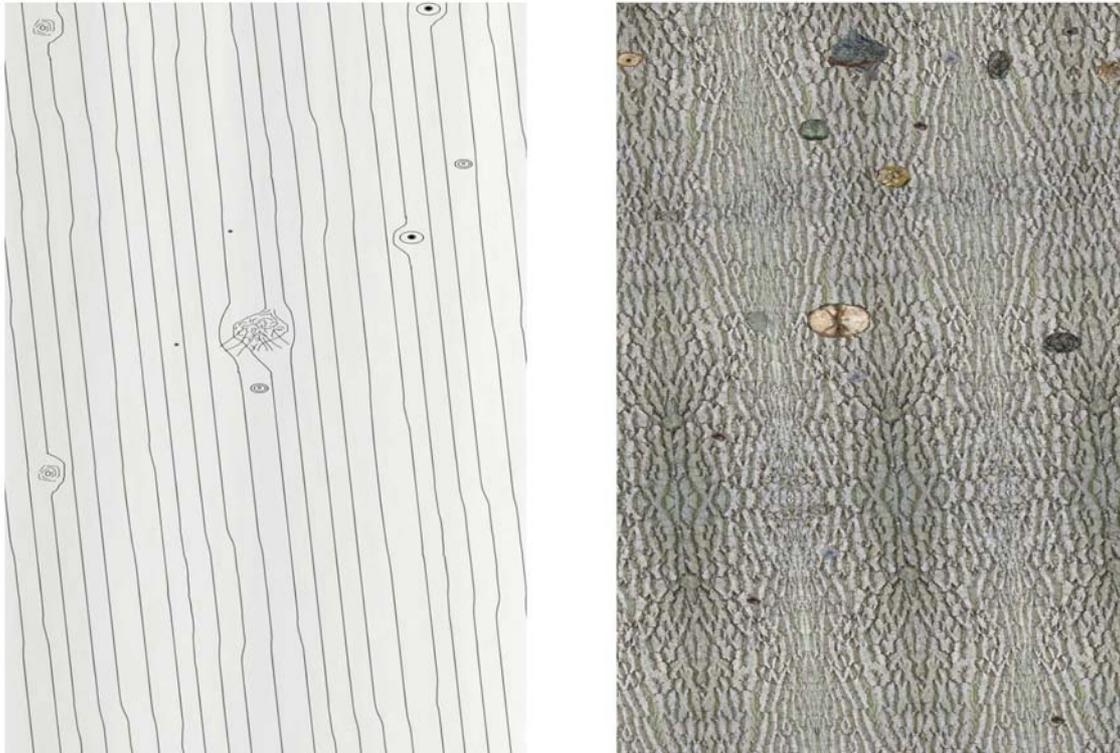


FIG. F62: Exemple de représentation de l'enveloppe pour une grume virtuelle schématique (à gauche) et une grume virtuelle réaliste (à droite).

2.2 Mode de présentation des grumes virtuelles aux interviewés

2.2.1 Choix du support de présentation des grumes virtuelles

Le nombre de grumes à présenter étant assez important, nous avons dû trouver un outil de présentation agréable et ludique pour ne pas risquer de lasser l'interviewé. Nous avons donc décidé de réaliser, en plus de la représentation en 3D disponible sur ordinateur, une série de cartes de type cartes à jouer. Ce support présente en effet l'avantage d'être facilement transportable, utilisable dans des conditions délicates (en forêt, sur un parc à grumes, sur un stock de planches...), et de faciliter les démarche de classement puisqu'il est facilement manipulable. En outre, la carte résume l'ensemble des caractéristiques de la grume virtuelle créée ainsi qu'expliqué précédemment (partie III.2.1.5). Par ailleurs, le fait d'avoir un objet concret à manipuler rassure un interlocuteur peu familier des représentations virtuelles.

Une représentation de cette carte est disponible figure (F63). En haut de la carte se trouve une photographie de la grume représentée de façon réaliste. On trouve dans un premier cartouche les informations sur ses dimensions. Le premier tiers de la carte est destiné aux informations

concernant la section. Les deux sections sont représentées puis, dans un autre cartouche, nous avons fait figurer la barrette présentant le détail des accroissements ainsi que les informations concernant la couleur et l'excentricité. Nous avons pour cela utilisé les mêmes qualificatifs que dans les normes de classement à savoir "Fin", "Large" et "Hétérogène" pour les accroissements et "Claire", "Foncée" et "Hétérogène" pour la couleur. Les deux tiers suivants sont consacrés aux défauts se trouvant sur le tronc. Quatre cartouches présentent la grume vue sous quatre angles différents. Enfin, le dernier cartouche propose un déroulé de l'enveloppe de l'arbre permettant ainsi de visualiser la cartographie complète des défauts.

2.2.2 Protocole de présentation des grumes

La question qui se posait alors était de savoir comment présenter nos 27 grumes aux sujets à qui nous allions demander d'en réaliser la comparaison. Comme indiqué précédemment, il n'était pas possible de demander un nombre trop important de comparaisons lors d'une même interview. De même, la quantité de grumes à comparer lors d'une même question devait être limitée. La façon de procéder la plus simple aurait été de demander une comparaison par paires. En effet, dès que le nombre d'éléments à comparer augmente, la difficulté de la réponse augmente et, par voie de conséquence, le risque de lassitude et de réponse au hasard croissent.

Nous avons donc décidé de demander un classement des grumes par séries de trois. Nous avons donc neuf questions possibles. Cependant, avec cette série de neuf questions, la comparaison directe entre toutes grumes ne peut se réaliser. En effet, si, dans une première question, les grumes A, B et C sont comparées et si, dans une deuxième question, ce sont les grumes D, E et F, il est alors impossible de classer les 3 premières par rapport aux 3 suivantes. Le nombre de questions a donc été doublé de neuf à dix-huit pour permettre des comparaisons entre toutes les grumes (voir ci-dessous).

Avant de présenter le plan maximisant les comparaisons, un préalable est de définir ce que nous appelons la "distance" de comparaison entre deux grumes : la "distance" entre deux grumes correspond au nombre de permutations dans le plan d'expérience nécessaires pour amener deux grumes en coïncidence. Par exemple, si deux grumes sont comparées dans une même question, alors elles sont à une distance de 1. Si la grume A est comparée à la grume B dans une question et que la grume B est comparée à la grume C dans une autre, alors la grume A est à une distance de 2 de la grume C. S'il n'existe aucun lien entre la grume A et la grume B, alors elles sont à distance infinie. L'objectif est bien sûr de minimiser la distance entre toutes les grumes. Les grumes jouant un rôle symétrique, nous allons illustrer notre raisonnement à partir de la grume A.

Dans un premier temps, les grumes sont comparées 3 par 3 (figure(F64)).

Dans un second temps, il s'agit d'éliminer les grumes situées à l'infini et d'établir un maillage continu (figure (F65)).

Enfin, la dernière étape consiste à rapprocher les grumes les plus distantes et de faire en sorte que chaque grume apparaisse deux fois dans le questionnaire (figure (F66)).

Le plan étant parfaitement symétrique, nous retrouvons le même résultat avec l'ensemble des grumes. Il est alors possible de constater que chaque grume est comparée directement à 4 autres,

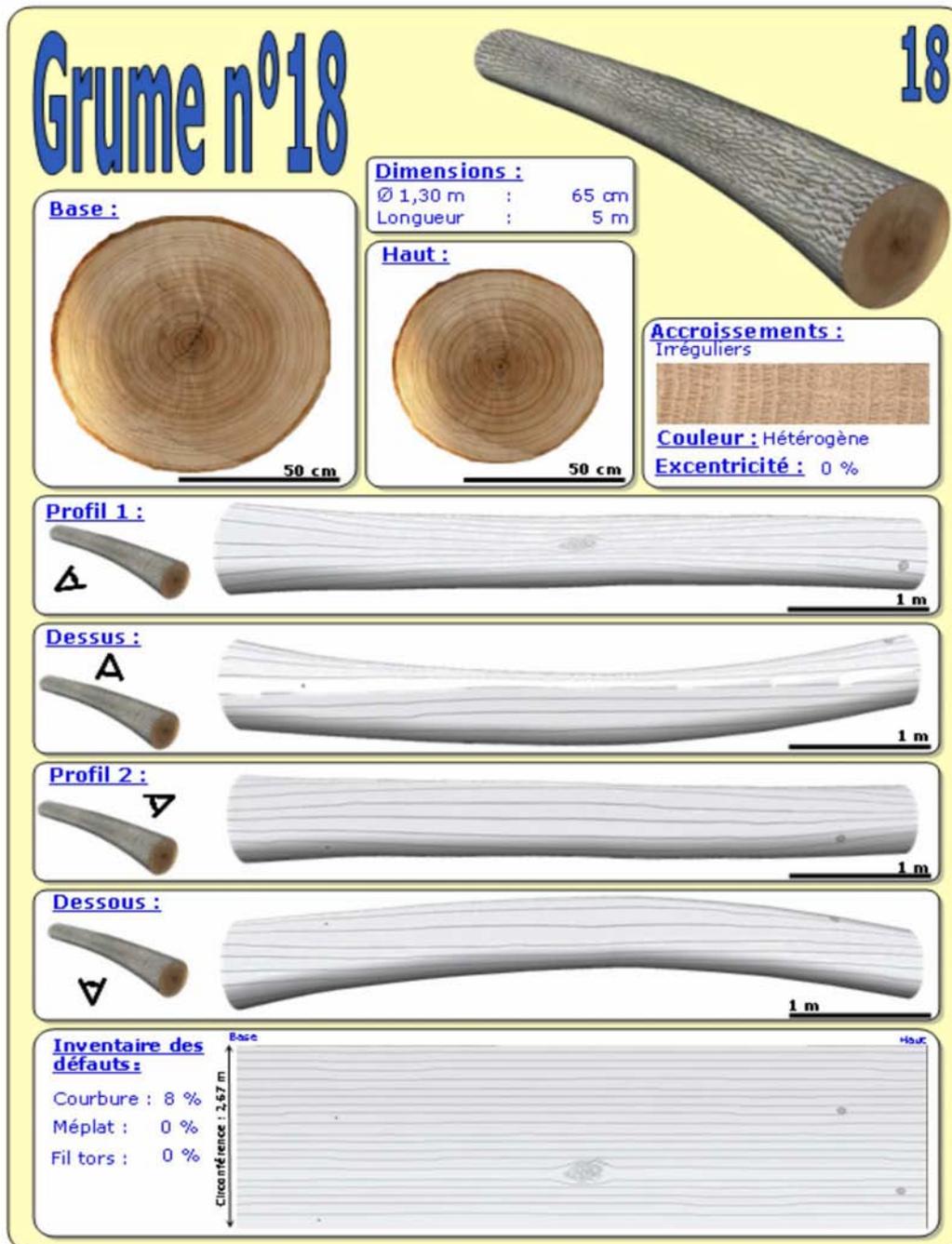


FIG. F63: Présentation d'une des 27 cartes présentées aux personnes enquêtées.

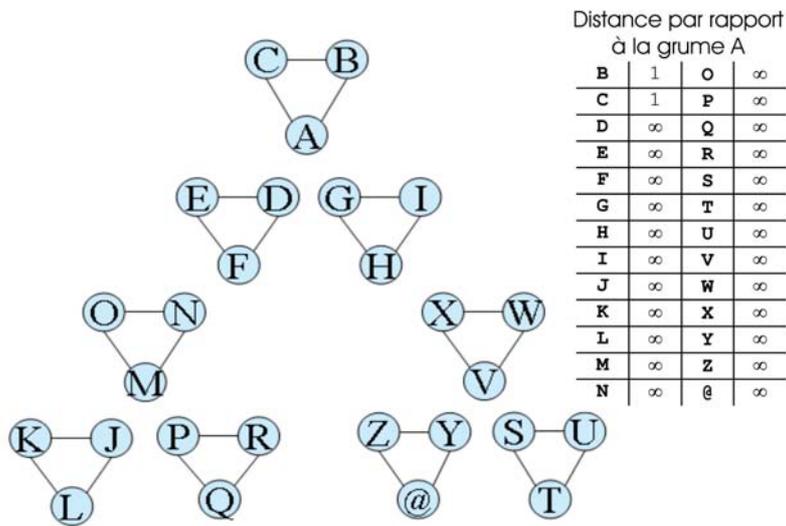


FIG. F64: Regroupement des grumes par triplettes : première série de 9 questions et distances de comparaison par rapport à la grume A.

Les grumes reliées font partie d'une même question.

La "distance" entre deux grumes correspond au nombre de permutations dans le plan d'expérience nécessaires pour amener deux grumes en coïncidence

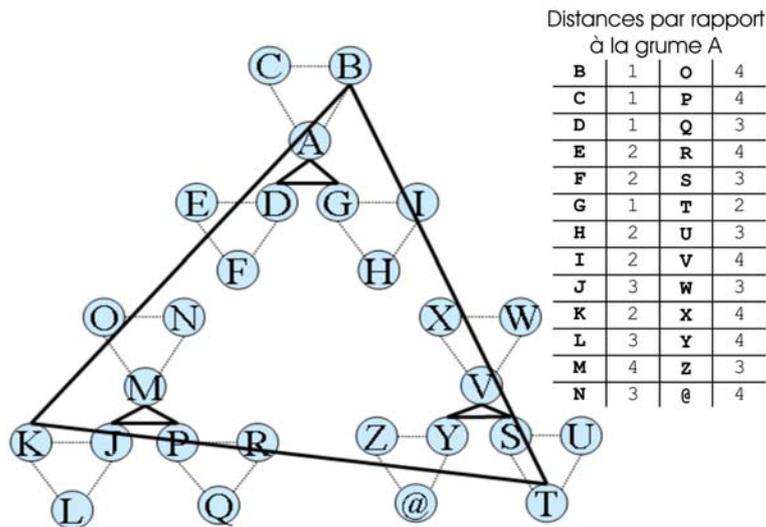


FIG. F65: Deuxième étape dans le regroupement des grumes en triplettes : élaboration d'un maillage continu.

Les grumes reliées font partie d'une même question. La "distance" entre deux grumes correspond au nombre de permutations dans le plan d'expérience nécessaires pour amener deux grumes en coïncidence

à 8 autres via un intermédiaire (*i.e.* à une distance de 2), à 12 autres via 2 intermédiaires et finalement à 2 autres via 3 intermédiaires. Ces deux grumes à une distance de 4 permettraient de définir une troisième série de questions qui ramènerait toutes les grumes à une distance d'au

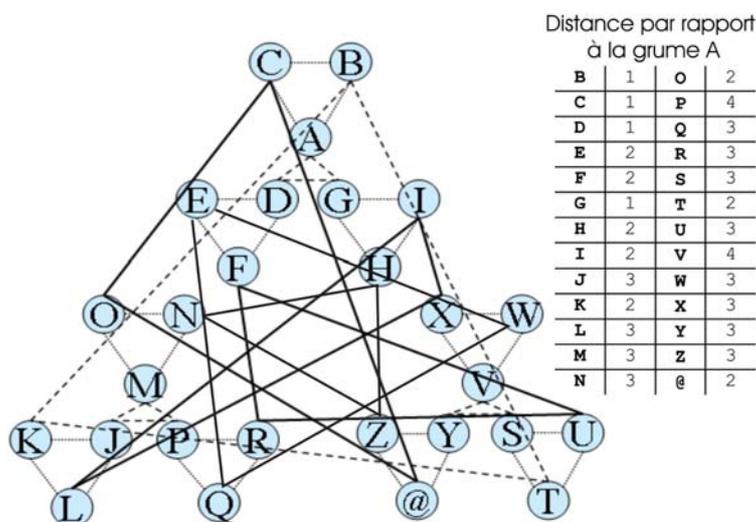


FIG. F66: Dernière étape dans le regroupement des grumes en triplettes : rapprochement maximal des grumes.

Les grumes reliées font partie d'une même question. La "distance" entre deux grumes correspond au nombre de permutations dans le plan d'expérience nécessaires pour amener deux grumes en coïncidence

plus 3 (pour seulement 4 grumes, les autres étant situées à une distance de 1 ou 2).

2.2.3 Répartition des grumes en 18 triplettes

Lorsque les grumes sont comparées par 3, certains défauts se retrouvent avec un même niveau de gravité sur les différentes grumes de la triplette. Toujours dans l'optique de maximiser les comparaisons, nous avons décidé de contrôler au mieux les défauts qui se retrouvent ainsi présents dans une même question avec un niveau commun. Les règles adoptées pour cela sont les suivantes :

- comme il n'était pas possible de présenter des grumes avec des niveaux de défauts totalement différents entre les grumes, nous avons décidé de fixer un et un seul défaut au même niveau de gravité commun entre les trois grumes présentées dans une même question ;
- le défaut au même niveau de gravité commun d'une question ne pouvait se retrouver comme défaut au même niveau de gravité commun que dans une seule question ;
- le défaut commun choisi devait, autant que possible, être de l'incidence *a priori* minimale.

Le tableau (F.3), en annexe F, présente la répartition finale des grumes dans les questions. Précisons que, lors de chaque questionnaire, l'ordre des questions était tiré aléatoirement.

2.3 Modèles choisis pour analyser les résultats de l'enquête

Poursuivant progressivement la démarche présentée section précédente, cette section présente les différents modèles que nous avons employés pour analyser les résultats de notre enquête.

Tout comme dans la première partie sur l'étude des prix en fonction des défauts (partie II.3), nous proposons une approche de l'analyse du classement des grumes et de l'importance des défauts sous trois angles différents. Ces méthodes sont présentées ci-après par ordre croissant de complexité de l'information recherchée : étude de la fréquence des positions, classement puis positionnement sur une échelle de préférence. Pour chaque méthode, nous chercherons dans un premier temps à établir le classement des grumes, puis dans un second temps, afin de répondre à la problématique de la thèse, nous cherchons à classer les défauts sur une échelle de gravité.

2.3.1 Nombre d'occurrences en première, deuxième et troisième positions

2.3.1.1 Classement des grumes par ordre de préférence

Le première approche a consisté à réaliser un classement des grumes en fonction du nombre de fois pour lesquelles elles étaient classées première, deuxième ou troisième. Une première place pouvant être considérée comme une victoire contre la seconde et une victoire contre la troisième, nous avons décidé d'attribuer 2 points à une première place et 1 point à une seconde place. En cas d'égalité entre deux grumes, on attribue 0,5 point à chacune. En comptabilisant le nombre de points de chaque grume, il est donc possible d'en réaliser un classement.

2.3.1.2 Classement des défauts par ordre d'importance à partir du classement des grumes par comptage

Par la suite, en attribuant les points de la grume aux défauts qu'elle présente, il est également possible de classer les défauts par ordre d'importance décroissant.

2.3.1.3 Limites et apports du classement des grumes et des défauts par comptage

Cette première approche a le mérite d'être très simple à mettre en œuvre et possible car toutes les grumes sont présentées un même nombre de fois. Cependant le choix d'attribuer 1 ou 2 point est arbitraire et ne prend pas en compte la "force" de la grume battue. Admettons que, par exemple, il y ait dans une question 2 grumes considérées comme de très bonne qualité. En fonction des utilisateurs, elles atteindront la première place de façon alternative. Imaginons dans une seconde question une grume considérée comme de qualité moyenne et deux autres perçues comme mauvaises. La grume de qualité moyenne aura donc au final plus de victoires que les grumes de bonne qualité. Les prochaines approches proposent donc de prendre en compte la "force" des grumes.

En plus de sa simplicité, cette première étude permet en outre d'identifier les grumes gagnant ou perdant systématiquement. Ces grumes doivent faire l'objet d'une attention particulière car, du fait de leur supériorité ou de leur infériorité, elles ne peuvent être que difficilement comparées aux autres. En revanche, nous pouvons facilement les classer en première ou dernière position suivant le cas.

2.3.2 Classement par attribution d'un rang

2.3.2.1 Classement des grumes par ordre de préférence

Le classement par comparaisons de paires est source d'une riche littérature. Une revue bibliographique datant de 1976 réalisée par Davidson et Farquhar faisait déjà apparaître plus de 400 références traitant du sujet ([49]). Pour notre cas, nous nous sommes appuyé sur les travaux en théorie des jeux de Slutzki et Volij ([147]) qui ont proposé une extension à l'approche de Daniels ([45]).

Introduisons tout d'abord les notations nécessaires à cette approche. Soit y_{ij} le nombre de victoires du joueur i sur le joueur j . y_i et $y_{.i}$ représentent respectivement le nombre total de victoires et de défaites du joueur i . La matrice \mathbf{Y} est la matrice des y_{ij} avec $y_{ii} = 0$. La matrice \mathbf{D} représente la matrice dont la diagonale porte les $y_{.i}$.

Slutzki et Volij ([147]) ont proposé comme mode de classement la méthode des paris équitables (Fair-bets method). Cette méthode repose sur la relation suivante :

$$\sum_j y_{ij} v_j = \sum_j y_{ji} v_i \quad (\text{E } 28)$$

Le vecteur $v=(v_1, \dots, v_n)$ est présenté comme un système de paris. Un pari sur i est un contrat pour lequel le parieur gagne v_j chaque fois que le joueur i bat le joueur j et perd v_i chaque fois que le joueur i perd, quel que soit l'adversaire. Les paris sur i sont équitables s'il y a égalité entre les sommes échangées à la suite des victoires ou défaites de i . Un système $v=(v_1, \dots, v_n)$ est équitable si les paris sur chaque joueur sont équitables. Les joueurs peuvent ainsi être classés suivant leur valeur v_i . Les v_i sont calculés à partir du vecteur v , unique vecteur propre positif de $\mathbf{D}^{-1} \mathbf{Y}$, dans la mesure où \mathbf{Y} est irréductible ¹⁵ ([147])

2.3.2.2 Classement des défauts par ordre d'importance à partir du classement des grumes par attribution d'un rang

Afin de proposer un classement d'importance des défauts depuis la connaissance du rang attribué aux grumes, nous allons nous appuyer sur les techniques d'analyse conjointe dont les notions ont été présentées en 6.1. L'analyse conjointe permet de décomposer la préférence des utilisateurs, ou utilité totale d'un produit, en utilités partielles d'après les caractéristiques des produits étudiés ([103]). Il est ainsi possible de classer les différents défauts en fonction de leur contribution à l'utilité du produit. Le modèle étudié, issu de ([103]), est le suivant :

¹⁵Une matrice $M \in M_n(\mathbb{K})$ est dite réductible s'il existe une matrice de permutation P telle que $P^{-1}AP = \begin{pmatrix} B & O \\ C & D \end{pmatrix}$ où $B \in M_p(\mathbb{K})$ avec $1 \leq p \leq n - 1$. Concrètement, un cas pour lequel \mathbf{Y} est réductible se produit quand le vecteur colonne des $y_{.i}$ est un vecteur nul. Ce vecteur signifie que, soit la grume est systématiquement gagnante, soit celle-ci n'est pas comparée aux autres.

$$\phi(y_{\alpha_1, \dots, \alpha_{13}}) = \mu + \sum_i \sum_k \alpha_{ik} + \epsilon_{\alpha_1, \dots, \alpha_{13}} \quad (\text{E } 29)$$

sous la contrainte :

$$\sum_k \alpha_{ik} = 0 \quad (\text{E } 30)$$

Avec :

α_i : défaut considéré ;

k : niveau de gravité du défaut ;

μ : constante ;

$\epsilon_{\alpha_1, \dots, \alpha_{13}}$: résiduelle ;

y_{α_1} : classement de la grume caractérisée par les défauts $\alpha_1, \dots, \alpha_{13}$;

$\phi(y_{\alpha_1, \dots, \alpha_{13}})$: transformation monotone du classement $y_{\alpha_1, \dots, \alpha_{13}}$ de la grume caractérisée par les défauts $\alpha_1, \dots, \alpha_{13}$.

Les paramètres du modèle (E 29) ont été estimés à l'aide de la procédure Transreg de SAS ([103]). L'option *utilities* de la procédure Transreg permet d'afficher les utilités partielles qui peuvent alors être utilisées pour classer les différents défauts. Le défaut entraînant la plus grande chute d'utilité par rapport à la moyenne est considéré comme le plus grave.

2.3.3 Mesure des forces relatives

L'utilisation de comparaisons par paires a conquis de nombreux domaines, et notamment ceux concernant les industries alimentaires, le marketing ou bien les compétitions sportives ([24]). D'après Buthler et Wehlan ([28]), le modèle couramment employé dans ce cas est celui de Bradley-Terry. Ce modèle, présenté ci-dessous, permet d'estimer la probabilité qu'un objet soit préféré à un autre ou qu'une équipe l'emporte sur une autre. Parmi les applications récentes, et à titre d'illustration de l'utilisation du modèle de Bradley-Terry dans des domaines variés, nous renvoyons le lecteur aux travaux de Couroux ([40]), [41] Duineveld *et al.* ([58]), Francis *et al.* ([74]) ou encore Dittirch *et al.* ([56], [57]).

Depuis le modèle original de Bradley-Terry, de nombreuses extensions sont venues le compléter ([24], [16]). Il est par exemple possible d'analyser les résultats d'une équipe à partir des joueurs la composant ([88]). D'autres extensions sont proposées par les mêmes auteurs comme la possibilité de pondérer l'effet individuel des joueurs, prendre en compte l'avantage de jouer à domicile, gérer le cas de l'égalité ou bien celui de la confrontation entre plus de deux équipes. La section suivante présente le modèle original ainsi que les extensions utiles à notre étude.

2.3.3.1 Modèle de Bradley-Terry

Prenons pour commencer le cas de deux joueurs A et B. Chaque joueur a une force, respectivement γ_a et γ_b . Cette force est positive et la somme des forces est égale à une valeur arbitraire strictement positive. Les joueurs sont donc positionnés sur une échelle arbitraire de force et seule leur position relative sur cette échelle a un intérêt. Nous avons choisi 1 comme valeur de la somme des forces. La probabilité que l'individu A batte l'individu B est donnée par la formule (E 31) :

$$P(A \text{ bat } B) = \frac{\gamma_a}{\gamma_a + \gamma_b} \quad (\text{E } 31)$$

Ainsi, plus la différence de force entre deux joueurs est importante, plus la probabilité de gagner du joueur le plus fort augmente. Il est possible de généraliser cette approche à k joueurs, chacun ayant sa force γ_K . En appliquant (E 31), on a alors :

$$P(\text{individu}_i \text{ bat } \text{individu}_j) = \frac{\gamma_i}{\gamma_i + \gamma_j} \quad (\text{E } 32)$$

Si chacun des i et j jouent n_{ij} parties l'un contre l'autre, avec i qui en gagne y_{ij} , toutes les parties étant considérées comme indépendantes entre elles, la vraisemblance s'écrit :

$$L = \prod_{i < j} \frac{\gamma_i^{y_{ij}} \gamma_j^{n_{ij} - y_{ij}}}{(\gamma_i + \gamma_j)^{n_{ij}}} \quad (\text{E } 33)$$

Les différents γ_i sont estimés par la méthode du maximum de vraisemblance ([143] p. 301) sous les contraintes $\gamma_i > 0$ et $\sum_i \gamma_i = 1$.

2.3.3.2 Application au cas de triplettes et au cas d'égalité

D'après Fienberg et Larntz ([69]) ou Bradley ([22], [23], [24]), deux conceptions différentes peuvent être adoptées pour modéliser les comparaisons par trois. Ces deux conceptions aboutissent à deux modèles différents :

1. dans la première méthode, le juge doit d'abord indiquer quelle est sa préférence parmi les trois propositions, puis son second choix parmi les deux propositions restantes. Cette approche aboutit au modèle suivant :

$$P(A > B > C) = \frac{\gamma_a \gamma_b}{(\gamma_a + \gamma_b + \gamma_c)(\gamma_b + \gamma_c)} \quad (\text{E } 34)$$

2. l'autre possibilité est proposée par Pendergrass et Bradley en 1960 (*in* [22], [42] pour une généralisation). Le juge doit cette fois réaliser le classement par ordre de préférence des trois possibilités. Le modèle est alors :

$$P(A > B > C) = \frac{\gamma_a^2 \gamma_b}{\gamma_a^2(\gamma_b + \gamma_c) + \gamma_b^2(\gamma_a + \gamma_c) + \gamma_c^2(\gamma_a + \gamma_b)} \quad (\text{E } 35)$$

Avec pour les 2 modèles : $\gamma_i \geq 0$ et $\sum_i \gamma_i = 1$.

C'est ce second modèle qui a été sélectionné dans le cas de notre étude puisque l'exercice demandé est bien de réaliser un classement des trois grumes.

Pour ce qui est du cas d'égalité, nous avons essayé de l'éviter en précisant aux interviewés que l'objectif était de réaliser un classement des trois grumes par ordre de préférence. Il y a néanmoins

des cas où, selon certaines personnes interrogées, des grumes ne pouvaient pas être classées car elles ne correspondaient absolument pas aux critères requis pour leur activité. Davidson ([48]) a proposé une généralisation du modèle de Bradley-Terry en autorisant le cas d'égalité comme une troisième possibilité à l'issue d'un match. Néanmoins, selon ([28]), la solution de considérer une égalité comme une demie victoire et une demie défaite fonctionne bien en pratique, surtout si l'optique est d'estimer la force des équipes plus que les probabilités de gagner, ce qui correspond bien à notre cas.

2.3.3.3 De la force des grumes aux défauts individuels

Le modèle présenté précédemment a été utilisé pour attribuer une force à chacune des 18 grumes présentées, ce qui nous a permis de les positionner sur une échelle de préférences. L'objet de l'étude reste néanmoins de mesurer le rôle joué par les différents défauts dans ce classement.

Pour cela, nous avons postulé, lors de la conception du plan d'expérience (voir partie III.2.1.4), que la force d'une grume était une fonction linéaire des défauts qui la constituent. Nous pouvons donc écrire :

$$\gamma_i = \gamma_0 - \sum_{j=1}^{13} \sum_{k=1}^2 k.d_j.\mathbb{1}D_{ijk} \quad (\text{E } 36)$$

Avec :

j : type de défaut ;

k : niveau de gravité 1 ou 2 du défaut ;

$\mathbb{1}D_{ijk}$: variable indicatrice de la présence du défaut j au niveau de gravité k ;

γ_0 : constante qui représente la force de la grume sans défauts ;

d_j : famille de paramètres estimés pour identifier la gravité des défauts. Plus d_j est important, plus le défaut est grave.

L'ensemble des γ_i ont donc été remplacés par l'expression de leur force et, à l'aide de la méthode du maximum de vraisemblance, nous avons estimé les 14 paramètres, γ_0 et d_j , $j \in [1..13]$.

2.4 Finition du questionnaire et choix des interviewés

2.4.1 Finition du questionnaire

Le matériel d'enquête ayant été défini, nous passons à la phase de réalisation de l'enquête. Une première phase de test auprès de scieurs, personnel de l'ONF et chercheurs a permis de corriger quelques imperfections et de mettre au point le questionnaire. Lors de la conception de l'enquête, nous pensions par exemple proposer à l'interviewé d'une part les cartes représentant les grumes, mais également leur représentation en 3D sur un ordinateur portable. Durant la phase de test, nous avons remarqué que seules les cartes étaient utilisées. La représentation informatique était considérée comme une jolie illustration mais était au final moins fonctionnelle que les cartes. Elle a donc été abandonnée, ce qui a permis également de résoudre certains problèmes logistiques.

Un entretien avec Jean Vincent, sociologue à l'Institut National Agronomique, et la prise en

compte des recommandations de Blanchet et Gotman ([19]) ainsi que celles de de Singly ([145]), nous ont permis de définir le déroulement suivant du questionnaire :

1. présentation de l'étude : le but était ici de préciser les raisons de la présente étude en insistant sur l'importance pour les chercheurs d'arriver à connaître l'importance relative des défauts. Au cours de cette présentation, le caractère anonyme de l'étude était souligné.
2. discussion libre autour des défauts : après la phase de présentation, la parole était laissée à l'interviewé pour qu'il nous explique ses utilisations des bois et quels étaient pour lui les défauts les plus pénalisants. Le but de cette partie était double. Il s'agissait d'une part, de mettre en confiance l'interviewé en lui laissant l'initiative de l'entretien et d'autre part, d'obtenir des informations qualitatives le plus souvent très intéressantes et utiles à l'interprétation des résultats de la partie "classement" du questionnaire ;
3. classement des grumes : cette partie consistait à réaliser le classement des 27 grumes, présentées par séries de 3 en 18 questions comme décrit précédemment ;
4. informations sur l'entreprise : les informations demandées sur l'entreprise étaient le type et la quantité de produits réalisés, les volumes utilisés en Chêne et en autres essences, le type d'approvisionnement, la taille de l'entreprise, le nombre d'employés. Cette partie figurait en fin d'entretien car il s'agissait d'éléments parfaitement connus des personnes interrogées et nécessitant moins d'attention. Ils ont donc été demandés en fin d'entretien, moment où les personnes étaient le plus fatiguées. D'autre part, cette partie étant de nature interrogative, ce n'est pas une bonne entrée en matière pour établir un climat de confiance avec la personne interrogée.
5. fin de l'entretien : discussions libres et visite de l'entreprise chez les personnes nous le proposant.

Le questionnaire prêt, il s'agissait alors de déterminer la population-cible.

2.4.2 Typologie des interviewés

Le public ciblé pour cette enquête est constitué des personnes en charge de l'évaluation de la qualité des grumes au sein de l'ensemble des entreprises de première transformation du Chêne. Il s'agit donc essentiellement des responsables approvisionnement.

La première partie de cette thèse a mis en évidence l'intérêt d'analyser les résultats de vente en fonction du groupe d'acheteurs. Nous avons donc réalisé une typologie des premiers transformateurs à partir des données de l'enquête annuelle de branche 2004 réalisée par le SCEES. La même démarche que pour la typologie des acheteurs (section 2.3.3) a été employée, à savoir une ACP sur les variables suivie d'une classification ascendante hiérarchique selon le critère de Ward ([8]).

Les variables utilisées pour cette ACP et pour la classification qui l'a suivie sont présentées ci-dessous. Les variables employées dans ces calculs sont celles disponibles dans l'enquête annuelle de branche. Du fait de la grande diversité de taille dans les scieries, pour les variables représentant des quantités, nous avons utilisé le logarithme de leur valeur. Ces variables sont les suivantes :

- chiffre d'affaire total ;

- chiffre d'affaire par employé ;
- valeur ajoutée (Chiffre d'affaire/Volume scié) ;
- rendement (Volume de chutes/Volume sciés) ;
- volume de plots ;
- volume d'avivés ;
- proportion de produits de qualités A et B ;
- proportion de bois de Chêne scié ;
- proportion de bois de conifères scié ;
- volume de merrain commercialisée ;
- volume de feuillus sciés ;
- volume de feuillus autres que le Chêne sciés ;
- volume de parquet commercialisé ;
- approvisionnement en grumes façonnées ;
- approvisionnement par exploitation forestière ;
- proportion d'approvisionnement en feuillus.

Les sorties de l'ACP sont présentées en annexe G. L'arbre de classification obtenu est représenté figure (F67).

Cet arbre présente une première division en deux groupes, A et B. La caractéristique permettant de séparer ces deux groupes est essentiellement le volume de feuillus sciés, plus fort pour le groupe A que pour le groupe B.

La division suivante permet de dégager 4 groupes. Les groupes A_1 et A_2 , issus de la première branche, et les groupes B_1 et B_2 , issus de la seconde :

- le groupe A_1 est caractérisé par un bon chiffre d'affaire, une valeur ajoutée moyenne et des rendements assez faibles ;
- le groupe A_2 est caractérisé par une forte valeur ajoutée et une forte valeur ajoutée par employé ;
- le groupe B_1 est caractérisé par une faible valeur ajoutée et un faible chiffre d'affaire brut ou par employé ;
- le groupe B_2 se distingue des autres car c'est le seul à avoir une proportion de conifères sciés très importante (plus de 70 %) ;
- la division suivante scinde le groupe A_2 en deux sous-groupes. Le sous-groupe A_{2_1} est caractérisé par la production de parquets. Le sous-groupe A_{2_2} correspond aux merrandiers ;
- enfin, une dernière division coupe le groupe A_1 en 2. Le sous-groupe A_{1_1} correspond aux grandes scieries spécialisées en Chêne. Le sous-groupe A_{1_2} est celui des grandes scieries de feuillus.

Pour plus de clarté, nous avons renommé ces groupes comme indiqué dans le tableau (T38). Nous avons également fait figurer dans ce tableau la représentativité des groupes dans la filière en nombre d'entreprises.

2.4.3 Choix des interviewés

Par rapport à la typologie précédemment décrite, nous avons décidé d'éliminer le groupe 6 de notre étude. Il s'agit en effet d'un groupe n'utilisant que très peu le Chêne et qui se consacre essentiellement au sciage de résineux. Ils nous ont en effet semblé plus pertinent pour l'objectif de l'enquête de consacrer nos à la population travaillant habituellement le Chêne, population que

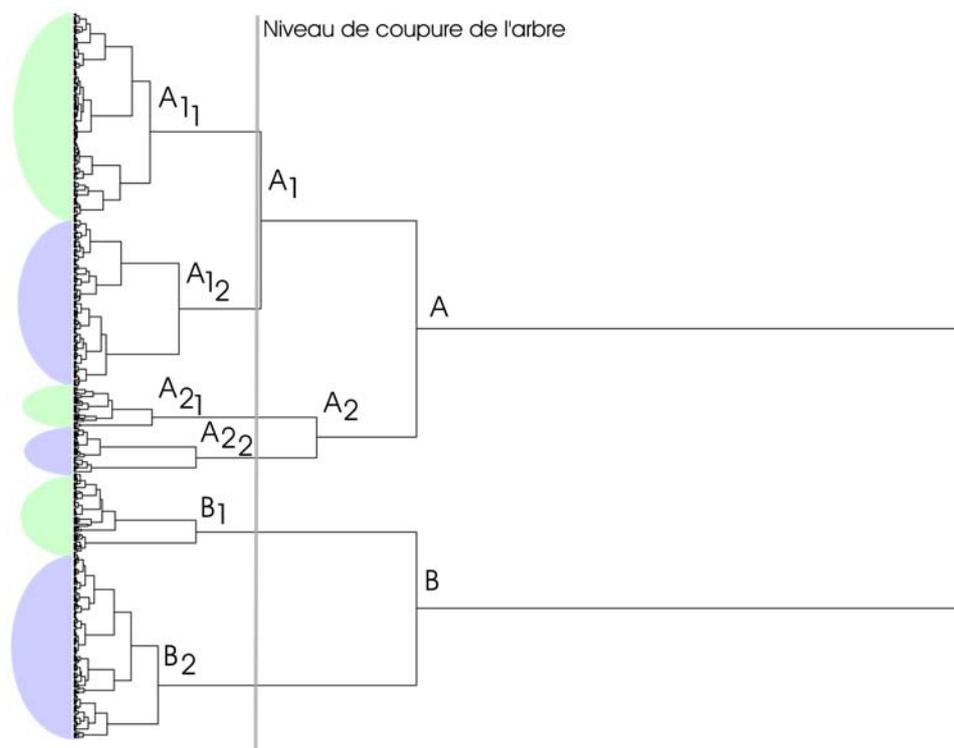


FIG. F67: Arbre de classification pour réaliser la typologie des premiers transformateurs de Chêne en France, réalisé à partir des données de l'enquête de branche 2004. La barre verticale indique le niveau de coupure choisi qui scinde ainsi la population en six groupes.

Nom du groupe	Ancien Code	Activité	Représentativité
Groupe 1	Groupe A_{11}	Grande scierie de Chêne	28 %
Groupe 2	Groupe A_{12}	Grande scierie de Feuillus	23 %
Groupe 3	Groupe A_{21}	Bois pour parquets	6%
Groupe 4	Groupe A_{22}	Bois pour tonnellerie	6%
Groupe 5	Groupe B_1	Petite scierie	11 %
Groupe 6	Groupe B_2	Scierie de résineux	26 %

TAB. T38: Nomination et représentativité des groupes issus de la typologie des premiers transformateurs de Chêne en France d'après l'enquête annuelle de branche portant sur l'année 2004.

La représentativité est calculée comme le nombre d'entreprises du groupes divisé par le nombre total d'entreprises recensées par l'enquête et exprimé en %.

nous jugions plus à même de nous répondre de façon éclairée à notre enquête.

De même, pour des raisons de temps et de budget de déplacement, nous avons décidé de limiter l'enquête à trois zones d'étude. Ces zones ont été retenues pour leur importance dans la filière Chêne et également pour des raisons de proximité. Ces zones sont :

- l'Est de la France : c'est une forte région productrice en Chêne et, de plus, le centre INRA de Champenoux, siège de notre étude, est situé dans cette région ;
- la région Centre et le département de l'Allier : Cette zone d'étude est située au cœur de la chênaie atlantique, qualifiée par Jarret de "plus important bassin mondial de production de Chêne à grain fin" ([96]) ;
- la région Sud-Ouest : cette région est le site de localisation de nombreux merrandiers et donc d'une utilisation incontournable du Chêne.

La liste des participants potentiels a été établie à partir de l'annuaire d'entreprises Kompass, complété par celui des Pages Jaunes pour les régions indiquées. La prise de contact s'est faite essentiellement par téléphone et parfois par courrier électronique. Nous avons veillé à demander des rendez-vous dans les cinq premiers groupes de la typologie afin de réaliser un échantillonnage stratifié et nous sommes allés chez tous ceux acceptant de nous recevoir.

2.5 Conclusion

La présente section a permis de décrire toute la démarche ayant amené à la conception du questionnaire. Comparativement au deuxième chapitre de cette thèse, cette première approche se caractérise par le contrôle d'un maximum de paramètres : constitution des grumes virtuelles, présentation de ces grumes et, enfin, choix des personnes interrogées.

Cette section a également été l'occasion de présenter les modèles choisis pour analyser l'enquête. Au cours de la prochaine section, nous allons exposer et interpréter les résultats issus de ces modèles.

3

Analyse des résultats de l'enquête

Sommaire

3.1	Déroulement du questionnaire	146
3.2	Classement des grumes et des défauts à partir de l'exploitation des résultats de l'enquête	147
3.2.1	Approche par comptage	147
3.2.2	Approche par classement	149
3.2.3	Estimation des préférences des grumes	151
3.3	Comparaison des résultats des trois méthodes de classement des grumes et des défauts	152
3.4	Conclusion	154

LES précédentes sections ayant insisté sur le côté méthodologique de la réalisation de l'enquête et des outils nécessaires à son interprétation, nous allons à présent en exposer les différents résultats. Nous décrivons tout d'abord le déroulement des entretiens. Nous appliquons ensuite successivement les trois modes de classement des grumes et de mesure de l'importance des défauts présentés précédemment, à savoir le classement par comptage, par attribution d'un rang et par mesure d'une force. La conclusion de cette section nous permet de comparer et de synthétiser l'ensemble des résultats, que ce soit pour le classement des grumes ou pour celui des défauts.

Les résultats sont systématiquement étudiés en deux temps. Dans un premier temps, nous étudions le résultat de façon globale en pondérant les réponses des interviewés suivant leur représentativité dans la filière (voir tableau T39). Ce résultat est ensuite décliné en fonction du groupe auquel appartient l'interviewé, défini par la typologie présentée dans la partie III.2.4.2.

Enfin, afin de faciliter la lecture de cette section assez énumérative, seul le résultat final synthétique est exposé. Pour plus de détails sur les valeurs numériques, nous renvoyons le lecteur à l'annexe H.

3.1 Déroulement du questionnaire

Au final, 34 personnes ont accepté de nous recevoir et ont répondu à l'enquête. D'un point de vue géographique, nous avons rencontré 8 professionnels dans le Sud-Ouest, 7 dans le Centre et les 19 restants dans le grand Est de la France. L'effectif plus réduit de personnes interrogées dans le Sud-Ouest et le Centre est lié au fait que nous devions obtenir et réaliser nos rendez-vous sur une période de temps limitée (une semaine). Les nombres de personnes interrogées par groupe sont reportés dans le tableau (T39). Nous avons également fait figurer dans ce tableau le poids de chaque groupe. Ce poids est calculé comme l'effectif du groupe considéré selon l'enquête annuelle de branche 2004 divisé par l'effectif de l'ensemble des groupes interrogés, soit les groupes 1 à 5. Le poids de chaque interviewé est ensuite calculé comme le poids du groupe divisé par le nombre de personnes interrogées de ce groupe. Ce poids est utilisé pour pondérer les réponses dans les classements des grumes ou des défauts réalisés à partir de l'exploitation des résultats de l'ensemble des groupes.

Les interviewés nous ont toujours réservé un bon accueil. Si certains ont trouvé le système de cartes à jouer trop abstrait, la majorité a apprécié sa réalisation. Ce système a même donné des idées à certaines entreprises pour les futures formations ou sélections de leur responsables achats. Tous les interviewés se sont prêtés au jeu. L'interview, prévue initialement pour durer moins d'une heure, prenait en général trois quarts d'heure. Suivant les échanges avec les personnes, ou bien s'il y avait ou non visite de l'entreprise par la suite, les rencontres se sont étalées sur 40 minutes

Nom du groupe	Activité	Nombre d'interviewés	Poids du groupe	Poids de chaque interviewé
Groupe 1	Grande scierie Chêne	9	38 %	4,20 %
Groupe 2	Grande scierie Feuillus	6	31 %	4,18 %
Groupe 3	Bois pour parquets	5	8 %	1,62 %
Groupe 4	Bois pour tonnellerie	7	8 %	1,12 %
Groupe 5	Petite scierie	7	15 %	2,12 %

TAB. T39: Répartition et poids des personnes interviewées

Répartition des personnes interrogées en fonction des groupes définie par la typologie des premiers transformateurs de bois de Chêne et indication du poids de chaque groupe et de chaque interviewé.

Le poids du groupe est calculé comme le nombre d'entreprise dans le groupe considéré d'après l'enquête annuelle de branche divisé par le nombre total d'entreprises des groupes 1, 2, 3, 4 et 5. Le poids de chaque interviewé est calculé en divisant le poids du groupe par le nombre de personnes interrogées.

à 3 heures.

3.2 Classement des grumes et des défauts à partir de l'exploitation des résultats de l'enquête

Nous allons au cours de cette section appliquer le même plan que dans la section de présentation des modèles utilisés (section 7.3), à savoir classement par comptage, par attribution d'un rang, puis par mesure des forces relatives. Au sein de chaque section, sont abordés successivement les classements des grumes, puis celui des défauts. Dans l'ensemble des graphiques les résultats sont présentés par ordre décroissant de préférence quand il s'agit des grumes et par ordre croissant de gravité pour les défauts.

3.2.1 Approche par comptage

3.2.1.1 Classement des grumes par ordre décroissant de préférence

Le classement des grumes est exposé figure (F68) pour le résultat du classement de tous les groupes confondus. Nous renvoyons le lecteur en annexe H, tableau (H.2) et figures (H.1, H.2, H.3, H.4, H.5 et H.6, pages 250 à 254) pour la présentation de l'ensemble des résultats en fonction des groupes.

Ce premier classement, rappelons-le, repose uniquement sur la comptabilisation du nombre d'occurrences d'une grume pondéré par sa position. Suivant les différents groupes considérés, nous pouvons constater que les grumes 16, 18, 10, 8 et 1 figurent régulièrement parmi les premières et les grumes 14, 6 ou 7 occupent fréquemment les dernières places. Afin d'évaluer la proximité des classements faits par différents les groupes, nous utilisons le coefficient de corrélation des rangs τ de Kendall ([143], p143). Ce coefficient permet d'étudier la liaison entre deux classements. Il varie entre -1 (classements inverses) et 1 (classements identiques). Il est calculé de la manière

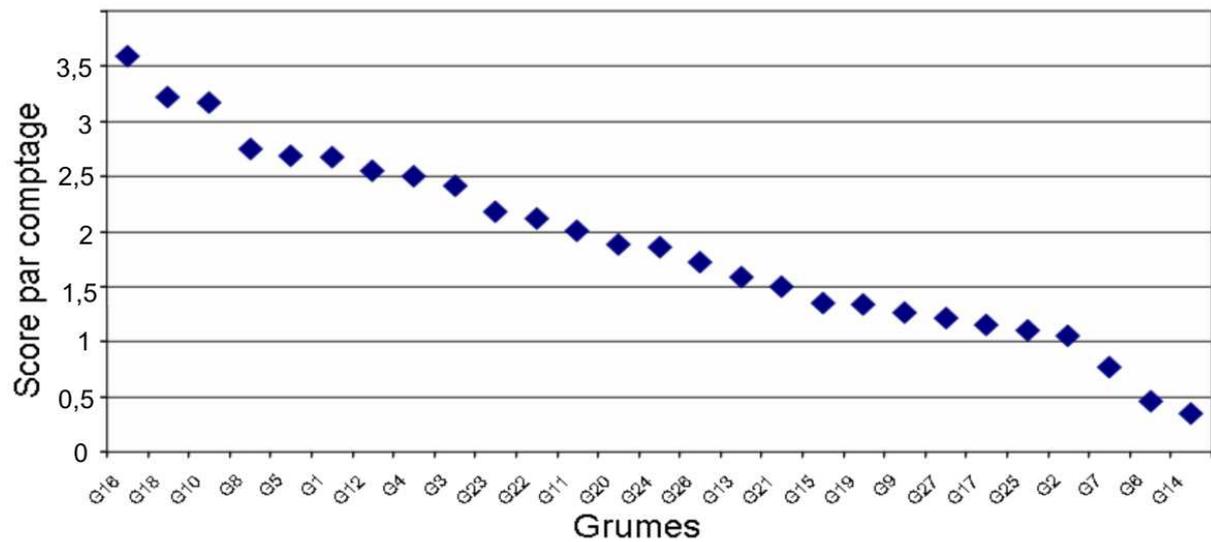


FIG. F68: Classement général des grumes par comptage du nombre de points à la suite de l’attribution de 2 points pour une première position et de 1 point pour une seconde position dans la triplette.

Les grumes sont classées de gauche à droite par ordre de préférence décroissante. Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).

suivante :

$$\tau = 1 - \frac{4K}{n(n-1)} \tag{E 37}$$

Avec :

- K : nombre de couples (i, j) qui ne sont pas dans le même ordre pour les deux classements ;
- n : taille de l’échantillon.

La matrice des coefficients figure en annexe H (H.3). L’ensemble des coefficients de corrélation est significativement différent de zéro. Leurs valeurs s’étalent de 0,49 à 0,87. Le signe positif de ce coefficient montre donc une certaine concordance, même si des différences existent entre les groupes d’utilisateurs.

Cette première approche nous indique qu’il faut également porter une attention particulière au groupe 2 car, pour celui-ci, la grume 16 arrive systématiquement première, ce qui est source de difficultés pour les analyses à venir, comme nous l’avons souligné dans la section précédente. Nous pouvons cependant dans notre cas résoudre ce problème de façon triviale en classant cette grume première et en effectuant les analyses pour le groupe 2 sur les 26 grumes restantes.

3.2.1.2 Classement des défauts par ordre croissant de gravité

La seconde étape du classement a consisté à classer les défauts. Nous avons reporté le classement obtenu pour l’ensemble des groupes confondus sur la figure (F69). Nous renvoyons le lecteur, pour la présentation de l’ensemble des résultats obtenus pour les différents groupes, en annexe

H, tableau (H.4) et figures (H.7, H.8, H.9, H.10, H.11 et H.12, pages 256 à 258)

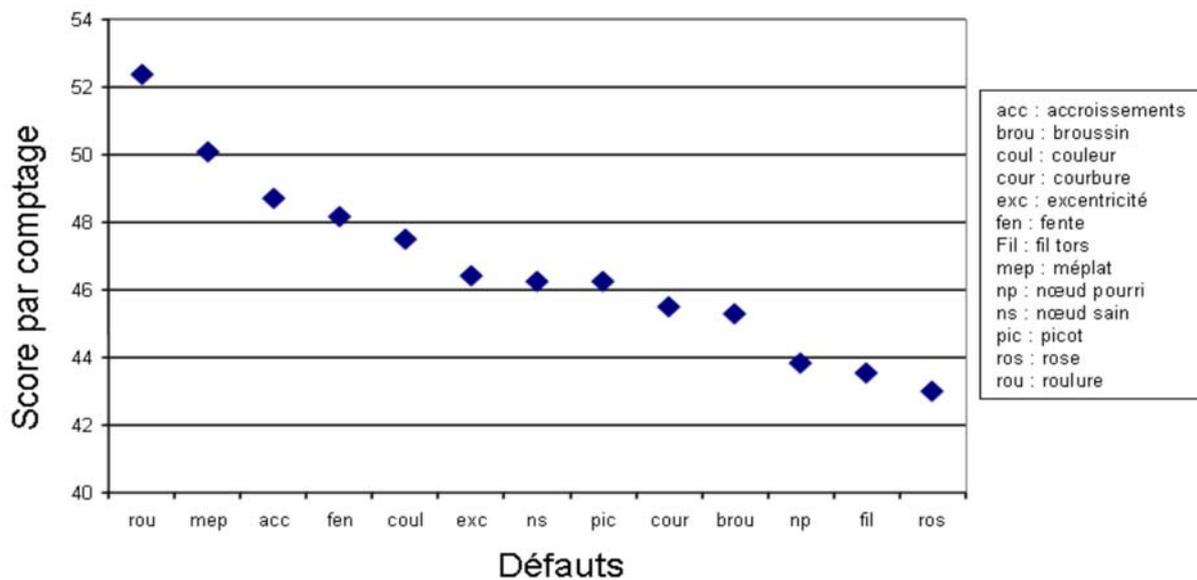


FIG. F69: Classement général des défauts par comptage du nombre de points à la suite de l'attribution de 2 points pour une première position et 1 point pour une seconde position dans la triplette.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.
Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).

Avec ce premier mode de classement, les défauts ressortant comme les plus graves sont essentiellement ceux liés à la branchaison (roses, nœuds et picots) ainsi que le fil tors et la courbure.

La matrice des coefficients de corrélation de Kendall (Annexe H, tableau H.5) calculés entre les différents classements met en avant des différences plus marquées que celles que nous avons observées pour les grumes puisque seuls la moitié des coefficients de corrélations linéaires sont significativement différents de 0. Les groupes 1, 2 et 5 ont un classement assez proche. Les groupes 3 et 4 semblent se distinguer. Ceci est concordant avec la typologie, puisque les groupes 1, 2 et 5 correspondent à une activité de scierie, donc produisant en priorité des plots ou des pièces de charpentes. Les groupes 2 et 3 ont quant à eux une activité plus spécifique (respectivement parquets et merrains).

3.2.2 Approche par classement

3.2.2.1 Classement des grumes

Le classement des grumes obtenu pour l'ensemble des utilisateurs est illustré figure (F70). L'ensemble des résultats est reporté en annexe H, tableau (H.6) et figures (H.13, H.14, H.15, H.16, H.17, H.18)

À travers cette deuxième approche, ce sont les grumes 16, 18, 10, 4 et 1 qui occupent les

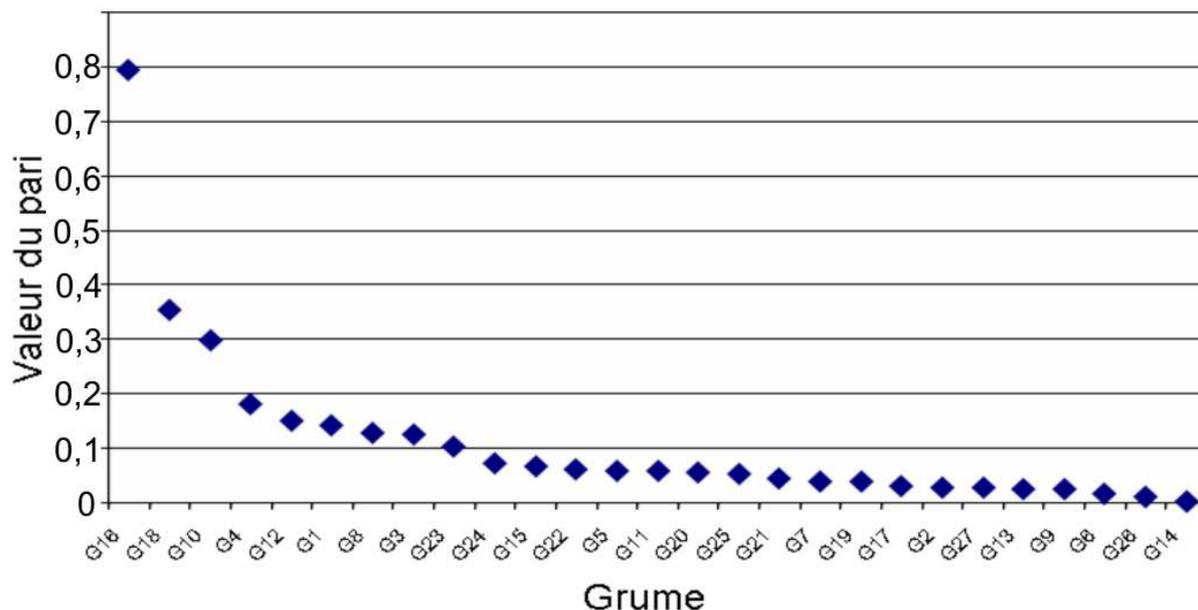


FIG. F70: Classement général des grumes par attribution d'un rang d'après le modèle des paris équilibrés.

Les grumes sont classées de gauche à droite par ordre de préférence décroissante.
Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).

premières places et les grumes 6, 14, 26 qui sont généralement les moins appréciées.

La matrice des corrélations (Annexe H, tableau H.7) montre des coefficients tous significativement différents de zéro. Les corrélations sont toujours positives, indiquant des classements allant dans le même sens, mais moyennement corrélés, puisque les coefficients s'étalent de 0,37 à 0,62 pour les comparaisons entre les grumes.

3.2.2.2 Classement des défauts

Les différentes utilités partielles calculées pour réaliser le classement des défauts figurent dans le tableau (Annexe H, H.8). La figure F71 expose le classement des défauts obtenu pour l'ensemble des groupes. Les figures (H.19, H.20, H.21, H.22, H.23 et H.24, pages 265 à 267) en annexe H présentent l'ensemble des résultats.

Les défauts qui ressortent comme les plus graves à travers cette modélisation sont assez différents d'un groupe à l'autre. D'ailleurs, seul le coefficient de corrélation (Annexe H, tableau H.9) entre le groupe 1 et le groupe 5 est significativement différent de zéro (0,56). Si l'on s'intéresse aux défauts, nous constatons tout de même que la courbure, les nœuds pourris ou les roses sont souvent classés parmi les plus graves et les nœuds sains ou les fentes parmi les moins graves.

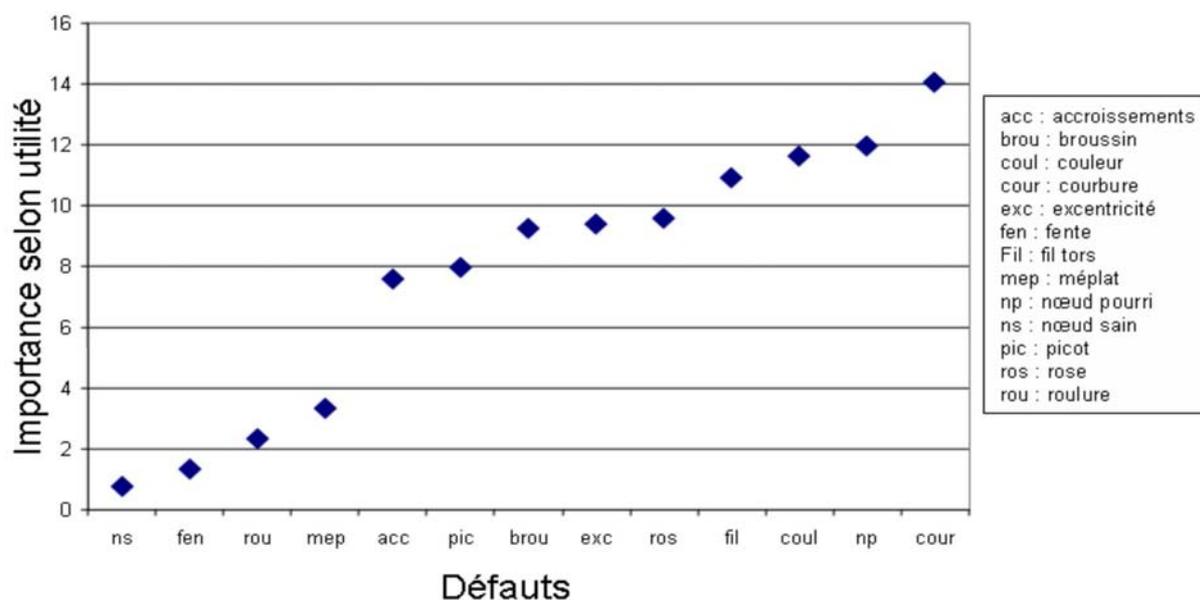


FIG. F71: Classement général des défauts par mesure de l'utilité.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.

Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).

3.2.3 Estimation des préférences des grumes

3.2.3.1 Classement des grumes par attribution d'une force

L'application du modèle de Bradley-Terry nous a permis d'estimer une force pour chaque grume et donc de les classer sur une échelle de valeurs. Les résultats pour l'ensemble des groupes sont représentés figure (F72). Nous avons également fait figurer sur ce graphique les intervalles de confiance approximatifs à 95% obtenus à partir de l'approximation de Wald. Afin de faire apparaître clairement le classement, les grumes sont rangées selon leur force décroissante. Comme précédemment, les détails chiffrés de ce classement figurent en annexe H, tableau (H.10). L'ensemble des résultats en fonction des différents groupes sont également reportés en annexe H, figures (H.25, H.26, H.27, H.28, H.29 et H.30).

Le classement des grumes par leur force fait régulièrement apparaître 5 grumes qui sortent nettement du lot. Les grumes 16 et 18 figurent à nouveau systématiquement parmi les meilleures et les grumes 10, 4 et 1 se disputent aussi les premières places. La matrice des corrélations des classements (Annexe H, H.11) fait apparaître des coefficients tous positifs et significativement différents de zéro. Leur valeur varie de 0,36 (entre les groupe 4 et 5 ou 2 et 4) à 1 (entre les groupes 2 et 5).

Enfin, les intervalles de confiance sont assez resserrés lorsque l'ensemble des individus est pris en compte simultanément, mais ceux-ci sont beaucoup plus larges dans les estimations par groupe, les effectifs servant à l'estimation des paramètres étant plus réduits.

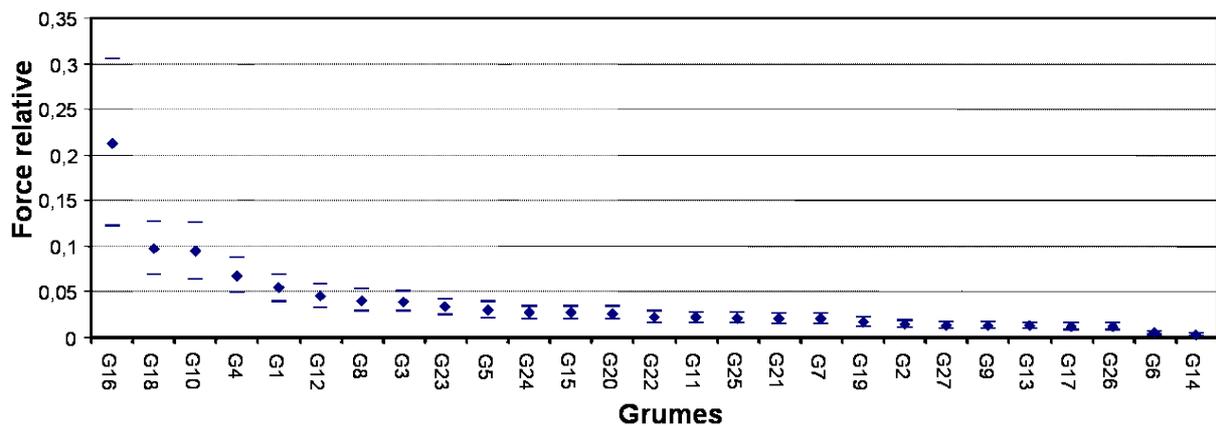


FIG. F72: Classement général des grumes par attribution d'une force d'après le modèle de Bradley-Terry.

Les grumes sont classées de gauche à droite par ordre de préférence décroissante. Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39). Les traits horizontaux représentent les intervalles de confiance approximatifs à 95%.

3.2.3.2 Classement des défauts

Le classement des défauts des différentes catégories diffère d'un groupe à l'autre, comme le montre la matrice des coefficients de corrélation (H.13). Des paliers sont régulièrement observables dans le classement de force des défauts. Parmi les défauts les plus graves, nous retrouvons fréquemment les défauts liés à la branchaison comme les broussins, les roses ou les nœuds pourris. Fentes et excentricité sont souvent considérés comme moins graves. Les picots présentent un résultat intéressant puisque, suivant le groupe, ils sont soit considérés comme très graves (groupes des merrandiers et des parqueteurs) ou bien comme peu importants (autres groupes).

3.3 Comparaison des résultats des trois méthodes de classement des grumes et des défauts

Les classements des différentes méthodes n'utilisent pas la même complexité de l'information disponible. Ils présentent tout de même une certaine similitude dans les résultats. Pour vérifier cette similitude, nous allons calculer les coefficients de corrélation de Kendall des classements des grumes et des défauts obtenus par chaque méthode à partir de l'analyse des résultats de l'ensemble des personnes enquêtées (T40).

Le tableau (T40) met en évidence un classement des grumes très semblable entre les différentes méthodes. Cependant, la façon dont ont ensuite été pris en considération les défauts entraîne des différences, sans toutefois faire apparaître de contradictions. Nous reviendrons sur ce point dans la prochaine section.

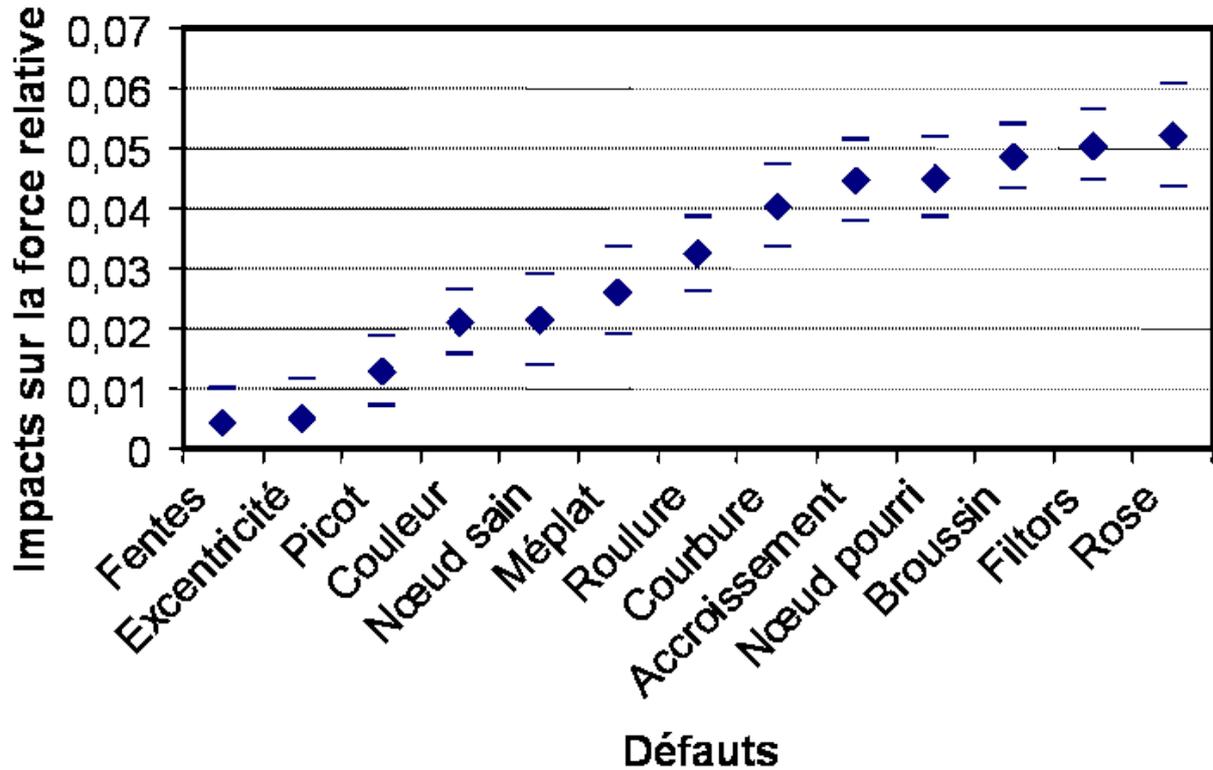


FIG. F73: Classement général des défauts par mesure de l'impact de défaut sur la force de la grume.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.
 Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).
 Les traits horizontaux représentent les intervalles de confiance approximatifs à 95%.

	Classement grumes			Classement défauts		
	Compte	Rang	Rang	Compte	Rang	BT
Compte	1	0,69***	0,71***	1	0,67***	0,38
Rang		1	0,93***		1	0,46*
BT			1			1

TAB. T40: Corrélations entre les classements obtenus à partir de l'analyse de l'ensemble des résultats selon les trois méthodes de classement : comptage du nombre d'occurrences en 1^{ère} et 2^{ème} position (*Compte*), attribution d'un rang (*Rang*) et utilisation du modèle de Bradley-Terry (*BT*).

Coefficient des rang τ de Kendall (* pc<0,05; ** pc<0,01; ***pc < 0.001).

3.4 Conclusion

L'exploitation des données de l'enquête, selon la méthodologie définie dans la section précédente, permet d'apporter un éclairage enrichissant à la problématique de notre travail. Les trois méthodes employées, attribution d'un score en fonction de la position, classement selon la méthode des paris équitables ou bien calcul d'une force d'après le modèle de Bradley-Terry, montrent une bonne concordance dans les résultats obtenus sur le classement des grumes. Cette concordance a également été remarquée entre les différents groupes puisque, au final, quel que soit le groupe ou la méthode d'analyse employée, les grumes 16, 18, 4 et 10 ont régulièrement figuré parmi les meilleures et les grumes 14, 26, 6 et 17 parmi les plus mauvaises.

Signalons également que la méthode utilisant l'information la plus complexe, à savoir celle de Bradley-Terry, permet en outre de positionner ces grumes sur une échelle de préférence. Les intervalles de confiance approximatifs associés à l'estimation de la force de ces grumes montrent une faible variance dans l'estimation des valeurs.

La déclinaison du classement des grumes en fonction des défauts présente quant à elle plus de variabilité selon la méthode employée ou le groupe étudié. En général, la courbure, le fil tors, les roses et les nœuds pourris sont souvent considérés comme les défauts les plus graves. À l'inverse, le méplat, l'excentricité ou les nœuds sains sont fréquemment perçus comme moins graves comparativement aux autres défauts.

Le fait d'observer cette différence de cohérence entre les classements grumes et les classements de défauts nous amène à nous interroger sur les hypothèses émises pour prendre en compte l'influence des défauts sur la préférence des utilisateurs. Ce point est abordé dans la prochaine section qui propose une discussion sur l'étude réalisée au cours de ce troisième chapitre.

4

Discussion du chapitre " Enquête de préférence auprès des utilisateurs"

Sommaire

4.1	Le choix des défauts présentés lors de l'enquête est-il pertinent ?	156
4.1.1	Choix de la nature des défauts	156
4.1.2	Choix du niveau de gravité des défauts	156
4.1.3	Bilan	157
4.2	Que peut-on dire du mode de présentation des défauts ?	157
4.2.1	À propos de la forme	157
4.2.2	En ce qui concerne le fond	158
4.3	Quelle est la représentativité de cette enquête ?	158
4.4	Conclusion	159

La volonté de réaliser une étude complémentaire à celle de l'analyse de l'importance des défauts via leur incidence sur le prix de vente des grumes avait pour motivation de combler certains manques de cette première approche. Nous allons donc voir si les attentes émises sont satisfaites, notamment en ce qui concerne la sélection des défauts et le choix des interviewés. Nous discuterons pour finir de la pertinence des méthodes d'analyse des résultats.

4.1 Le choix des défauts présentés lors de l'enquête est-il pertinent ?

Grâce à l'appui des outils infographiques, il a été possible de réaliser et de présenter des grumes virtuelles ayant une apparence réaliste et qui a reçu l'approbation des personnes enquêtées. La conception de ces grumes a reposé sur un plan d'expérience permettant de mesurer l'effet principal de 13 défauts. Le choix des défauts présentés aux interviewés a donc été possible, mais il faut bien voir que celui-ci a été limité que ce soit tant au niveau du type de défaut qu'à celui de leur gravité.

4.1.1 Choix de la nature des défauts

En ce qui concerne les défauts sélectionnés, les commentaires reçus lors des différents entretiens ont confirmé que les défauts sélectionnés faisaient bien partie des plus fréquents. Parmi les 13 défauts, seul le méplat a été considéré comme *a priori* peu important, certains y voyant même un certain avantage. En effet, quand ce méplat se présente sous la forme d'une section simplement ovale comme nous avons choisi qu'il le soit sur nos grumes virtuelles, il peut permettre de mieux caler la grume avant la découpe.

Pour ce qui est des défauts dont on nous a reproché de ne pas avoir tenu compte, nous pouvons signaler deux fois le cas du cœur brun et une fois celui de la "chèvre" (fissure transversale sinueuse de l'écorce pouvant atteindre plusieurs dizaines de centimètres en surface et apparaissant comme une galerie d'insecte en profondeur ([96])).

4.1.2 Choix du niveau de gravité des défauts

Le fait de tester seulement trois modalités par défaut (la troisième étant généralement l'absence du défaut), peut se révéler limitant dans certains cas. En voulant créer des grumes potentiellement utilisables pour tous, c'est-à-dire contenant une proportion non négligeable de bois de qualité A ou B, nous n'avons pas voulu décliner les valeurs extrêmes des niveaux de gravité des défauts.

Cette remarque prend toute son importance pour les défauts comme la roulure ou bien les

fentes de cœur. Lorsque la roulure reste centrale, celle-ci n'est qu'une gêne dans le rendement final, mais il est possible de découper un bon nombre de pièces de qualité. Une roulure présente sur la circonférence extérieure de la grume serait beaucoup plus pénalisante car considérée alors, d'après les échanges avec les interviewés, comme un des défauts les plus graves. De même, la fente de cœur simple ne peut être considérée comme un défaut. Le premier coup de scie étant donné selon cette fente, il est facile d'éliminer techniquement ce défaut. Enfin, pour la courbure, les utilisations ne nécessitant pas de garder la pièce en long sont faiblement pénalisées par une courbure simple, même fortement marquée, puisqu'il est possible de découper la pièce en deux billons presque droits. Une courbure en S aurait par contre été beaucoup plus pénalisante.

Signalons également le cas particulier des accroissements. Ce caractère est considéré comme prépondérant par de nombreux professionnels, notamment les fabricants de bois pour tonneaux. Or, ce défaut ne ressort pas parmi les plus importants. Nous avons dégagé trois points permettant d'expliquer ce phénomène :

- tout d'abord, certains merrandiers ont jugé le niveau "cerne irrégulier", c'est-à-dire le niveau officiellement le plus grave, comme moins pénalisant que le niveau "cerne large" car ils nous ont indiqué pouvoir parfois tirer des douelles à grain fin dans une section à cernes irréguliers. Cette inversion potentielle du défaut peut donc brouiller la modélisation de son effet ;
- le deuxième point concerne le marché potentiel des bois à cernes larges. Le cerne fin n'est pas une nécessité technologique mais une préférence pour des raisons esthétiques et organoleptiques (dans ce second cas, pour les bois de tonnellerie). Néanmoins, les cernes larges peuvent être utilisés pour faire des fonds de tonneaux ou bien des tonneaux destinés aux spiritueux. Si la demande est moins importante et les prix moins élevés que pour les cernes fins, ces bois sont tout de même valorisables par défaut ;
- enfin les cernes fins ne sont pas un critère suffisant pour une utilisation en tonnellerie. Des grumes présentant des défauts liés à la branchaison (roses, noeuds , broussin, picot) seront rejetées, quelle que soit leur largeur de cerne.

4.1.3 Bilan

Le nombre limité de défauts et de niveaux de défauts qu'il était possible de présenter pour espérer pouvoir mesurer par la suite leur effet a imposé de faire des choix. Comme nous voulions nous adresser à un large panel d'utilisateurs, il n'a pas été possible de faire varier les niveaux de gravité dans des gammes de sensibilité propres à chaque groupe. Nous devons donc faire attention à bien interpréter les résultats de cette enquête dans la limite des niveaux de gravité présentés.

4.2 Que peut-on dire du mode de présentation des défauts ?

4.2.1 À propos de la forme

Précisons à nouveau que la forme de présentation a conquis une large majorité des interviewés. Nous avons cependant remarqué que le degré de conceptualisation pouvait varier d'une personne à l'autre. Nous entendons par là que certains cherchaient à se représenter visuellement les grumes précises qui étaient décrites sur les cartes, alors que d'autres répondaient plus généralement, en considérant globalement l'impact des défauts présents sur la grume.

4.2.2 En ce qui concerne le fond

Le fond soulève quant à lui plus d'interrogations. Voyons tout d'abord le nombre de grumes virtuelles réalisées. Nous avons indiqué que nous voulions mesurer uniquement les effets principaux et limiter le nombre de grumes à fabriquer. La fabrication d'une grume, depuis sa conception jusqu'à la réalisation de la carte, prenant plus d'une journée, la forme de la présentation limite le nombre d'effets qu'il est possible de tester. Nous avons également avancé l'argument de la souplesse d'utilisation du questionnaire qui nous a été fortement utile lors de la phase de terrain.

Cependant, même si le choix de limiter les grumes, et donc les combinaisons de défauts présentées, est justifié, il n'en demeure pas moins discutable. Nous avons, comme indiqué précédemment, décidé de nous focaliser sur les effets principaux des défauts. Pour cela, des grumes de gabarit important ont été créées pour limiter les interactions potentielles entre ces défauts. Nous avons tout de même pu constater que certaines interactions ne peuvent être négligées. Pour certains défauts, la gravité perçue va dépendre de la présence ou non d'un autre défaut. Reprenons, par exemple, le cas de la courbure et des fentes de cœur. Nous avons vu que, individuellement, ces défauts ne sont pas nécessairement perçus comme très graves, puisqu'il est possible de les éviter techniquement. Seulement, si ces deux défauts présents simultanément ne sont pas convenablement placés l'un par rapport à l'autre, il n'est plus possible d'annuler techniquement leur effet et ils prennent alors de l'importance.

En outre, la section précédente a mis en évidence une bonne cohérence dans le classement "grume", mais moins bonne lorsque l'on essaye d'expliquer ce classement par les défauts. L'existence d'interactions entre les défauts, dont nous n'avons pas les moyens de mesurer l'effet avec le plan tel qu'il a été défini, est selon nous pour partie la cause de ce problème.

Cette interaction entre défauts soulève plus généralement le problème de leur localisation sur la grume. Un nœud pourri, par exemple, est perçu comme beaucoup plus important s'il est situé en milieu de grume plutôt qu'à une extrémité. Encore une fois, il n'était pas possible de tout tester, à la fois les combinaisons de niveaux, leur type et leur localisation. Tout comme précédemment, l'interprétation des résultats de cette enquête doit également se faire dans la limite du positionnement des défauts.

Enfin, en présentant toujours le même questionnaire, nous avons peut-être artificiellement augmenté ou diminué le poids de certains défauts. Par exemple, si une question avait contenu les grumes 1, 16 et 18, celles-ci ne se seraient peut-être pas retrouvées systématiquement parmi les meilleures et donc, les défauts qu'elles portent auraient été perçus comme plus graves. Cependant, le fait d'avoir réalisé deux séries de questions avec les mêmes grumes vient fortement limiter cet effet. Il serait donc intéressant de comparer ce résultat d'enquête à la même enquête faite avec une répartition aléatoire des grumes dans chaque question.

4.3 Quelle est la représentativité de cette enquête ?

Contrairement à l'étude de la vente, il nous a été théoriquement possible de choisir les personnes interviewées. La démarche pour donner à l'enquête une bonne représentativité consistait à s'appuyer sur une typologie de la population réalisée grâce aux données de l'enquête annuelle de branche.

Le terme de "théoriquement" est employé car il faut reconnaître que, dans la pratique, même si nous sommes parvenu à enquêter dans l'ensemble des strates de la population, ce sont davantage les interviewés qui nous ont accepté plus que nous qui les avons échantillonnés à notre guise. Ce mode opératoire permet de recevoir l'avis d'une personne motivée par l'enquête et dont les réponses sont plus fiables que si elles avaient été obtenues lors d'une enquête "forcée". Cependant, du fait de la taille réduite des effectifs, notamment par groupe, chaque interviewé a un fort poids et des comportements ou préférences spécifiques pèsent plus lourd dans le classement final. Il faut donc bien voir que cette enquête est une approche visant à dégager des tendances générales, mais elle reste insuffisante pour une étude précise des besoins de chaque groupe d'utilisateurs.

La question est de savoir comment avoir accès à davantage d'interviewés. Nous pensons, *a posteriori*, que la période d'enquête, fixée par le calendrier de travail de la thèse, n'était pas la plus appropriée. L'enquête s'est étalée durant les mois d'automne, d'hiver et du début du printemps 2005/2006. Or, ce sont également durant ces mois que l'activité des commis de coupe est très importante. Un déroulement de l'enquête pendant les mois de mai à septembre aurait pu permettre d'accéder à un plus grand nombre d'interviewés.

4.4 Conclusion

L'élaboration et l'analyse de l'enquête a permis d'apporter de nombreux éléments de réponse en ce qui concerne la perception des défauts pour les acheteurs. La série de graphiques (Annexe H, figures H.31, H.32, H.33, H.34, H.35 et H.36, pages 273 à 275) en constitue une très bonne synthèse. La présente discussion nous a permis de revenir sur les hypothèses émises dans la conception de l'enquête et d'en souligner les limites, notamment en ce qui concerne l'interprétation des résultats. Pour en saisir la portée, il faut avoir à l'esprit les niveaux de gravité concernés par les différents défauts, la façon dont ils avaient été disposés sur les grumes et la façon dont les grumes ont été comparées entre elles. Enfin, il faut avoir conscience que ce résultat est issu de 34 questionnaires réalisés par un panel représentatif de premiers transformateurs de Chêne ayant accepté de participer à cet exercice.

Chapitre IV : Synthèse et discussion générale

1

Synthèse des deux approches et discussion générale

LES deux parties de la thèse ont permis de présenter le contexte, le protocole et les résultats de deux approches complémentaires utilisées pour mesurer l'importance des défauts. Ces approches proposaient chacune un éclairage particulier de la problématique de l'importance accordée aux défauts. Nous allons à présent étudier conjointement ces approches en soulignant, dans un premier temps, leur complémentarité et leurs limites respectives. Nous en exposons ensuite une synthèse à partir d'une analyse graphique permettant ainsi de donner une réponse globale à la problématique. Nous revenons enfin sur les apports du travail en ce qui concerne l'influence accordée aux défauts des grumes de Chêne.

1.1 Comparaison des deux approches : complémentarité, différences et limites

Comme nous avons pu le voir dans le chapitre 1, le classement des défauts en fonction de l'importance qui leur est accordée par les différents utilisateurs est une tâche complexe en raison de la diversité des singularités et de la pluralité des débouchés. Afin de répondre à cette problématique, nous avons construit deux approches, l'une à partir de l'analyse d'un résultat de vente et l'autre basée sur une enquête menée auprès de professionnels de la filière. Nous allons à présent voir quels sont les points communs, les différences et limites de ces approches.

1.1.1 Deux études différentes mais complémentaires...

1.1.1.1 En ce qui concerne le matériel d'étude

La grume de Chêne constitue dans les deux cas le matériel d'étude mais sa nature diffère entre les deux indicateurs. Dans la première partie de la thèse, il s'agissait de grumes réelles vendues individuellement. Il est possible, à l'aide de la méthodologie de cette première approche de disposer d'un nombre important de grumes dont on connaît parfaitement la répartition des défauts. L'avantage de cette méthode est sa souplesse d'utilisation et sa réutilisation possible sur d'autres ventes présentant les mêmes caractéristiques, à savoir une exposition des grumes de façon individuelle et espacée. L'inconvénient de cette méthode est de ne pouvoir contrôler ni les défauts, ni les combinaisons de défauts présents lors des ventes.

Inversement, la méthodologie basée sur l'enquête permet de contrôler à notre guise le nombre, le type et la position des défauts. Il a ainsi été possible de compléter l'étude précédente de certains défauts soit absents lors de cette vente (nœuds sains ou nœuds pourris), soit difficilement mesurables à l'aide de notre protocole (accroissements, picots). Il s'agit cependant de grumes virtuelles présentées à des interviewés qui ne sont alors plus en position réelle de choix ou d'achat.

1.1.1.2 À propos de la population rencontrée

Tout comme pour les singularités, les méthodes sont complémentaires en ce qui concerne les personnes enquêtées. En effet, l'étude des prix permet d'étudier le comportement d'un certain nombre d'agents sans interférer avec ces derniers. Il n'est cependant pas possible de décider avant une vente quels vont être les acheteurs présents. Les résultats obtenus sont alors fortement liés aux acheteurs proposant des soumissions lors de la vente. En ce qui concerne la vente étudiée, une quinzaine d'acheteurs seulement s'est prononcée sur les lots proposés. La méthodologie utilisée peut néanmoins être étendue à d'autres ventes du même type, en trouvant alors le moyen de prendre en compte les effets "lieu" et "date", afin de disposer d'un jeu de données plus important.

La réalisation de l'enquête est basée au contraire sur un échantillonnage stratifié réalisé à la suite de la définition d'une typologie de la population-cible, celle des premiers transformateurs français de bois de Chêne. De plus, l'enquête telle qu'elle a été conçue, ne présente pas de limite quant au nombre de personnes interrogées, si ce n'est le temps dont nous disposons et le nombre de personnes acceptant l'exercice. Trente-quatre personnes ont ainsi été consultées et les résultats exposés à la section III.3 sont à la fois précis, d'après les intervalles de confiance approximatifs à 95 %, et cohérents même avec un effectif qui peut être qualifié de faible. Cette bonne qualité des résultats peut également être imputée au fait que les personnes ayant accepté de répondre étaient probablement les plus motivées par l'enquête. À l'inverse de l'étude de la liaison entre les défauts et les prix, il faut souligner qu'il existe cette fois-ci une forte interaction entre le scientifique et la personne interrogée. Cette dernière peut en effet refuser de dévoiler certaines informations par crainte de révéler des éléments de stratégie personnelle. La garantie de la confidentialité, le déroulement de l'enquête (présenté en partie III.2.4.1), ainsi que le côté ludique de l'exercice ont permis de limiter les réticences de l'interviewé.

1.1.1.3 Déroulement des deux études

Il est intéressant de souligner la symétrie dans le déroulement des deux études. L'analyse des prix en fonction des singularités n'a demandé que peu de temps pour mettre en place le protocole et récolter l'ensemble des données (une quinzaine de jours environs). En revanche, l'exploitation et l'analyse des résultats a demandé beaucoup plus de temps. En ce qui concerne l'enquête, c'est la conception qui a demandé le plus de temps (plusieurs mois), tout comme la phase de terrain, qui s'est étalée d'octobre 2005 à mai 2006. L'exploitation des données a par contre été assez rapide (quelques semaines), la majeure partie des programmes ayant été conçus pendant la phase de conception de l'enquête.

1.1.1.4 Type de réponses récoltées

Les réponses récoltées dans la première étude sont les différentes soumissions des acheteurs. Les points forts de cette variable d'étude est qu'elle est accessible de façon assez simple - dans notre cas, grâce à la coopération des gestionnaires forestiers allemands - et qu'elle concerne potentiellement une population importante. Il s'agit en outre d'une réponse quantitative pour laquelle les différents agents possèdent une forte expérience et qui, nous l'avons vu, possède un lien assez fort avec les caractéristiques dimensionnelles et de singularités. Le prix est cependant une valeur résultant d'un équilibre et sensible à de nombreux paramètres extrinsèques à la grume : nous avons vu par exemple le fort effet du type d'acheteur. L'enquête permet au contraire d'accéder directement à l'information quant à la préférence des acheteurs. Il s'agit cette fois d'une variable qualitative. Notons également que, contrairement aux prix, elle est issue d'un processus peu familier aux utilisateurs : réaliser un classement, qui plus est sur des grumes virtuelles.

1.1.2 ... qui présentent certaines similarités...

1.1.2.1 Qualités des grumes rencontrées lors des deux études

Dans les deux parties, étude des prix et étude des préférences, nous nous sommes consacré à des grumes de bonne qualité, à savoir, si nous les qualifions selon la norme CTBA ([15]), de qualités A et B. Le choix de limiter de la sorte la qualité des grumes étudiées présente de nombreux avantages.

Tout d'abord, il était ainsi possible de s'adresser à un panel d'utilisateurs beaucoup plus vaste. S'il n'est pas possible pour un trancheur ou un merrandier de se prononcer sur une grume de mauvaise qualité, il est en revanche tout à fait possible aux utilisateurs de grumes de moins bonne qualité de s'exprimer sur celles de très bonne qualité. Cet exercice est de plus tout à fait commun pour ces derniers car ils sont régulièrement revendeurs des meilleures grumes de leurs lots et savent donc parfaitement les évaluer. Ensuite, comme dans l'ensemble des cas nous sommes limité par le nombre de grumes qu'il est possible d'étudier, il n'est pas possible de prendre en compte les effets de l'ensemble des défauts et de leurs interactions quand le nombre de leurs niveaux de gravité devient élevé. De plus, si le nombre de défauts sur une grume est limité, comme dans le cas des grumes de qualités A et B, alors nous pouvons émettre l'hypothèse que les interactions entre les défauts sont faibles face à l'effet principal de ceux-ci. Cette hypothèse

est en revanche moins acceptable lorsque le nombre de défauts ainsi que leur gravité augmentent. Une rose ou un nœud sain n'entraîneront pas la même chute de prix ou ne seront pas perçus comme aussi graves si, par exemple, ils sont seuls sur la grume ou bien s'ils se trouvent entre plusieurs nœuds pourris.

Le fait de ne s'intéresser qu'aux grumes de qualités A et B permet donc de mesurer un effet principal des défauts en négligeant les interactions avec les défauts du reste de la grume, que ce soit en termes de nombre, de localisation ou de gravité. Même s'il semble ressortir de cette étude que la prise en compte des interactions entre défauts pourrait apporter un complément intéressant, il aurait été en revanche trop délicat de faire une telle hypothèse d'indépendance des défauts si nous avions travaillé avec des qualités inférieures. De plus, pour des grumes de qualités D, nous avons vu que l'écart type du prix au m^3 est seulement de 23 €/m³ (voir partie II.2.2.4) avant même de prendre en compte l'effet des dimensions alors qu'il peut atteindre 494 €/m³ pour les grumes de qualité A et B. C'est donc bien avec des grumes de qualité A et B que nous avons le matériel potentiellement le plus à même de faire ressortir des liaisons entre les prix et les composantes de la qualité.

1.1.2.2 Des résultats concordants

A propos des résultats, les deux parties ont mis en avant l'influence du type d'acheteur en ce qui concerne les prix ou bien les préférences. La partie IV.1.2 montre que, même s'il existe de fortes différences sur le type de matériel ou de réponses entre les deux méthodes, les résultats obtenus révèlent toutefois une bonne cohérence

1.1.3 ... ainsi que plusieurs limites

1.1.3.1 Limites dans les réponses apportées

En ce qui concerne les prix, nous avons souligné au cours de ce travail qu'il s'agissait d'une grandeur fortement variable dans le temps et dans l'espace. Le fait de positionner l'étude à une date et un lieu donnés permet de limiter cette variabilité, mais une part de subjectivité et de stratégie demeure néanmoins dans les prix, comme nous l'avons illustré en Annexe E à propos de la théorie des enchères. Paradoxalement, ce sont aussi les prix qui peuvent venir perturber les réponses à l'enquête. En effet, lorsque l'on demande aux interviewés de classer les grumes par ordre de préférence, ils peuvent avoir tendance à les classer par ordre de valeur monétaire et non pas en fonction de l'adéquation entre la grume et l'utilisation qu'ils en font.

1.1.3.2 Choix des grumes et des critères étudiés

Afin de répondre à la problématique, nous avons décidé de centrer l'étude sur l'évaluation des grumes de meilleure qualité. Nous avons pour cela recueilli des informations provenant des personnes directement concernées par l'évaluation de la qualité des grumes de Chêne, à savoir les responsables des achats. L'importance accordée aux défauts par cette population a été prise en compte, soit par les soumissions qu'ils ont proposées, soit par leur réponses à l'enquête. Signalons

cependant qu'il serait possible d'étendre la consultation à d'autres personnes de la filière comme les sylviculteurs, les scieurs de tête ou les commerciaux. Il faut néanmoins préciser que, dans le cas des petites entreprises, ces rôles sont souvent cumulés et que, pour les grandes entreprises, la plupart des personnes interviewées ont eu plusieurs années d'expérience dans les différents domaines cités ci-dessus.

Nous nous sommes également interrogé sur d'autres critères que nous aurions pu prendre en considération outre le prix et la préférence. Les prix et les préférences, comme nous l'avons vu, sont très marqués par la subjectivité. Il pourrait donc être intéressant de voir comment ceux-ci sont liés à des indicateurs plus objectifs de la qualité des pièces, en regardant par exemple les conséquences de la présence d'un défaut en terme de chutes de rendement. Il aurait fallu pour cela disposer d'un simulateur et optimiseur de débit des grumes de Chêne en fonction des défauts beaucoup plus perfectionné que celui qui est actuellement disponible dans Fagacées.

Un troisième critère qui permettrait de mesurer une gravité des défauts pourrait être la fréquence d'apparition de ceux-ci. Un défaut grave et rare peut en effet être considéré comme moins pénalisant qu'un défaut moyen et très fréquent. Cette approche adopte cependant un point de vue légèrement différent du nôtre puisqu'elle mesure la conséquence d'un défaut sur la valorisation d'une ressource forestière et non plus simplement sur celle d'une simple grume.

1.1.3.3 Évolutions des critères mesurés dans le temps

Au cours des premières pages de ce travail, nous avons souligné le caractère temporel des prix et des préférences. Les évolutions des cours des matières premières ou les changements de modes peuvent-ils modifier les résultats présentés dans ce document ? En ce qui concerne les valeurs atteintes, que ce soit pour les prix ou bien pour les forces des grumes et des défauts, nul doute qu'il s'agit là d'une photographie de la situation à un instant donné. Les mêmes études entreprises à une autre date ne donneraient peut-être pas les mêmes résultats. Nous pouvons tout de même penser que le classement est un résultat plus robuste que le prix car il s'agit d'une variable moins sujette aux variations.

1.1.4 Conclusion

Cette section a permis de revenir sur la complémentarité existant entre les deux approches ainsi que sur les limites de cette étude. Ces différents éléments sont réunis dans le tableau de synthèse (T41).

Nous allons à présent voir, à partir de cette complémentarité, comment apporter une réponse générale à l'objectif de la thèse.

Critère	Etude des relations prix-défauts	Enquête sur les préférences
Indicateur utilisé	Prix en €/ m ³ des grumes.	Classement de préférence.
Nature du matériel étudié	Grumes réelles.	Grumes virtuelles.
Contrôle des défauts présentés	Aucun contrôle possible.	Les défauts et les combinaisons de défauts sont déterminés par le scientifique.
Qualité des grumes	Grumes de qualité A et B.	Grumes de qualité A et B.
Interaction avec les agents	Aucune interaction. Impossible de fixer <i>a priori</i> quelles personnes vont soumissionner.	Interactions fortes avec les agents. Possibilité de choisir les participants à l'enquête.
Réaction face à l'exercice	Habitude des agents à estimer les prix.	Les interviewés ne sont pas familiarisés de ce genre d'exercice, mais ils s'y sont volontiers prêtés.
Éléments pouvant influencer la variable d'étude	Les prix ne dépendent pas seulement des caractéristiques intrinsèques de la grume.	Les interviewés risquent de ne pas vouloir révéler des informations stratégiques. Il peut aussi répondre à la question "quelle est la grume la plus chère" au lieu de "quelle est la grume la plus adaptée à votre utilisation" .
Contraintes	Le temps pour mesurer les grumes est limité. La méthodologie présentée n'est possible qu'avec les ventes proposant une exposition individuelle des grumes.	Le questionnaire doit être suffisamment concis. La visite d'un nombre important de personnes demande une grande disponibilité de chacun.
Phases rapides	Phase de terrain et d'accès aux données de vente.	Analyse des résultats.
Phases longues	Reconstruction des grumes en 3D, analyse des résultats.	Conception de l'enquête.
Portée des résultats	Dépendante des qualités rencontrées et des personnes présentes à la vente.	Dépendante des qualités présentées. Résultats généralisables grâce à l'échantillonnage stratifié des personnes interrogées.

TAB. T41: Tableau de synthèse de la complémentarité et des limites des deux approches : l'étude des relations entre les prix et les singularités d'une part et la réalisation d'une enquête visant à mesurer les préférences des utilisateurs d'autre part.

1.2 Synthèse des deux approches

Les différentes façons de mesurer l'impact des défauts nous fournissent des éclairages divers que nous allons à présent prendre simultanément en considération afin d'apporter une réponse synthétique à la problématique de cette thèse. Étant donné la différence de nature entre les nombreux résultats présentés tout au long de ce document, cette synthèse est basée sur une approche essentiellement graphique permettant de résumer la comparaison entre les défauts. La méthodologie adoptée pour cette synthèse est relatée dans un premier temps (partie IV.1.2.1). Elle est suivie de la présentation des résultats (partie IV.1.2.2) et, enfin, de leur interprétation (partie IV.1.2.3).

1.2.1 Démarche employée

Dans les sections II.3 et III.3, trois indicateurs différents ont été présentés pour mesurer l'importance des défauts. Chacun est basé sur un jeu d'hypothèses et de données propres. Nous désirons néanmoins opérer leur rapprochement afin de synthétiser l'ensemble du travail effectué et proposer une réponse globale à la question posée. Nous allons pour cela construire des radars à six axes. Chaque axe porte le classement du défaut selon une méthode. Le classement est réalisé par ordre croissant de gravité. Ainsi, un défaut étant généralement considéré comme grave aura un score élevé sur chaque axe. En joignant les scores obtenus pour un défaut particulier sur les différents axes, nous obtenons un polyèdre dont la position des sommets permet de se faire visuellement une idée de l'importance générale accordée à un défaut et de faire des comparaisons, à la fois de défauts, mais aussi de modes de classement.

L'enquête ayant été réalisée pour compléter l'étude de la relation entre les prix et les singularités, un nombre plus important de défauts y sont comparés. Ainsi, dans les trois approches de la première partie, les singularités suivantes intervenaient : broussin, couleur, courbure, excentricité, fentes, fil tors, méplat, roses et roulure. Dans l'enquête, il faut ajouter les accroissements, les noeuds sains, les noeuds pourris et les picots.

Rappelons que les critères permettant de classer les défauts étaient les suivantes (entre parenthèses figure la nomenclature utilisée dans la figure (F74)) :

1. fréquence de la sélection du défaut lors de la validation croisée du modèle de prix dans la partie II.3.2.3. (*Sélection "stepwise"*);
2. influence du défaut sur le prix des grumes. Pour ce critère, nous avons calculé la chute maximale potentiellement entraînée par le défaut comme le produit entre le niveau maximal mesuré du défaut et la moyenne de son effet, estimée lors des validations croisées de la partie II.3.2.3. (*Prix hédonistes*);
3. importance du défaut selon les forêts aléatoires de Breiman, partie II.3.3.3. (*Forêt de Breiman*);
4. fréquence du défaut parmi les grumes classées en dernière position lors de l'enquête partie III.3.2.1.2. (*Score*);
5. utilité calculée du défaut, partie III.3.2.2.2. (*Mesure de l'utilité*);
6. mesure de la force du défaut par le modèle de Bradley-Terry, partie III.3.2.3.2. (*Bradley-Terry*);

Pour chaque indicateur, le classement a été reporté sur une échelle de 0 à 100. La valeur 0 a été affectée au défaut dont aucun effet n'avait été mesuré ou dans le cas où l'effet mesuré était positif. La valeur atteinte par chacun des six critères mesurant l'importance des défauts est ensuite reportée sur une branche d'un radar.

Sur chaque radar ont été reportées les valeurs correspondant aux classements obtenus à partir des modèles estimés sur l'ensemble des données mais aussi celles correspondant aux groupes identifiés dans la partie II.2.4.2.2 pour l'étude des relations défauts-prix et aux groupes identifiés dans le chapitre III.2.4.2 en ce qui concerne l'enquête. Dans chaque partie, 6 groupes peuvent être définis.

Pour les classements réalisés dans l'étude de la vente de Bad Mergentheim, les groupes sont situés dans la moitié Sud/Ouest des radars. Ces groupes sont :

1. classement général : représenté en trait continu et surface pleine ;
2. scierie de haute valorisation : en trait continu ;
3. scierie de qualité spécialisée : en traits discontinus réguliers longs ;
4. trancheurs : en traits discontinus réguliers courts ;
5. merrandiers : en traits discontinus alternés longs et courts ;
6. scierie de valorisation moyenne : en traits discontinus un long et deux courts.

Les classements réalisés lors de l'enquête sont situés dans la partie Nord/Est des radars. Rappelons que, dans ce cas, les six groupes sont :

1. classement général : représenté en trait continu et surface pleine ;
2. grande scierie de feuillus : en trait continu ;
3. grande scierie spécialisée Chêne : en traits discontinus réguliers longs ;
4. parqueteurs : en traits discontinus réguliers courts ;
5. merrandiers : en traits discontinus alternés longs et courts ;
6. petites scieries : en traits discontinus un long et deux courts.

Ainsi, seuls les résultats concernant le classement général ou les merrandiers peuvent être appréhendés de façon globale sur un radar, les autres devant être analysés par demi-radar. Nous avons tout de même choisi de les rassembler de la sorte pour avoir l'ensemble des résultats de la thèse exposés sur une double page.

La moyenne générale des différents indicateurs est calculée et indique l'ordre de présentation des défauts.

1.2.2 Représentation de l'importance des défauts à l'aide de graphiques en radar

1.2.3 Interprétation des radars de classement

1.2.3.1 Noeud pourri

En rappelant que son influence n'a été évaluée qu'au cours de la seconde enquête, le noeud pourri ressort comme le défaut le plus important. A l'exception du groupe "merrandier", ce défaut montre une forte gravité suivant les trois indicateurs disponibles. Le cas du faible score pour les merrandiers s'explique sans doute par le fait que la longueur de grume recherchée est plus faible que pour les autres groupes car ils peuvent valoriser des billons comprenant des multiples de longueur d'environ 1,20 m avant ou entre les noeuds.

1.2.3.2 Rose

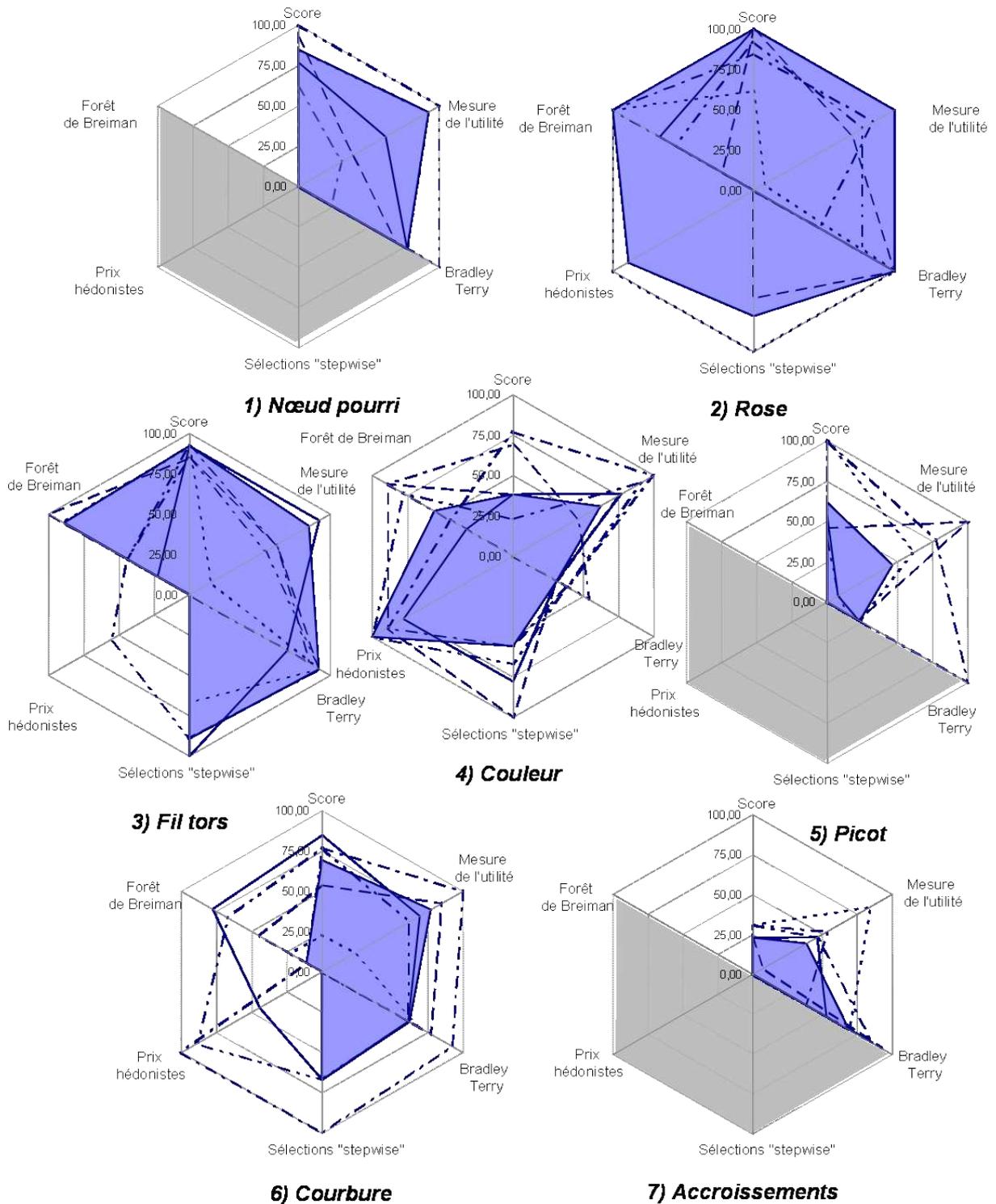
Le radar des roses, notamment pour l'ensemble des observations étudiées simultanément, est extrêmement bien "rempli", soulignant la grande importance accordée à ce défaut. En fonction du groupe, cette importance est néanmoins fluctuante puisque l'importance accordée par les trancheurs (traits discontinus réguliers courts dans la moitié Sud/Ouest) est très forte alors qu'elle est relativement plus faible pour les fabricants de parquets (traits discontinus réguliers courts dans la moitié Nord/Est). Ces derniers nous ont en effet indiqué qu'un marché qualifié de "rustique" était en développement à un niveau de prix toutefois bien inférieur à celui du parquet sans défauts. Pour ce marché, les roses sont admises, ce qui donne un parquet avec des figurés.

1.2.3.3 Fil tors

A l'exception de la mesure de l'importance du défaut par la méthode des prix hédonistes, le fil tors présente un radar très rempli l'amenant à se positionner parmi les trois défauts les plus graves. Sur les autres axes, les scores sont généralement élevés pour la plupart des groupes. Nous avons en effet vu, dans la partie sur la présentation des défauts, que ce défaut entraîne, un peu à la manière du noeud pourri, une forte perturbation dans la structure du bois. Il est également la cause de nombreuses déformations lorsque les pièces de bois voient leur taux d'humidité changer.

1.2.3.4 Couleur

A partir de ce défaut, nous commençons à rencontrer des radars moins remplis et plus hétérogènes. La couleur ne présente à vrai dire pas de pic de gravité sur l'ensemble des critères (à l'exception peut-être de la modélisation des prix ; cf branche "prix hédonistes") ; en revanche, elle intervient à chaque fois en position moyenne pour tous les classements effectués, que ce soit avec des méthodes différentes ou bien pour des groupes différents. S'il ne s'agit pas de l'un des défauts présentant les valeurs des indicateurs les plus élevées, c'est en revanche une singularité qui est prise en considération par tous de façon régulière, ce qui explique sa place importante dans le classement général.



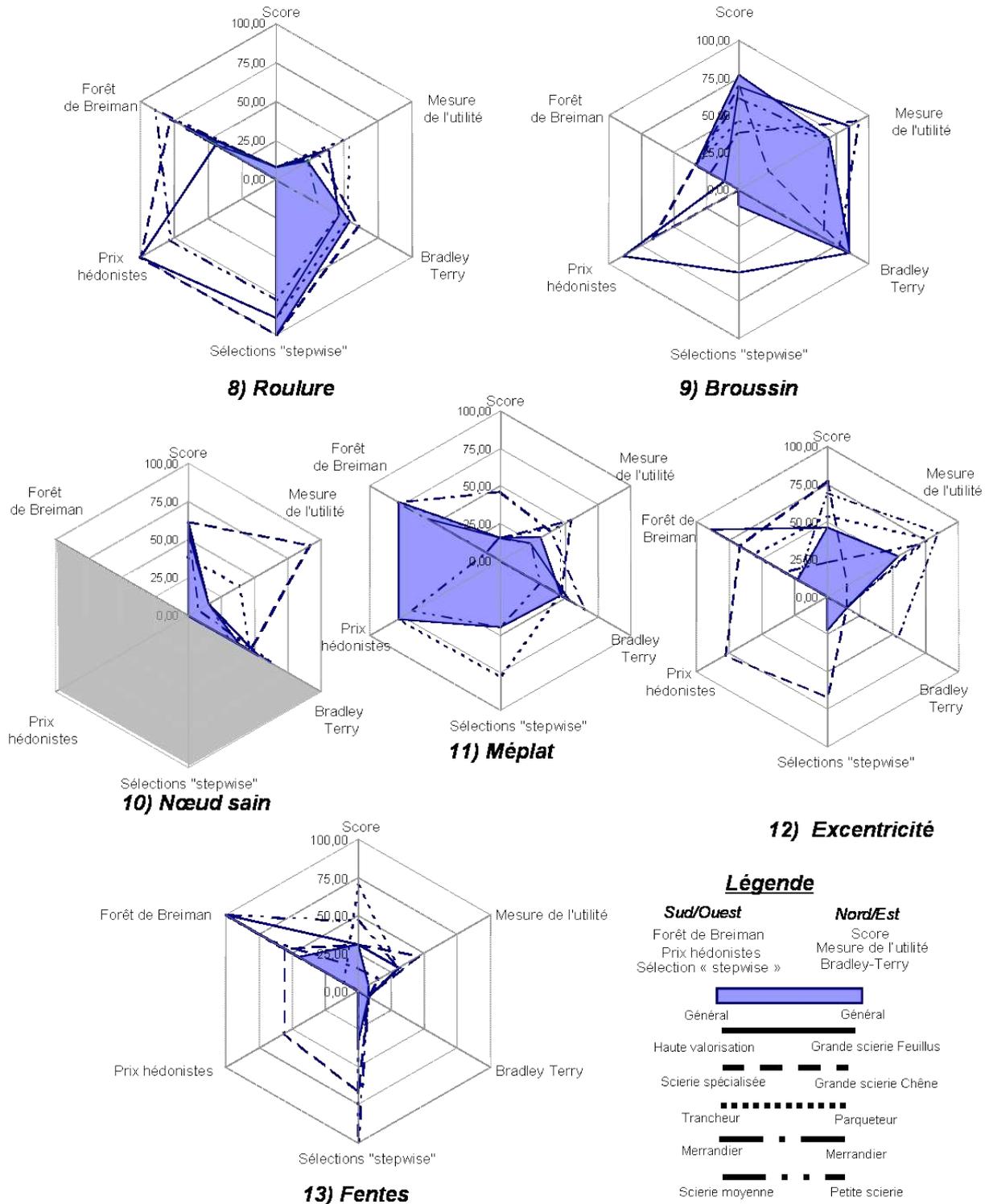


FIG. F74: Classement général des défauts à partir de représentations en radars. Chaque branche du radar porte le classement du défaut obtenu selon un critère et positionné sur une échelle allant de 0 à 100. Voir partie IV.1.2.1 pour plus de détails.

1.2.3.5 Picot

Tout comme le nœud sain, le picot n'a pu être évalué qu'à partir de l'enquête. Ce défaut a une importance assez binaire : soit il ne compte pas du tout, soit sa présence est jugée très grave.

1.2.3.6 Courbure

La courbure montre une importance très variable en fonction de la méthode à partir de laquelle elle a été mesurée et du groupe considéré. Pour nombre d'entre eux ("merrandiers", "petite" ou "moyenne scierie", "grande scierie de feuillus", "scierie de haute valorisation") le radar est tout de même fortement rempli, ce qui témoigne de l'importance de cette singularité. Comme souligné également dans les différentes discussions des résultats, il est bon de rappeler que l'interprétation s'est faite dans la limite des défauts rencontrés et que, dans l'ensemble de notre étude, la courbure n'était pas à des niveaux très importants, ce qui explique une forte prise en considération mais, au final, un classement moyen.

1.2.3.7 Accroissement

La physionomie du radar des accroissements est assez proche de celle du radar des picots : une importance variable suivant le groupe étudié et, au final, un classement général moyen. Selon le critère considéré, nous pouvons constater une certaine variabilité des résultats puisque c'est surtout le modèle de Bradley-Terry qui fait ressortir l'importance de ce défaut.

1.2.3.8 Roulure

L'importance de la roulure apparaît très différente suivant que l'on s'intéresse à la relation prix-défauts ou à l'enquête. Pour les différents critères établis à partir de l'étude de la vente de Bad Mergentheim, ce défaut apparaît régulièrement comme très important, alors qu'il ne montre qu'un score très faible dans le cas de l'enquête auprès des acheteurs. Rappelons que la roulure, suivant sa gravité, est un défaut pouvant entraîner de très fortes chutes de rendement. L'importance relative de la roulure par rapport aux autres défauts dans la première et la deuxième partie n'est donc pas équivalente. Ce graphique vient confirmer l'hypothèse émise lors de la discussion de la partie "enquête" en ce qui concernait le classement de la roulure (partie III.4.1.2), à savoir qu'il s'agit vraisemblablement d'un défaut très important une fois un certain seuil de gravité franchi. Ce seuil de gravité n'a semble-t-il pas été atteint dans l'étude des préférences des utilisateurs.

1.2.3.9 Broussin

Le cas du broussin est quelque peu analogue au précédent. Cette fois, c'est lors de l'étude de la vente que nous étions confronté à un faible effectif de broussins. Lors des interviews, la prise en considération de ce défaut était très fluctuante, certains interviewés y voyant une accumulation de roses et picots, donc un défaut très grave, alors que d'autres considéraient que ce défaut, parce

qu'il arrivait tardivement dans la vie de l'arbre, demeurait localisé dans l'aubier donc de faible gravité.

1.2.3.10 Nœud sain

La gravité de ce défaut varie suivant le critère considéré mais, à part le cas de la mesure d'utilité pour les scieries spécialisées en Chêne, son impact n'est généralement pas jugé très élevé.

1.2.3.11 Méplat

A la suite des conversations tenues avec les professionnels interviewés, il est assez logique de retrouver ce défaut parmi les moins importants puisque, suivant la conformation du méplat, celui-ci peut se révéler être plus un avantage qu'un inconvénient. Si, en réponse à l'enquête, ce défaut ne ressort pas comme très grave, il obtient en revanche un fort score dans la modélisation des prix par la technique des prix hédonistes ou bien par les forêts aléatoires de Breiman. Pour expliquer ce résultat apparemment contradictoire, nous pouvons émettre l'hypothèse que l'impact du méplat dans le cas de l'analyse des ventes est en fait un impact synthétique de plusieurs défauts généralement corrélés avec le méplat, comme la courbure ou l'excentricité.

1.2.3.12 Excentricité

Le radar de l'excentricité est assez proche de celui du méplat. Ce défaut ne semble avoir de l'importance que pour les trancheurs. Cette importance peut s'expliquer par le fait que les trancheurs attachent une grande importance au figuré des feuilles recherchées. L'excentricité entraîne en effet un motif qui n'est pas symétrique par rapport au centre de l'arbre donc une dévaluation du produit final. Pour les scieurs, nous reprendrons une phrase entendue chez l'un d'entre eux pour justifier de la faible importance relative de cette singularité : "Tout ce qui n'est pas d'un côté est de l'autre".

1.2.3.13 Fentes

A part dans le cas des forêts des Breiman, les fentes n'ont généralement pas été considérées comme pénalisantes. En effet, nous avons vu dans le cas de l'enquête que les fentes ne sont pas nécessairement un défaut grave. Si elles ne se cumulent pas avec d'autres défauts, elles fournissent une indication pour décider du sens de découpe de la grume sans entraîner de chute de valeur des produits.

1.2.4 Conclusion

Cette synthèse a permis de répondre à la problématique centrale de la thèse. Elle a notamment mis en valeur que, suivant le critère ou bien la population considérée, les réponses peuvent être fluctuantes. Dès lors, nous ne pouvons pas apporter une réponse unique; nous avons préféré

cette synthèse graphique grâce à laquelle, suivant l'angle d'étude que l'on souhaite adopter pour analyser le classement des défauts (influence sur les prix, sur les préférences, variations en fonction de l'activité...), il est possible de se diriger vers l'une ou l'autre des méthodes exposées.

Après avoir exposé dans cette section une synthèse générale des résultats, nous allons à présent revenir sur les apports de la thèse.

1.3 Différents apports de la thèse

1.3.1 Apports pratiques

L'objectif central de la thèse était de déterminer l'importance accordée aux différents défauts par les acteurs de la filière. Il a fallu pour cela élaborer deux méthodologies dont la complémentarité a été soulignée dans la partie IV.1.1. Les résultats des deux approches maintenant regroupés (*cf* partie IV.1.2), il s'agit à présent de répondre à la question pratique soulevée par ce travail, à savoir quels sont les défauts à faire entrer dans le simulateur de croissance et de qualité des bois "Fagacées".

D'après les résultats acquis dans chacune des études, par les prix ou bien par les préférences, trois grands types de défauts semblent se dégager comme importants à prendre en compte :

1. les défauts liés à la branchaison : nous avons en effet vu que les roses ou les broussins étaient considérés importants à la fois dans le déterminisme des prix et dans celui des préférences. Certains défauts liés à la branchaison, dont nous avons pu mesurer l'effet uniquement par l'enquête se sont révélés également importants, notamment les nœuds pourris ;
2. le fil tors ;
3. les défauts liés à la forme, en particulier la courbure ;
4. la couleur de la section.

1.3.2 Apports scientifiques

Ce travail a été pour nous l'occasion de faire appel à des notions issues de disciplines variées, ce qui permet de la sorte un certain transfert de connaissances entre ces disciplines, à savoir l'économie, le marketing et les sciences forestières. En plus d'un transfert de notions, il s'est agi également d'un transfert de méthodes puisque, rappelons-le, nous avons dû recourir aux techniques photogrammétriques, aux méthodes statistiques de Breiman ou de Bradley-Terry ou, comme avec l'algorithme du recuit simulé, à des techniques de recherche opérationnelle. Toutes ces méthodes et techniques étaient en effet encore peu usitées en sciences forestières.

Un des apports majeurs de ce travail pour une meilleure connaissance de l'évaluation de la qualité des bois, concerne son aspect transversal. S'il est en effet possible de trouver de nombreuses études sur un défaut en particulier, ses origines biologiques, ses conséquences pour une utilisation donnée, il est en revanche beaucoup plus rare de rencontrer des documents synthétisant

l'information pour plusieurs défauts ou plusieurs utilisations. Cet apport constitue un intérêt important de ce travail :

- premièrement, grâce au nombre élevé de défauts étudiés conjointement. Certes, l'étude n'est pas exhaustive de ce point de vue, mais 13 défauts sont comparés simultanément. Il est donc possibles de connaître les impacts relatifs de ces défauts ;
- deuxièmement, par la diversité des personnes consultées. Dans les différentes parties du travail, nous avons décliné les classements en fonction de l'activité de l'acheteur ou de l'interviewé. Il a donc été possible d'évaluer les conséquences d'un défaut en fonction de l'activité et donc de voir quelles sont les points communs et les différences entre plusieurs acteurs de la filière.

1.3.3 Apports divers

La qualité des bois est un sujet auquel tout professionnel est confronté régulièrement. Dès lors, et à la suite d'années d'expérience acquise ou transmise, il possède une très riche connaissance empirique de l'impact des défauts pour l'utilisation qu'il fait des grumes. Ce travail étant inspiré de ces savoirs, il n'est pas à proprement parler pour les professionnels de la filière, une découverte de nouvelles connaissances, mais plutôt une synthèse de différents savoirs partagés entre tous. Cette synthèse constitue néanmoins un réel apport pour une meilleure compréhension globale de la filière comme nous allons le voir dans les prochains paragraphes.

Tout d'abord, si chacun peut se forger une opinion quant à l'importance des différents défauts, il s'agit d'un avis personnel, basé sur sa propre connaissance. Le fait d'avoir adopté une démarche de synthèse prenant en compte les avis de plusieurs groupes d'utilisateurs permet par la suite à chacun de se rendre compte quelles sont, parmi ses propres connaissances, celles qui sont partagées par le plus grand nombre et celles qui lui sont propres. Dès lors, il lui est possible de s'interroger sur ses spécificités. Le résultat de cette remise en cause peut alors permettre un meilleur positionnement stratégique de son activité ou bien une correction de ses pratiques.

Ensuite, la thèse a permis d'établir une échelle commune de classement des défauts. En effet, lors de communications entre professionnels, les termes subjectifs de "grave", "très grave", ou "moyennement grave", sont régulièrement employés. Il est alors délicat pour un regard extérieur, que ce soit un regard étranger au domaine de la filiaire forêt-bois ou simplement celui d'un groupe d'utilisateurs différent de celui de l'intéressé, de comprendre le poids réel donné à ces termes. Grâce aux différents indicateurs mis en place, il devient possible de quantifier ces notions qualitatives et subjectives.

Conclusion

Conclusion et perspectives

Le bois de Chêne présente une forte variabilité en termes de qualité, notamment du fait de la présence potentielle de multiples singularités comme cela a été présenté dans le premier chapitre de cette thèse. Le travail s'est ensuite déroulé en deux temps : d'une part, l'analyse des prix de grumes vendues individuellement (chapitre II) et, d'autre part, la réalisation et l'exploitation d'une enquête sur les préférences des utilisateurs du bois de Chêne (chapitre III). Une synthèse et une discussion générale de ce travail ont été proposées chapitre IV. Cette conclusion est l'occasion de revenir sur les différentes tâches de la thèse, d'en résumer les principaux résultats et enfin d'en présenter les perspectives.

Retour sur les différentes tâches de la thèse

L'objectif central de cette thèse, exposé en introduction, était d'identifier objectivement les défauts qui pèsent le plus lors de l'évaluation de la qualité des bois et d'en proposer un classement en fonction de leur gravité perçue. Nous allons voir à présent les réponses apportées aux différentes tâches listées en introduction.

Identifier les outils actuellement disponibles pour évaluer l'importance des défauts

Les différentes revues bibliographiques (chapitre I et section II.1) ont permis d'exposer deux modes principaux de prise en compte des défauts, chacun destiné particulièrement à une catégorie d'acteurs. En ce qui concerne le gestionnaire forestier, il existe des normes en constante évolution qui permettent, à partir de critères précis, d'attribuer une note à la qualité d'une grume. Pour les professionnels, les critères qualitatifs sont pris en compte dans la publication de façon périodique des cours du bois de Chêne au sein des différentes revues spécialisées.

Ces revues bibliographiques ont permis de souligner que, si l'observation ou l'estimation des conséquences des défauts sur la qualité ou le prix des bois est une opération courante, il n'existait en revanche que très peu d'études proposant une approche globale pour comprendre ou mesurer l'impact des défauts, que ce soit sur les prix ou bien sur les préférences des utilisateurs.

Proposer une méthodologie pour mesurer le poids accordé aux défauts

Afin de mesurer le poids accordé aux différents défauts, nous avons choisi de nous baser sur des indicateurs permettant d'en réaliser le classement. Le premier indicateur venant naturellement

à l'esprit et facilement accessible est le prix de vente de bois. C'est pourquoi nous avons décidé d'accéder à une vente nous permettant de connaître les prix individuels des grumes pour pouvoir, par la suite, relier ces prix aux défauts présents sur chacune des grumes. La méthodologie adoptée pour cette étude est décrite au chapitre 4. Nous avons cependant vu, notamment au cours du chapitre 5, que l'étude seule des prix des grumes vendues individuellement présentait certaines lacunes et n'apportaient pas une réponse complète à la problématique de la thèse. Nous avons donc été amené à définir un second indicateur pour compléter le premier : la préférence des utilisateurs. La seconde partie de la thèse, et notamment les chapitres 6 et 7, présente la conception de ce nouvel indicateur. La première partie de la discussion (partie 10.1) permet de remettre ces indicateurs en parallèle et de souligner comment aux faiblesses de l'un correspondant les points forts de l'autre.

Appliquer cette méthodologie et proposer ainsi une hiérarchisation des défauts

Le chapitre 4 présente l'application de la méthodologie décrite ci-dessus à l'analyse de prix de vente de 70 grumes dont nous avons réalisé une cartographie précise des défauts. Cette analyse a été déclinée suivant 6 groupes d'utilisateurs définis à partir d'une typologie de la population des agents ayant soumissionné lors de cette vente.

L'application de la méthodologie concernant l'enquête est présentée au chapitre 8. L'exploitation des résultats de cette enquête a permis de définir le classement de 13 défauts répartis sur 27 grumes qui ont été jugées par 34 personnes, premiers transformateurs du bois de Chêne.

Vérifier la stabilité de ce classement en fonction de la destination finale des produits

Nous avons pu voir au cours de l'étude de la vente de Bad Mergentheim que le type d'activité de l'acheteur était un élément très important dans l'explication des prix. Nous avons remarqué que les défauts intervenant dans les différents modèles ainsi que leur poids relatif fluctuaient fortement en fonction de l'activité. En revanche, les résultats obtenus à partir de l'enquête présentaient une plus forte cohérence, surtout en ce qui concernait le classement des différentes grumes. Des différences entre groupes d'acheteurs ont également été remarquées.

Principaux résultats du travail

La synthèse des deux approches, réalisée dans la partie 10.2, a permis de mettre en évidence une bonne cohérence des deux indicateurs. Dans la limite des niveaux de gravité des défauts rencontrés, les défauts ressortant comme les plus importants sont ceux liés à la branchaison (nœuds pourris, roses, broussins et picots), le fil tors et la courbure.

Nous avons également constaté, dans la première partie de la thèse, un fort effet "Acheteur" puisqu'il explique à lui seul en moyenne un tiers de la variabilité des prix des bois. Les effets des dimensions et des singularités sont loin d'être négligeables puisqu'ils permettent d'expliquer à eux seuls près de la moitié de la variabilité des prix des bois. Quand les effets "Acheteurs",

"Dimensions" et "Singularités" sont tous trois pris en considération simultanément les deux tiers de variabilité expliquée sont approchés (partie 4.6.3).

L'étude des préférences a permis de mettre en évidence une certaine cohérence quant aux attentes des différents acheteurs en termes de qualité des grumes. Nous avons également pu constater, à partir du calcul des intervalles de confiance approximatifs à 95 %, une bonne précision des résultats obtenus quant à l'estimation des forces des grumes ou de l'impact des défauts à l'aide du modèle de Bradley-Terry (partie 8.2.3).

Perspectives

Nous concluons ce travail par la présentation des différentes perspectives. Ces perspectives concernent à la fois les deux approches, mais aussi le travail dans sa globalité.

Perspectives pour l'étude de la relation entre prix et défauts

L'élément fort du travail concernant l'étude des prix en fonction des défauts réside dans la définition d'un cadre méthodologique. La principale limite est le fait de n'avoir utilisé ce cadre que dans le cas d'une vente particulière. L'évolution constante des techniques photogrammétriques, ainsi qu'une simplification du protocole, permettrait d'envisager la mesure précise d'un nombre plus important de grumes lors de ventes différentes et d'accéder à un niveau de détail de singularités plus fin permettant de visualiser les picots ou bien les accroissements. Dès lors, l'élargissement de cette étude pour améliorer sa représentativité et la qualité de ses résultats devient tout à fait envisageable.

Perspectives pour l'étude des préférences

Le faible nombre d'entretiens réalisés ainsi que le nombre restreint de grumes virtuelles présentées demeurent des paramètres limitants dans notre étude des défauts *via* l'enquête auprès des utilisateurs. En utilisant des techniques de programmation, il est tout à fait envisageable d'automatiser la méthode exposée dans la partie "constitution des grumes" pour simuler à notre guise des grumes en 3D et les cartes correspondantes. Il serait alors possible de disposer potentiellement de l'ensemble des grumes réalisables, ce qui permettrait de mesurer plus d'effets en ce qui concerne le nombre, la gravité et les interactions entre les défauts.

Intégration et valorisation du travail

Le dernier point que nous indiquons ici concerne l'intégration de notre étude dans la chaîne de modèles "du plant à la planche", intégration qui, rappelons-le, constituait la motivation centrale de cette thèse. La synthèse des résultats à partir des diagrammes en radars a permis de dégager les caractères qui pèsent le plus en ce qui concerne l'évaluation de la qualité des grumes de Chêne. La prochaine étape consisterait donc à établir les modèles intra- et inter-arbre de ces caractéristiques à intégrer aux sorties actuelles de Fagacées. Afin d'établir ces modèles, et en attendant de disposer

de modèles "déterministes", il serait possible de se baser sur des mesures photogrammétriques incluant et élargissant la base de données de 70 grumes réalisée au cours de cette thèse. Bien sûr, le développement de techniques d'acquisition de données à grande vitesse à l'aide d'un scanner X 3D que nous avons déjà évoqué permettrait d'aller plus loin dans l'établissement de tels modèles. Nous pouvons alors envisager de réaliser un simulateur et optimisateur de débit capable de tenir compte des singularités et de disposer alors d'un outil plus fidèle à la réalité. Les avantages d'un tel simulateur sont nombreux : évaluer de façon précise les destinations et les quantités des différents produits issus du bois de Chêne (permettant ainsi de renseigner les conséquences de politiques forestières telles que par exemple le carbone stocké en forêt et dans les produits ou l'emploi généré dans la filière), mais aussi de permettre au gestionnaire forestier de disposer d'un outil lui permettant d'optimiser sa sylviculture en fonction de critères de son choix (revenu, types de produits, qualité des bois, ...).

Bibliographie

Bibliographie

- [1] AFNOR : Bois vocabulaire. Rapport technique, NF B 50-002, 1961.
- [2] AFNOR : Boids ronds feuillus. classement qualitatif. partie 1 : Chêne. Rapport technique, NF EN 1316-1, 1997.
- [3] AFNOR : Bois sciés. classement d'aspect des bois feuillus. partie 1 : Chêne et hêtre. Rapport technique, NF EN 975-1/A1, 2000.
- [4] S. ALEXANDRE : *Débuter avce Gimp 2.2.12*, Juillet 2006.
- [5] CRPF AQUITAINE : Pour reconnaître les bois à merrain. *Forêt Entreprise*, 144:32, 2002.
- [6] N.M. ARGUEA et C. HSIAO : Econometric issues of estimating hedonic price functions. *Journal of econometrics*, 56:243–267, 1993.
- [7] C. ARTIGUES et F. de SARS : *Le marché du bois en France : situation actuelle et perspectives à court terme*. Direction générale de la forêt et des affaires rurales (M.A.P.A.R.), 2003.
- [8] A. BACCINI et P. BESSE : *Data mining I. Exploration Statistique*. Laboratoire de Statistiques et propabilités, Université Paul Sabatier Toulouse III, 2005. 142p.
- [9] C. BARTHOD : Classement, normes et certifications de qualité des bois et sciages. *Revue Forestière Française*, XLI (2):107–115, 1989.
- [10] A. BARY-LENGER, S. DUMONT, J. KIMUS et F. MALAISSE : Le classement et l'estimation des grumes de chêne sur pied. *La Forêt Privée*, 193:55–79, 1990.
- [11] A. BARY-LENGER et M.SENGLIER : Recherche des facteurs écologiques et sylvicoles agissant sur la qualité et la valeur commerciale des arbres. *Silva Belgica*, 101 (1):9–20, 1994.
- [12] A. BARY-LENGER et J.P. NEBOUT : *Le Chêne*. Editions du Perron, 1993. 604 p.
- [13] C.T. BASTIAN, M.M. DONALD, M.J. GERMINO, W.A. REINERS et B.J. BLASKO : Environmental amenities and agricultural land values : a hedonic model using geographic information system data. *Ecological Economics*, 40:337–349, 2001.
- [14] J. BAYLOT : Normalisation des bois rond : l'europe à l'image de la france. *CTBA info*, 59:6–9, 1996.
- [15] J. BAYLOT et P. VAUTHERIN : *Classement des bois ronds feuillus*. Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, 1992. 76 p.
- [16] R.J. BEAVER, H.A. DAVID et R.R. DAVIDSON : Discussion : science, statistics, and paired comparisons. *Biometrics*, 32:233–239, 1976.
- [17] E.R. BERNDT, Z. GRILICHES et N.J. RAPPAPORT : Econometric estimates of price indexes for personal computers in the 1990's. *Journal of Econometrics*, 68:243–268, 1995.

- [18] P. BESSE : *Data mining II. Modélisation et apprentissage statistique*. Laboratoire de Statistiques et Probabilités, Université Paul Sabatier Toulouse III, 2005. 103p.
- [19] A. BLANCHET et A. GOTMAN : *L'enquête et ses méthodes : l'entretien*. Nathan Université, 1992.
- [20] J. BOURCET : Le prix du sapin sur pied. *Revue Forestière Française*, XLVI (2):167–176, 1994.
- [21] J. BOURCET : Le coeur du chêne. *Revue Forestière Française*, LII (3):239–248, 2000.
- [22] R.A. BRADLEY : Another interpretation of a model for paired comparisons. *Psychometrika*, 30 (3):315–318, 1965.
- [23] R.A. BRADLEY : Science, statistics and paired comparisons. *Biometrics*, 32:213–232, 1976.
- [24] R.A. BRADLEY : Paired comparisons : some basic procedures and examples. *Handbook of statistics*, 4:299–326, 1984.
- [25] L. BREIMAN : Random forests. *Machine Learning*, 45 (1):5–32, 2001.
- [26] Y. BROSTAUX : *Etude du classement par forêts aléatoires d'échantillons perturbés à forte structure d'interaction*. Thèse de doctorat, Faculté Universitaire des sciences Agronomiques de Gembloux, 2005. 178 p.
- [27] E. BUCKET, G. Le MOGUÉDEC, F. MOTHE et G. NEPVEU : Une modélisation des bilans "environnement" et "produits" de sylvicultures contrastées : cas du chêne sessile. *Revue Forestière Française*, LVII(3):311–330, 2005.
- [28] K. BUTHLER et J.T. WHELAN : The existence of maximum likelihood estimates in the bradley-terry model and its extensions. *non publié*, page 27p, 2000.
- [29] S. CAVAIGNAC : Elaboration d'un modèle de prix du bois de chêne (*Quercus petraea* Liebl. et *Quercus robur* L.) à partir de ventes en régie et comparaison à d'autres méthodes d'estimation. Mémoire de D.E.A., ENSAIA, 2003. 40 p.
- [30] S. CAVAIGNAC et G. Le MOGUÉDEC : A model for oak wood prices. *Soumis à Forest Science*, page 15p., 2006.
- [31] S. CAVAIGNAC et G. Le MOGUÉDEC : Un modèle pour estimer le prix des bois façonnés. application aux lots de chêne. *Rendez vous techniques de l'ONF*, 12:10–14, 2006.
- [32] S. CAVAIGNAC, G. Le MOGUÉDEC et G. NEPVEU : Two complementary indicators to rank various oak wood defects according to different users' advice. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 36(2):265 – 279, 2006.
- [33] S. CAVAIGNAC, G. Le MOGUÉDEC, R. PRÉGET et L. IBANEZ : Prix des bois et hétérogénéité des lots. *Revue Forestière Française*, LVII:431–442, 2005.
- [34] J. CAVAIHLÈS : Le prix des attributs du logement. *Economie et Statistiques*, 381-382:91–123, 2005.
- [35] M. CHAVET et P. CHAVET : Cours des bois sur pied. *La Forée Privée*, 280:48–49, 2004.
- [36] P. CHESHIRE et S. SHEPPARD : Estimating the demand for housing, land and neighbourhood characteristics. *Oxford bulletin of economics and statistics*, 60 (3):357–382, 1998.
- [37] W.G. COCHRAN et G.M. COX : *Experimental designs*. Willey publications in statistics, 1957.

- [38] P. COMBRIS, S. LECOQ et M. VISSER : Estimation of a hedonic price equation for bordeaux wine : does quality matter? *The Economicle journal*, 107:390–402, 1997.
- [39] T. CONSTANT, F. MOTHE, M.A. BADIA et L. SAINT-ANDRÉ : How to relate the standing tree shape to internal wood characteristics : proposal of an experimental method applied to poplar trees. *Annals of Forest Science*, 60:371–378, 2003.
- [40] P. COURCOUX, L. CHAUNIER, G. DELLA VALLA, D. LOURDIN et M. SÉMÉNOU : Paired comparisons for the evaluation of crispness of cereal flakes by untrained assessors : correlation with descriptive analysis and acoustic measurement. *Journal of chemometrics*, 19:129–137, 2005.
- [41] P. COURCOUX et M. SÉMÉNOU : Preference data analysis using paired comparison model. *Food and Quality Preference*, 8 (5/6):353–358, 1997.
- [42] D.E. CRITCHLOW et M.A. FLINGER : Paired comparison, triple comparison, and ranking experiments as generalized linear model, and their implementation on glim. *Psychometrika*, 56 (3):571–533, 1991.
- [43] L. CRUCHANT : *La Qualité*. Presses Universitaires de France, collection Que sais-je ?, 1996.
- [44] CTBA : Classement des bois ronds feuillus. *In Réunion du groupe de travail Chêne*, 1990.
- [45] H.E. DANIELS : Round-robin tournament scores. *Biometrika*, 56 (2):295–299, 1969.
- [46] L. DASSONVILLE : Méthode de détermination des prix unitaires des bois vendus en bloc et sur pied. *Bulletin technique de l'ONF*, 21:235–242, 1991.
- [47] J.J. DAUDIN : *Modèle linéaire et plans d'expériences*. INA, Département OMIP, 1998.
- [48] R.R. DAVIDSON : On extending the bradley-terry model to accomodate ties in paired-comparison experiments. *Journal of the American Statistical Association*, 65:317–328, 1970.
- [49] R.R. DAVIDSON et P.H. FARQUAHR : The method of paired comparisons. *Biometrics*, 32:241–252, 1976.
- [50] A. de MONTGASCON : Utiliser les normes pour mieux vendre les bois. *Forêt Entreprise*, 111:26, 1996.
- [51] C. DEAN : Calculation of wood volume and wood taper using terrestrial single image close range photogrammetry and contemporary software tools. *Silva Fennica*, 37 (3):359–380, 2003.
- [52] G. DE'ATH et K.E. FABRICUS : Classification and regression trees : a powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology*, 11:3178–3192, 2000.
- [53] P. DEMARCQ : Les futaies à chêne de tranchage. Note interne Qualité des bois, 3 pages., 1981.
- [54] G. DENG et W.FAIG : An evaluation of an off-the-shelf digital close-range photogrammetric software package. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67 (2):227–233, 2001.
- [55] J.F. DHÔTE, E. HATSCH et D. RITTIÉ : Forme de la tige, tarifs de cubage et ventilation de la production en volume chez le chêne sessile. *Annals of Forest Science*, 57:121–142, 2000.
- [56] R. DITTRICH, R. HATZINGER et W. KATZENBEISSER : Modelling the effect of subject-specific covariates in paired comparison studies with an application to university rankings. *Applied Statistics*, 47 (4):511–525, 1998.
- [57] R. DITTRICH, W. KATZENBEISSER et H. REISINGER : The analysis of rank ordered preference data based on bradley-terry type models. *OR Spektrum*, 22:117–134, 2000.

- [58] C.A.A. DUINEVELD, P. ARENTS et B.M. KING : Log-linear modelling of paired comparison data from consumer tests. *Food and Quality Preference*, 11:63–70, 2000.
- [59] P. DUPLAT : Détermination de prix unitaires moyens à l'issue d'une vente en bloc sur pied. *Document interne de la section technique de l'Office National des Forêts*, avril:1–12, 1981.
- [60] P. DUPLAT : Utilisation des modèles de croissance et de qualité du bois : les attentes des forestiers. *Revue Forestière Française*, XLVII (n°sp.):13–20, 1995.
- [61] B. ELYAKIME : Enchères de bois d'une coopérative forestière. *Revue Forestière Française*, XLVIII(1):69–75, 1996.
- [62] B. ELYAKIME, J.J. LAFFONT, P. LOISEL et Q. VUONG : First-price sealed-bid auctions with secret reservation prices. *Annales d'économie et de Statistiques*, 34:115–141, 1994.
- [63] B. ELYAKIME et P. LOISEL : Asymétrie des enchères à prix de retrait secret. *Revue Economique*, 48:835–851, 1997.
- [64] B. ELYAKIME et P. LOISEL : Un modèle d'enchères de bois sur pied. *Economie et prévision*, 132-133:93–99, 1998.
- [65] B. ELYAKIME et P. LOISEL : An optimal timber auction? *Journal of Forest Economics*, 11:107–120, 2005.
- [66] EOS : *Photomodeler 5 Pro, user manual*. Eos Systems Inc, 2003.
- [67] F. FEUILLAT, R. KELLER et F. HUBER : "grain" et qualité du chêne de tonnellerie (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* Liebl.) : Mythe ou réalité (deuxième partie). *Revue des Œnologues*, 88:30–32, 1998.
- [68] F. FEUILLAT, R. KELLER et F. HUBER : "grain" et qualité du chêne de tonnellerie (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* Liebl.) : Mythe ou réalité? (première partie). *Revue des Œnologues*, 87:11–15, 1998.
- [69] S.E. FIENBERG et K. LARNTZ : Log linear representation for paired and multiple comparisons models. *Biometrika*, 63:245–254, 1976.
- [70] J-L. FLOT : La couleur du chêne de tranchage français. Mémoire de D.E.A., ENITEF, 1988. 89p.
- [71] F. FONTAINE, J.L. DRUELLE, C. CLÉMENT, M. BURRUS et J.C. AUDRAN : Ontogeny of proventitious epicormic buds in *Quercus petraea*. i. in the 5 years following initiation. *Trees*, 13:54–62, 1998.
- [72] F. FONTAINE, E. KIEFER, C. CLÉMENT, M. BURRUS et J.L. DRUELLE : Ontogeny of the proventitious epicormic buds in *Quercus petraea*. . ii. from 6 to 40 years of the tree's life. *Trees*, 14:83–90, 1999.
- [73] F. FONTAINE, F. MOTHE et F. COLIN : Structural relationships between the epicormic formations on the trunk surface and defects induced in the wood of *Quercus petraea*. *Trees*, 18:295–306, 2004.
- [74] B. FRANCIS, R. DITTRICH, R. HATZINGER et R. PENN : Analysing partial ranks by using smoothed paired comparison methods : an investigation of value orientation in europe. *Applied Statistics*, 51 (3):319–336, 2002.
- [75] P. FRANKIN : *Modèles mathématiques de structures chez les végétaux*. Cahier ORSTOM, série Biologie, 1970.

- [76] J.C. GÉGOUT et J.C. PIERRAT : Prédiction des variables du milieu par la végétation : améliorations apportées par la méthode des forêts aléatoires. *Non publié*, page 6p., 2006.
- [77] P.O. GISLASON, J.A. BENEDIKTSSON et J.R. SVEINSSON : Random forests for land cover classification. *Pattern Recognition Letters*, 27:294–300, 2006.
- [78] A.C. GOODMAN : Andrew court and the invention of hedonic price analysis. *Journal of urban economics*, 44:291–298, 1998.
- [79] A. GOTTLIN : Der einfluss von baumdimension, standort und holzqualität auf den vers-teigerungslös von furnierreichen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 113:354–366, 1994.
- [80] K.G. GRUNERT : What's in a steak? a cross-cultural study on the quality perception of beef. *Food Quality and Preference*, 8 (3):157–174, 1997.
- [81] E. GUERRE, I. PERRIGNE et Q. VUONG : Optimal nonparametric estimation of first-price auctions. *Econometrica*, 68(3):525–574, 2000.
- [82] B. GUERRIEN : *Dictionnaire d'analyse économique : microéconomie, macroéconomie, théorie des jeux, etc.* La Découverte, Dictionnaires Repères, 3e édition augmentée édition, 2002. 570p.
- [83] A. GUÉGUEN et J.-P. NAKACHE : Méthode de discrimination basée sur la construction d'un arbre de décision binaire. *Revue de Statistiques Appliquées*, 36(1):19–38, 1988.
- [84] E. GUILLEY, M. LOUBÈRE et G. NEPVEU : Identification en forêt de chênes sessiles (*Quercus petraea* l.) présentant un angle du fil du bois intrinsèquement faible. *Canadian Journal of Forest Research*, 29:1958–1965, 1999.
- [85] N. HANLEY, S. MOURATO et R.E. WRIGHT : Choice modelling approaches : a superior alternative for environmental valuation? *Journal of Economic Surveys*, 15 (3):435–462, 2001.
- [86] E. HATSCH : *Répartition de l'aubier et acquisition de la forme de la tige chez le Chêne sessile (Quercus petraea Liebl.) : Analyse, modélisation et relation avec le développement du houppier.* Thèse de doctorat, ENGREF, 1997.
- [87] P. HENRY : Note préliminaire sur l'organisation foliaire chez le palmier à huile. In A. Davy de VIRVILLE, éditeur : *Revue générale de botanique*, volume 62, page 9. Librairie générale de l'enseignement, 1955.
- [88] T.K. HUANG, R.C. WENG et C.J. LIN : A generalized bradley-terry model : From group competition to individual skill. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 17:35p, 2005.
- [89] Sas Institute INC. : *SAS Online Doc, Version 8.* Cary,NC :SAS Institute Inc., 1999.
- [90] INSIGHTFUL : *S-Plus 7.0 Guide to statistics, Volume 2*, chapitre Classification and regression trees, pages 1–37. Insightful Corporation, 2005.
- [91] G. JANIN : Mesure de la couleur du bois. intérêt forestier et industriel. *Annales des Sciences Forestières*, 44 (4):455–472, 1987.
- [92] G. JANIN, J. KLUMPERS, F. DUCCI, A. VERACINI et E. SEVRIN : La couleur des bois feuillus précieux : Chênes, noyers, alisiers. In *Actes du Colloque "Lignasilva", 22 et 23 Octobre 1990*, pages 111–117, 1990.
- [93] G. JANIN, J.F. MAZET, J.L. FLOT et P. HOFMANN : Couleur et qualité du bois de chêne de tranchage : Chêne sessile, chêne pédonculé et chêne rouge. *Revue Forestière Française*, XLII (2):134–139, 1990.

- [94] G. JANIN, F. NINGRE, A. IMHOFF, C. HOUSSEMENT et B. GÉRARDOT : Les aspects des débits de chêne guidant le choix des professionnels du bois : résultats d'enquête. *In Communication à la Troisième Journée Professionnelle Filière Bois sur "L'aspect du bois de Chêne et le classement". Une rencontre recherche/industrie.*, pages 1–22, 1992.
- [95] M. JAOUËL et M. VIDAL : Décomposition de l'audience télévisuelle en fonction des caractéristiques des programmes : une approche économétrique sur données françaises. *Document de travail LAMETA*, page 30 p., 2003.
- [96] P. JARRET : *Chênaie atlantique, Guide des sylviculteurs*. Lavoisier, 2004.
- [97] F.R. JOHNSON et W.H. DESVOUSGES : Estimating stated preferences with rated-pair data : environmental, health and employment effects of energy programs. *Journal of environmental economics and management*, 34:79–99, 1997.
- [98] J.A. JOHNSON : Wood quality and its relationship to uses, grades and prices : past, present and future. *Non publié*, pages 1–19, 1986.
- [99] P. KLEMPERER : Auction theory : a guide to the literature. *Journal of Economic Survey*, 13 (3):227–282, 1999.
- [100] J. KLUMPERS : La couleur du bois de chêne. Mémoire de D.E.A., ENGREF, 1990.
- [101] T. KNOKE, S. STANG, N. REMLER et T. SEIFERT : Ranking the importance of quality variables for the price of high quality beech timber (*Fagus sylvatica* l.). *Annals of Forest Science*, 63:399–413, 2006.
- [102] I. KORPELA : Individual tree measurements by means of digital aerial photogrammetry. *Silva Fennica - Monographs*, No.3:93 pp., 2004.
- [103] W.F. KUHFELD : *Marketing research. Methods in SAS*. SAS Institute Inc., sas 9.1 edition édition, 2005.
- [104] J.J. LAFFONT, H. OSSARD et Q. VUONG : Econometrics of first-price auctions. *Econometrica*, 4:953–980, 1995.
- [105] J.M. LAMBILLON : Anomalies et singularités : peuvent-elles valoriser un bois ? *La Forêt Privée*, 231:49–61, 1996.
- [106] J.M. LAMBILLON : Bois figurés. ces défauts qui valent de l'or. *Forêt de France*, 493:16–17, 2006.
- [107] J.K. LANCASTER : A new approach to consumer theory. *The journal of political economy*, 74 (2):132–157, 1966.
- [108] M. LEGRAIN et Y. GARNIER : *Le petit Larousse Grand format*. Larousse, B. Eveno, 2000.
- [109] J.C. LIQUET et C. BENAVENT : L'analyse conjointe et ses applications en marketing. 45 p.
- [110] F. LONGUETAUD, L. St ANDRÉ et J.M. LEBAN : Automatic detection of annual growth units on picea abies logs using optical and x-ray techniques. *JOURNAL OF NONDESTRUCTIVE EVALUATION*, 24(1):29–43, 2005.
- [111] F. LONGUETAUD, J.M. LEBAN, F. MOTHE, E. KERRIEN et M.O. BERGER : Automatic detection of pith on ct images of spruce logs. *Computers and Electronics in agriculture*, 44(2):107–119, 2004.
- [112] M. MARTIN : Le classement des bois exploités en régie. 7p, 1984.

- [113] C. MARTINS-FILHO et O. BIN : Estimation of hedonic price functions via additive nonparametric regression. *Empirical Economics*, 30:93–114, 2005.
- [114] R.A MATHER et P.S. SAVILL : The commercial impact of oak shake in great britan. *Forestry*, 67 (2), 1994.
- [115] A. MÖBIUS, A. NEKLIODOV, A. DIAZ-SANCHEZ, K.H. HOFFMAN, A. FACHET et M. SCHREIBER : Optimization by thermal cycling. *Non publié*, 1997. 5p.
- [116] D.C. MILTIN : Price-size curves for conifers. *Forestry Comission Bulletin*, 68:5–14, 1987.
- [117] A. MÉTRO : *Dictionnaire forestier multilingue*. Conseil international de la langue française, 1975.
- [118] F. NAEGELEN : *Les mécanismes d’enchères*. Economica, 1988.
- [119] Musée national de la MARINE : La construction navale en bois du xvii^e au xix^e siècle. 4p.
- [120] G. NEPVEU : *La variabilité du bois*. ARBOLOR, 1991. 56p.
- [121] G. NEPVEU : "du plant à la planche"ou comment prévoir pour l’industrie la qualité de la ressource forestière. *Forêt Entreprise*, 138 (2):60–63, 2001.
- [122] G. NEPVEU, G. Le MOGUÉDEC, J.F. DHÔTE, E. GUILLEY, T. CONSTANT et F. MOTHE : Optimizing the chain from the plant to the plank in sessile oak (*Quercus petraea* liebl.) taking into account considerations related to sustainable management. *In Connection between Forest Resources and Wood Quality : Modelling Approaches and Simulation Software, Harrison Hot Springs, British Columbia, Canada*, volume 4. IUFRO WP 5.01.04, 2004.
- [123] M. NERLOVE : Hedonic price functions and the measurement of preferences : the case of swedish wine consumers. *European economic review*, 39:1697–1716, 1995.
- [124] T. OKUDA, M. SUZUKI, S. NUMATA, K. YOSHIDA, S. NISHIMURA, N. ADACHI, K. NIYAMA, N. MANOKARAN et M. HASHIM : Estimation of aboveground biomass in logged and primary lowland rainforests using 3-d photogrammetric analysis. *Forest Ecology and Management*, 203:63–75, 2004.
- [125] ONF : La mobilisation des bois en forêt publique en 2004 et les prix obtenus aux grandes ventes de l’automne 2004. *Revue Forestière Française*, LVII (1):68–80, 2005.
- [126] I. PERRIGNE et Q. VUONG : Structural econometrics of first-price auctions : a survey of methods. *Canadian Journal of Agricultural Economis*, 47:203–223, 1999.
- [127] J. PHATTARALERPHONG et H. SINOQUET : A method for 3d reconstruction of tree crown volume from photographs : assessment with 3d-digitized plants. *Tree Physiology*, 25:1229–1242, 2005.
- [128] L. PIBOULEAU, S. DOMENECH, A. DAVIN et C. AZZAO-PANTEL : Expérimentations numériques sur les variantes et paramètres de la méthode du recuit simulé. *Chemical Engineering Journal*, 105:117–130, 2005.
- [129] O. PICARD : De quoi les normes sont-elles faites ? *Forêt Entreprise*, 111:31–39, 1996.
- [130] O. PICARD : Les normes des bois ronds et sciages. quels enjeux pour les sylviculteurs ? *Forêt entreprise*, 111:27–30, 1996.
- [131] P. PICARD : *Elements de microéconomie*. Montchrestien, 1990.
- [132] J. PONCELET : *Estimation et commerce des bois*. Imprimerie Jean Jacques, 1992.

- [133] M. PRADEILLE : Les chênes en France : volume, qualité et usage. *Forêt entreprise*, 144:19–22, 2002.
- [134] J.G. RILEY et W.F. SAMUELSON : Optimal auctions. *The American Economic Review*, 71(3):381–392, 1981.
- [135] S. ROSEN : Hedonic prices and implicit markets : product differentiation in pure competition. *The journal of political economy*, 82:34–55, 1974.
- [136] B. RÉRAT : Le marché des bois feuillus. *Forêt Entreprise*, 114:52–56, 1997.
- [137] B. RÉRAT : Un bilan morose pour les ventes de bois de l'automne 2002. *Forêts de France*, 460:37–40, 2003.
- [138] B. RÉRAT : Le bois de chauffage, un réel débouché pour les forestiers. *Forêts de France*, 493:18–20, 2006.
- [139] B. RÉRAT : Cours des bois sur pied. *Forêts de France*, 493:8, 2006.
- [140] M. RYAN : Using conjoint analysis to take into account of patient preferences and go beyond health outcomes : an application to in vitro fertilisation. *Social Science and Medicine*, 48:535–546, 1999.
- [141] M. RYAN et S. FARRAR : Using conjoint analysis to elicit preferences for health care. *BMJ*, 320:1530–1533, 2000.
- [142] L. SAINT-ANDRÉ : Excentricité et forme des sections transversales de bois. définitions, méthodologie, exemples sur l'épicéa commun (*Picea abies* karst.). *Annales des Sciences Forestières*, 55:899–909, 1998.
- [143] G. SAPORTA : *Probabilités. Analyse des données et statistiques*. Technip, 1990.
- [144] M. SIMIONI : Méthodes semiparamétriques en économétrie appliquée : une application aux prix hédoniques. In *Les journées de Méthodologie Statistique*, page 12 p., 2005.
- [145] F. De SINGLY : *L'enquête et ses méthodes : le questionnaire*. Armand Colin, 2005.
- [146] H. SINOQUET et P. RIVET : Measurement and visualization of the architecture of an adult tree based on a three-dimensional digitising device. *Trees*, 11:265–270, 1997.
- [147] G. SLUTZKI et O. VOLIJ : Ranking participants in generalized tournaments. *International Journal of Game Theory*, 33:255–270, 2005.
- [148] G. SONOHAT, H. SINOQUET, V. KULANDAIVELU, D. COMBES et F. LESCOURET : Three-dimensional reconstruction of partially 3d-digitized peach tree canopies. *Tree Physiology*, 26:331–351, 2006.
- [149] G. SOULÈRE : L'évolution des prix des bois sur pied (1955-1995).i) première partie : les principaux produits. *Revue Forestière Française*, XLIX (5):451–468, 1997.
- [150] G. SOULÈRE : L'évolution des prix des bois sur pied (1955-1995).ii) deuxième partie : pour un indice global. *Revue Forestière Française*, XLIX (6):579–589, 1997.
- [151] H. SPIECKER : *Zür Steuerung des Dickenwachstums und der Astereinigung von Trauben und Stieleichen (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. und *Quercus robur* L.)*. Schriften Landesforst, 1991.
- [152] B. ST-ONGE, J. JUMELET, M. COBELLO et C. VEGA : Measuring individual tree height using a combination of stereophotogrammetry and lidar. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(10):2122–2130, 2004.

-
- [153] F. VASSELIN : *Prix hédonistes et marchés implicites : le cas des produits d'information*, séminaire d'études et de statistiques appliquées à la modélisation économique xvèmes journées édition, 2005.
- [154] P. VAUTHERIN : Le cubage des bois ronds feuillus, vers des taux moyens d'écorce? *CTBA info*, 58:10–13, 1996.
- [155] J. VENET et R. KELLER : *Identification et classement des bois français*. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts, 1986.
- [156] A. WAGNER : Marshall's principle of economy. *Quarterly Journal of Economy*, 5:319–338, 1981.
- [157] H. WERNDÖRFER, T. CONSTANT, F. MOTHE, M.A. BADIE, G. NEPVEU et U. SEELING : Detailed analysis of the geometric relationship between external traits and the shape of red heartwood in beech trees. *Trees*, 19:482–491, 2005.
- [158] G. ZAGALIKIS, A. D. CAMERON et D.R. MILLER : The application of digital photogrammetry and image analysis techniques to derive tree and stand characteristics. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(5):1224–1237, 2005.
- [159] M. ZANETTI, F. MOTHE, A. MERLIN, G. JANIN, G. Le MOGUÉDEC et J. GONCALVEZ : Conséquences du vieillissement du bois de chêne sessile (*Quercus petraea* (matt.) Liebl.) sur sa perception esthétique par les utilisateurs. *Annals of Forest Science*, 60:61–68, 2003.

Annexes

Annexe A : Normes de classement des grumes de Chêne de 1968 à nos jours

A.1 Norme CEE 1968

Figures (A.1) et (A.2).

A.2 Norme ONF Moselle et Luxembourg 1986

Figure (A.3).

A.3 Norme Moselle 1992

Figure (A.4).

A.4 Norme CTBA 1992

Figure (A.5).

A.5 Norme Européenne 1997

Figure (A.6).

CLASSEMENT PAR DECOUPES DES GRUMES DE CHENES

QUALITE DES TRONCES	A	AB	B	BC	C	S (Palette)
Transformation primaire	Tranchage Déroutage excentrique	Tranchage Déroutage excentrique et fendage	Sciage fendage	Sciage	Sciage	Palettes aucune restriction
Spécifications	Placages 0,6 à 0,7 mm	Placages 0,6 à 2 mm	Plots EB/BM avivés 1 ^{er} /bis et 2 ^e choix	Plots BM avivés 1 ^{er} bis - 2 ^e aubieux et 2 ^e choix	Charpente/pièces croisement-fonds wagon-linteaux-P	
Débouchés	Meubles Panneaux/portes	Meubles Panneaux/portes + merrains	Meubles/menusis, industr./artisanale	Parquets Meubles/menusis, industr./artisanale	Parquets Construction SNCB Meubles rustiques et extérieurs 30/+95 cm	
Diamètre/cm milieu	48 cm / 150 cm	38 cm / 120 cm	38 cm / 120 cm	35 / 1110		
Longueur utile	2 m 20 2 m 60 / 3 m 50	2 m 20 2 m 60 / 3 m 50	2 m 10 / 4 m 50	2 m 50 / +	2 m 50 / +	
Couleur	claire	+/- claire /	Indifférente	Indifférente	Indifférente	
Grain-texture	Fin	Moyen	Indifférent	Indifférent	Indifférent	
Rectitude	Très bonne	Bonne	Courbure légère	Courbure légère	Courbure légère	
Cœur centré	Centré	Centré si possible	Indifférent	Indifférent	Indifférent	

FIG. A.1: Norme de classement des grumes de Chêne CEE 1968, partie 1.

CLASSEMENT PAR DECOUPES DES GRUMES DE CHENES INDIGENES						
DEFAUT DES TRONCES	A	AB	B	BC	C	S
Gélvures	Néant	1 admise	1 ou 2 admises si bien situées	1 ou 2 admises si bien situées	1 ou 2 admises si bien situées	
Roulures	Néant ou à purger	Centrale (cœur)	Centrale	Centrale	Centrale	
Fibre torse	Légère (3 cm/ml)	Légère	Légère	Légère	Tolérée	
Lunure	Exclue	Exclue	Exclue centrale	Exclue sauf centrale	Admise sauf bois ss rails	
Pourriture	Blanche purgée	Blanche purgée	Purgée	Rouge tolérée	Rouge admise	
Frottures et traces de grippettes	Admise si dans l'aubier	Admise si dans l'aubier	Admise si dans l'aubier	Admise si dans l'aubier	Admise	
Roses et picots	Exclus	Exclus	Admis	Admis	Admis	
Noeuds sains diamètre inférieur à 2 cm	1 admis	2 admis	Plusieurs admis si bien situés	Plusieurs admis si bien situés	Admis	
Noeuds vicieux	Exclus	Exclus	Exclus	Admis	Admis	
Gourmands/brognes	Exclus	Admis si vivants	Tolérés	Admis	Admis	
Gros aubier	A punir	A punir	A punir	Admis	Admis Sauf SNCB (aubier sain) Admis	

FIG. A.2: Norme de classement des grumes de Chêne CEE 1968, partie 2.

Qualité	A+		A-		B+		B-		C+		C-		D
	Tranchage de qualité supérieure		Tranchage et fendage		Sciage de 1 ^{re} qualité		Sciage de 2 ^e qualité		Sciage de 2 ^e qualité		Sciage de 2 ^e qualité		Sciage industriel
Produits	Placages	Placages et merisains	Plots 1 ^{er} choix	Plots 2 ^e choix, Avivés 1 ^{er} et 2 ^e choix	Charpente	Avivés 3 ^e choix	Avivés 4 ^e choix						
Utilisations	Ebenisterie	Ebenisterie et tonnelerie	Ebenisterie	Menuiserie	Construction								Bois sous rail, fonds de wagon, etc., et actuellement bois reconstitué pour la menuiserie
Circonférence minimum à 1,50 m	160 cm		150 cm	120 cm	120 cm	80 cm	80 cm						80 cm
Longueur minimum	3,00 m		3,00 m		4,50 m	3,00 m	3,00 m (si traverses : 3,20 m)						
Courbure	≤ 2 cm/m	dans 1 plan unique	≤ 3 cm/m	dans 1 plan unique	≤ 2 cm/m	≤ 10 cm/m	≤ 20 cm/m						
Fibre torse	Tolérée si légère	(≤ 3 cm/m)	Tolérée si légère	Acceptée	Acceptée	Acceptée	Acceptée						Acceptée
Frottements et blessures	Tolérées si récentes		Tolérées	Acceptées	Acceptées	Acceptées	Acceptées						Acceptées
Blessures dues aux crampons	Exclues		Exclues	Tolérées	Tolérées	Acceptées	Acceptées						Acceptées
Gélivures	Exclues		Exclues	Tolérées si peu nombreuses et courtes	Exclues	Tolérées	Acceptées sauf traverses						Acceptées
Coups de foudre	Exclus		Exclus	Acceptés	Exclus	Acceptés	Acceptés						Acceptés
Pied en forme de bouteille (= risque de roulture)	Exclu		Exclu	Exclu	Exclu	Exclu	Toléré						Toléré
Gros nœuds sains (Ø ≥ 3 cm) et branches	Exclus		Tolérés si espaces de 2,20 m et sur 1 plan		Tolérés si espaces de 50 cm		Acceptés						Acceptés
Gros nœuds noirs (Ø ≥ 3 cm) et chicots	Exclus		Exclus		Tolérés si espaces d'1 m		Acceptés sauf en traverses						Acceptés
Petits nœuds sains (Ø < 3 cm), gourmands et brogues	Exclus	Tolérés sur une 1/2 face	Tolérés si espaces d'1 m		Acceptés		Acceptés						Acceptés
Roses et picots	Tolérance d'1 défaut par billon ou de 2 ou 3 défauts à condition qu'ils soient situés dans le même quartier		Tolérés si peu nombreux (1/m)	Acceptés	Acceptés		Acceptés						Acceptés

FIG. A.3: Norme de classement des grumes de Chêne ONF Moselle et Luxembourg, 1986.

CLASSEMENT CHENE															
	CLASSEMENT CHENE					CLASSEMENT CHENE									
	A	B	C	D	FR	A	B	C	D	FR					
1) Sauf clauses contractuelles différentes															
2) Découpes réelles 4 m cl 3 et 4 3 m cl 5 et +															
3) Diamètre fin bout C : cl 2b - 20 cm cl 3 - 25 cm cl 4 et + - 30 cm															
4) Une singularité admise par bille de 2 mètres, si c'est le seul défaut, par ailleurs alignés et proches et. Admis dans la limite de 80 mm en diamètres cumulés par bille de 2,00 m. (Total de tous les défauts admis sous caractéristique (5).) Un picot est compté pour 5 mm de diamètre.															
5) Admis dans la limite de 100 mm en diamètres cumulés par bille de 2,00 m, noeuuds vicieux inclus. Pour les classes 5 et +, cette limite est portée à 150 mm.															
6) Admis seulement à partir de la classe 4 dans la limite de 50 mm en diamètres cumulés par bille de 2,00 mètres.															
7) Un défaut par mètre et par classe de diamètres. Exemples : 4/m en classe 4 6/m en classe 6															
8) Admis seulement à partir de la classe 4. Doivent être comptabilisés dans le total (8).															
9) Admis uniquement sur tranchage.															
10) Diamètre sous la lunure.															
11) Mesures prises par bilon de 3 m, premier mètre exclus.															
12) Rétrait physiologique au centre de la pièce.															
13) Admis si l'utilisation potentielle n'est pas modifiée.															
14) La présence d'un défaut non admis dans la qualité considérée est acceptée à condition :															
• de faire une purge fictive suffisante, qu'il reste au moins 2 m de part et d'autre du défaut.															
15) Les billes de très faible diamètre doivent être parallèlement rectifiées quelle que soit leur qualité.															
Dimensions minimales (1)															
Longueur Découpe réelle	3	3	3	(2)											
Longueur Découpe fictive	2	2	2	2											
Diamètre fin bout sous aubier sur écorce	38	28	(3)	30											
45	35														
Singularités et Altérations															
Caractéristiques de structure (1)															
• Accroissements annuels	x	x	x	x											
• Couleur homogène claire	x	x	x	x											
homogène très foncée	x	x	x	x											
hétérogène	x	x	x	x											
Singularités de structure (1) et (15)															
Noeuuds découverts															
• Sains	x (4)	x (5)	x (6)	x (6)											
diamètre < 15 mm		x (5)	x (6)	x (6)											
diamètre 16 à 40 mm			x (6)	x (6)											
diamètre > 40 mm				x (6)											
• Vicieux ou pourris		x (4)	x (7)	x (7)											
diamètre < 15 mm			x (7)	x (7)											
diamètre 16 à 40 mm			x (7)	x (7)											
diamètre > 40 mm				x (7)											
Noeuuds recouverts															
Roses et broussins	x (4)	x (5)	x (8)	x											
diamètre < 40 mm		x (5)	3/m (9)	x											
diamètre > 40 mm			3/m (9)	x											
Picots	x (4)	1/m/cat de diam. (5)	3/m/cat de diam. (5)	x											
Fi tors (premier mètre exclus)	x	x	x	x											
< 5 cm/m	x (10)	x	x	x											
5 à 8 cm/m	x (10)			x											
> 8 cm/m				x											
Coeur excentré > 10 % du diam.		x	x	x											
Entre écorce	x (11)	x (11)	x	x											
Lunure															

FIG. A.4: Norme de classement des grumes de Chêne ONF Moselle , 1992.

Dimensions minimales sur écorce		A	B	C	D	PR
Longueur (m)	2,5 (1)	3 2,5 (2)	2	2	2	
Diamètre fin bout (cm)	45	35 (3) 40 (4)	30 (3) 35 (4)	25 (3) 30 (4)		
Singularités et altérations						
Caractéristiques de structure						
Aubier distinct (fin bout)						
- Mince < 30 mm						
- Normal 30 à 40 mm						
- Large > 40 mm						
Largeur d'accroissement						
- Fine ≤ 4 mm						
- Large > 4 mm						
Couleur						
- Homogène clair (5)						
- Homogène						
- Hétérogène						
Singularités de structure						
Neud						
- Neud découvert						
Neud sain						
• Petit neud < 15 mm						
• Neud moyen 16 à 40 mm						
• Gros neud > 40 mm						
Neuds vicieux ou pourris						
• Petit neud < 15 mm						
• Neud moyen 16 à 40 mm						
• Gros neud > 40 mm						
- Neud recouvert						
- Picot						
- Petite rose Ø mesurable ≤ 4 cm						
- Cocard ou autre rose Ø > 4 cm						
- Broussin						
- Fil tors						
• Faible ≤ 5 cm/m						
• Moyen 5,1 à 8 cm/m						
• Fort > 8 cm/m						
- Cœur excentré > 10 % du Ø						
- Entre écorce						
- Lunure						
						R/L

Singularités de la forme du tronc		A	B	C	D	PR
Courbure (en % du Ø fin bout)						
• Faible ≤ 3 %						
• Forte 3,1 à 6 %						
• Très forte > 6 %						
Bosse ou accroissance						
- Graisse						
Méplat > 10 %						
Fentes						
- Fentes en bouts						
• Fente de cœur ≤ 50 % de Ø						
• Fente de cœur > 50 % de Ø						
• Roulure						
• Fentes de cœur multiples						
- Fente d'abattage						
- Fente latérale						
• Gélivure						
• Coup de londre (contractuel)						
- Fente de retrait - gerce (en bouts)						
Altérations dues à l'action des champignons						
Pourriture						
• Cœur rouge						
• Aubier pourri						
Dégradations dues aux insectes						
Trous de vers						
- Petits trous (piqûres)						
- Gros trous						
Autres dégradations						
Surface carbonisée						
Blessure cicatrisée						
Gale du chêne						
Côté sec - arbre sec						
Corps étrangers						

(2) Pour la bille de pied.
 (3) Aubier ≤ 40 mm.
 (4) Aubier > 40 mm.
 (5) La nuance claire est à définir contractuellement.
 (6) Une singularité acceptée par longueur minimale de la classe de la bille s'il y a absence de toute autre singularité.
 (7) 3 noeuds de 15 mm de diamètre ou 1 neud de 40 mm par longueur minimale de la bille.
 (8) Sur un même diamètre.
 (9) Roulure partielle (< 1/2 circonférence) située dans le tiers central du rayon de la plus grande extrémité de la bille et n'apparaissant pas à la plus faible extrémité. Acceptation avec refaction.
 (10) Roulure partielle ou totale qui n'apparaît pas à la plus faible extrémité

FIG. A.5: Norme de classement des grumes de Chêne CTBA , 1992.

Règles de classement du chêne
Projet de norme européenne prEN 1316-1

Caractéristiques	Classe			
	Q-A	Q-B	Q-C	Q-D (5)
Dimensions minimales Longueur minimale (m) (1) Diamètre médian minimal sous écorce (cm) (1)	2,5 (2) 40 (2)	3 (2) 35 (2)	2 (2) 30 (2)	sans limite (2) sans limite (2)
Aubier (cm) (sur le rayon)	≤ 3	≤ 4	admis	admis
Taux de croissance (mm)	≤ 4	admis	admis	admis
Couleur	homogène (2)	hétérogénéité admise (2)	hétérogénéité admise	hétérogénéité admise
Nœuds sains (découverts) (mm/m) de bille	≤ 15/2,5 (3)	(4)	admis	admis
Nœuds pourris (découverts) (mm/m) de bille	exclu		≤ 50 mm/2 m	admis
Singularités sur écorce (picots, roses, broussins) (nombre/m) de bille	1 picot/2,5 (3)		admis	admis
Fil tors (cm/m) de bille	≤ 5	≤ 9	admis	admis
Moelle excentrée (%)	< 10	< 20	admise	admise
Lunure	exclue	exclue	exclue	admise
Courbure simple (cm/m) de bille	≤ 2	≤ 4	≤ 10	admise
Méplat (%)	< 10	admis	admis	admis
Fentes de cœur simples	admises dans le 1/3 central du diamètre	non traversantes	admises	admises
Cœur étoile	exclu	admis dans le 1/5 central du diamètre	admis dans les 2/3 centraux du diamètre	admis
Gelivures	exclues	exclues	exclues (2)	admises
Roulures	exclues	admises dans le 1/5 central du diamètre au gros bout seulement	admises au gros bout seulement	admises
Fentes et gerces de retrait	exclues	admises	admises	admises
Trous de vers	exclus	exclus	admis dans l'aubier	admis
Pourritures molles	exclues	exclues	exclues	admises
Taches et veines de cœur	exclues	admises sur les 15 %	admises	admises
Cœur brun	exclu	exclu	admis dans le 1/3 central du diamètre	admis

Notes :

(1) La longueur et le diamètre doivent être mesurés selon la méthode définie dans le prEN 1309.

(2) Sauf clauses contractuelles.

(3) S'il y a absence de tout autre caractéristique déclassante.

(4) Somme maximale : 100 mm de nœuds pour 3 m (y compris les autres caractéristiques, etc.), étant entendu qu'un nœud sain découvert ne peut être > 60 mm et que la somme des nœuds pourris doit être ≤ 20 mm. Un picot est considéré comme un nœud de 5 mm de diamètre.

(5) Pour l'ensemble des caractéristiques, en classe Q-D, ≥ 40 % du volume du bois doit être utilisable.

FIG. A.6: Norme de classement des grumes de Chêne européenne , 1997.

Annexe B : Détails de la vente de Bad Mergentheim

B.1 Histogrammes décrivant les lots de Chêne mis en vente

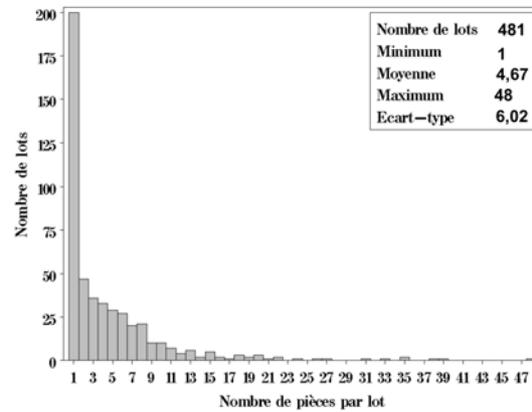


FIG. B.1: Histogramme du nombre de pièces par lot mis en vente à la vente allemande de Bad Mergentheim

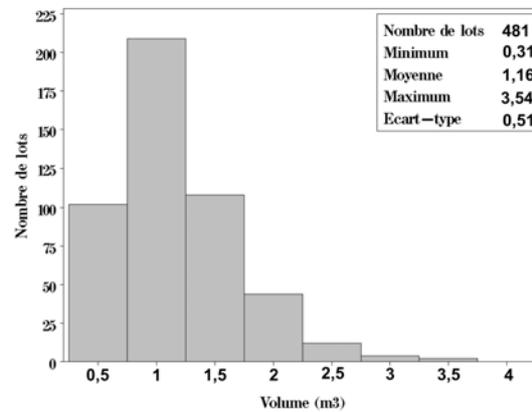


FIG. B.2: Histogramme des volumes moyens des pièces par lot mis en vente à la vente allemande de Bad Mergentheim

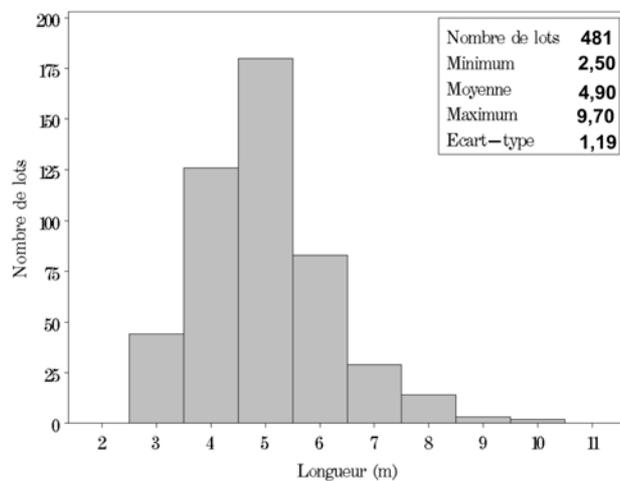


FIG. B.3: Histogramme des longueurs moyennes des pièces par lot mis en vente à la vente allemande de Bad Mergentheim

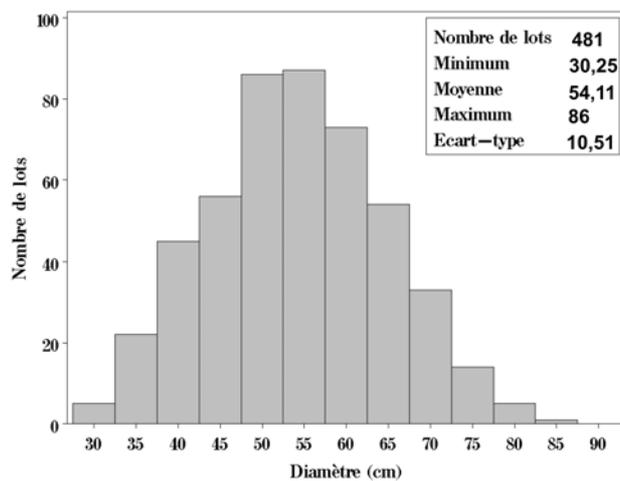


FIG. B.4: Histogramme des diamètres moyens des pièces par lot mis en vente à la vente allemande de Bad Mergentheim

B.2 Répartitions des grumes individuelles de Chêne sur les quatre places de vente en fonction de leur diamètre et de leur qualité

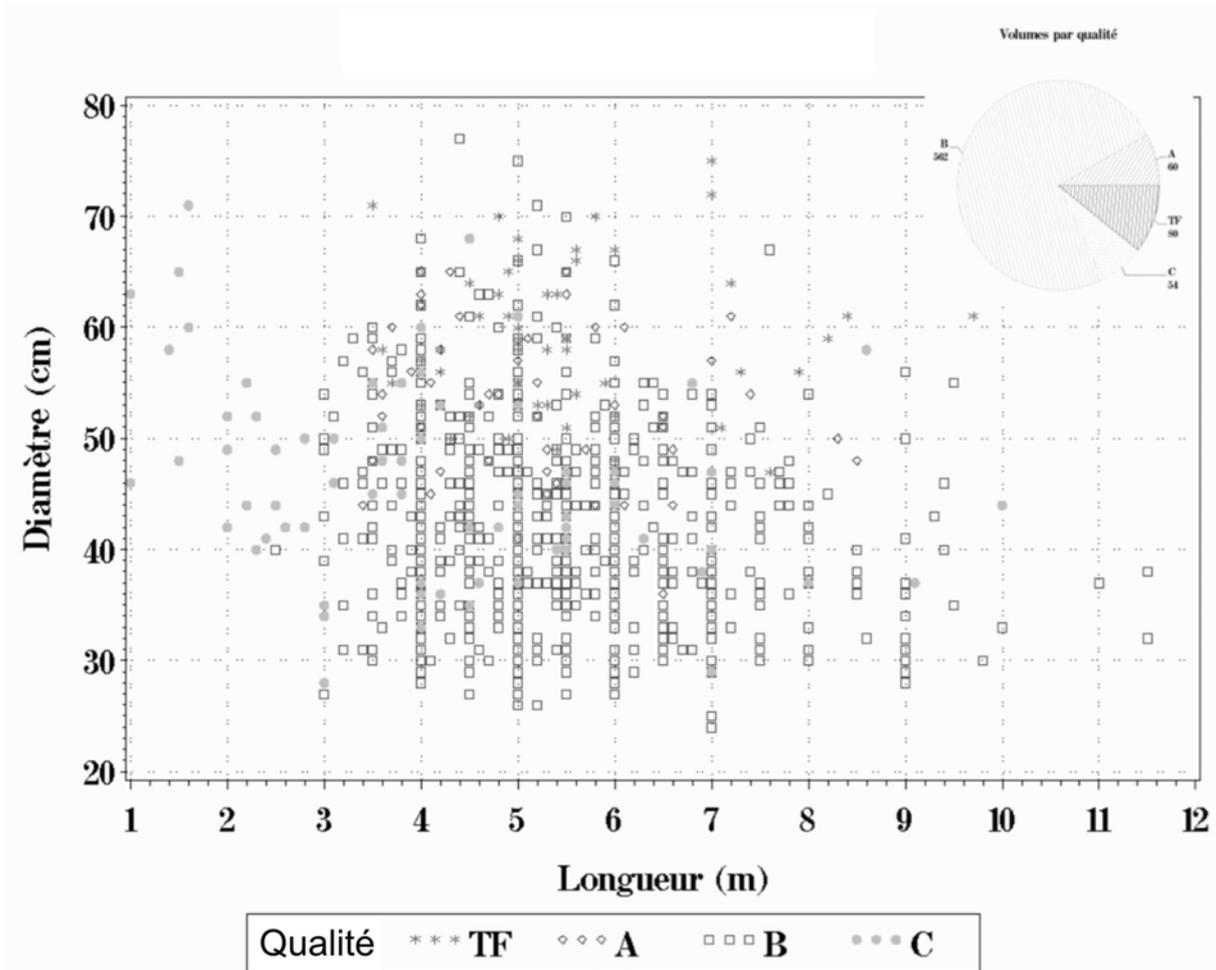


FIG. B.5: Répartitions des grumes sur la place de vente "Beckstein"

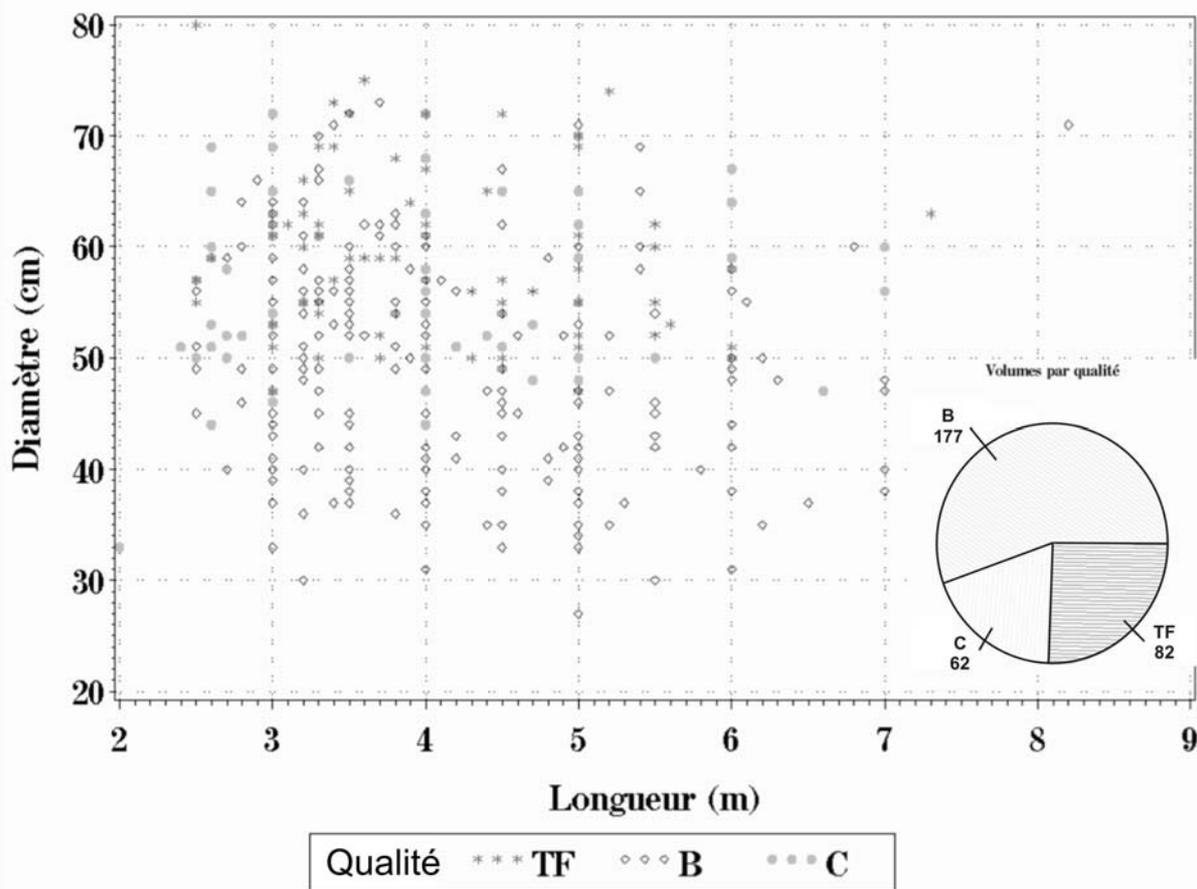


FIG. B.6: Répartitions des grumes sur la place de vente "Neuses"

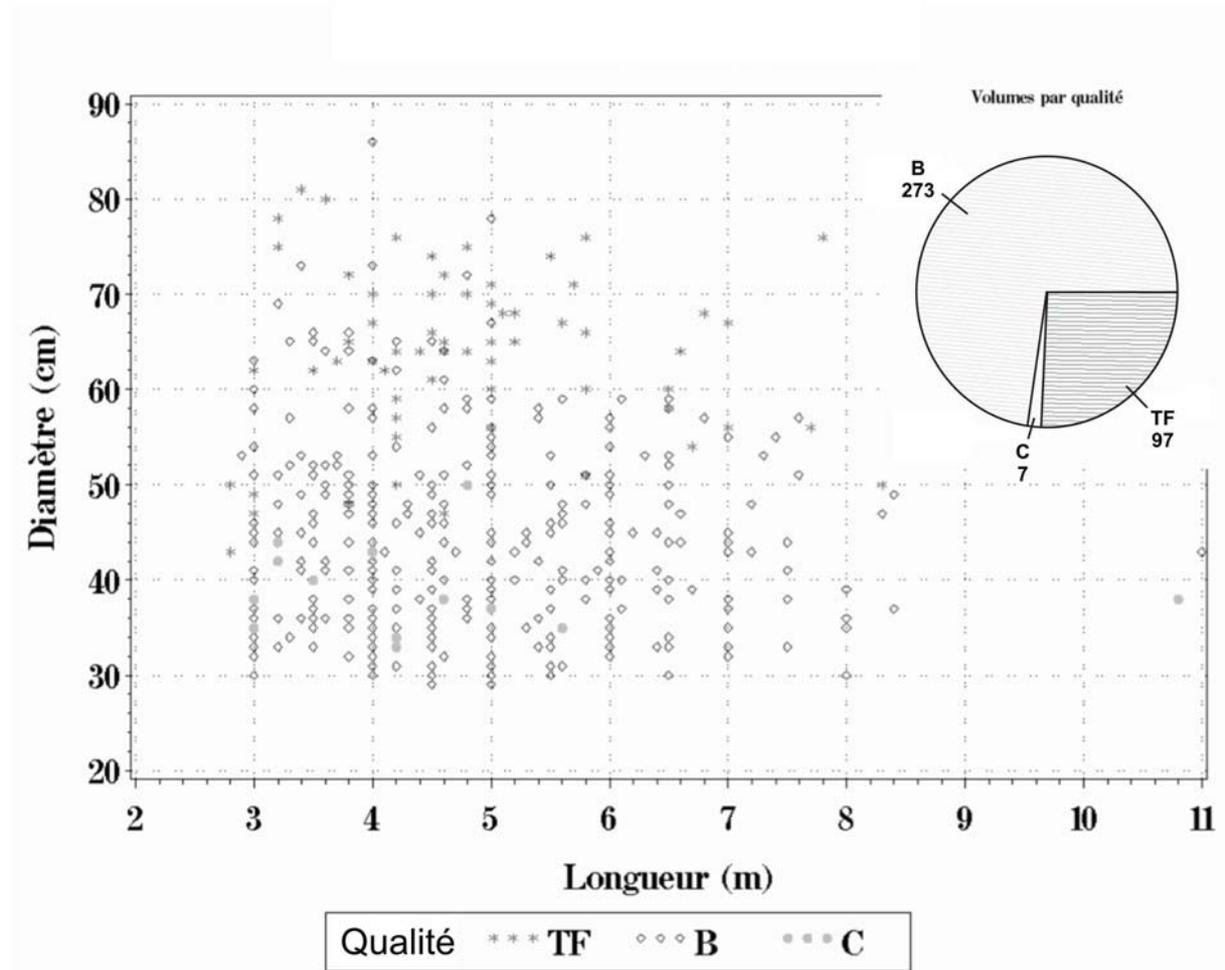


FIG. B.7: Répartitions des grumes sur la place de vente "Roggenberg"

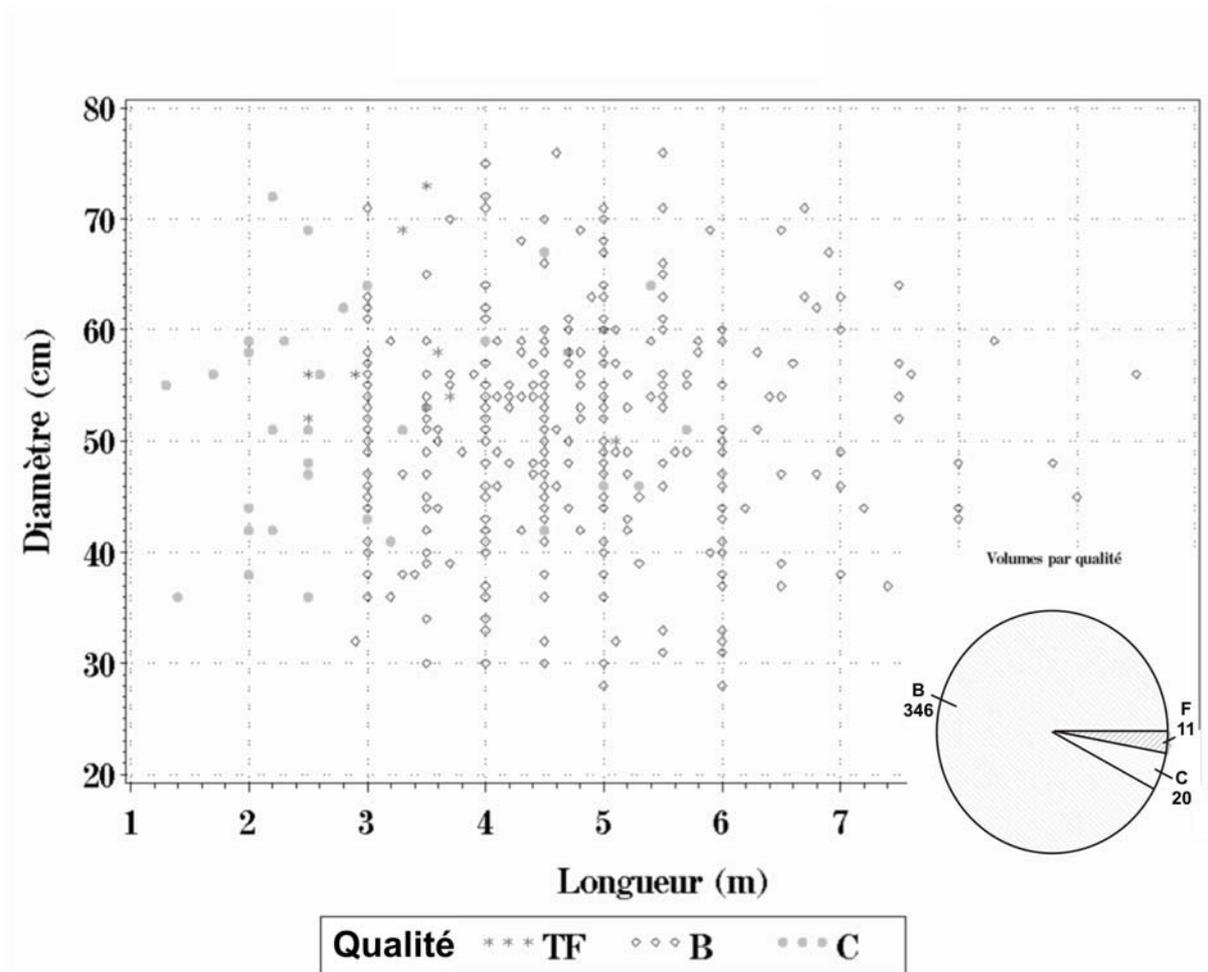


FIG. B.8: Répartitions des grumes sur la place de vente "T1"

B.3 Répartitions des soumissions en fonction des acheteurs et des places de vente

Acheteur	Beckstein	Neuses	Roggenberg	T1	Total
Commerce					
C1	25	10	0	0	35
C3	0	0	0	106	106
C12	22	8	35	0	65
C14	34	45	36	27	142
C17	0	0	0	0	0
Bois pour tonnellerie					
C2	48	0	0	0	48
C24	86	63	57	36	242
C25	59	51	42	47	199
Scierie					
C4	22	15	16	19	72
C9	3	2	2	4	11
C16	0	41	48	0	89
C19	0	0	6	0	6
C20	101	20	27	93	241
C21	0	1	0	0	1
Trancheur					
C5	20	18	23	6	67
C6	19	12	28	6	65
C7	62	42	49	42	195
C8	39	36	25	22	122
C10	17	20	19	3	59
Scierie+Trancheur					
C11	0	40	33	25	98
Scierie+Commerce					
C13	0	0	0	0	0
C22	29	6	11	16	62
C23	18	3	4	11	36
Artisan					
C15 (Meubles)	5	6	0	3	14
C18 (Orgues)	59	44	45	25	173
Invendus					
	3	1	2	1	7

TAB. B.1: Nombre de soumissions de chaque acheteur en fonction de la place de vente

Acheteur	Soumissions rempor- tées/soumissions émises	Soumission mini- male (€/m ³)	Soumission maxi- male (€/m ³)	Moyenne (€/m ³)
Commerce				
C1	6/35	45	221	95
C3	43/106	57	536	218
C12	10/65	64	278	144
C14	11/142	162	632	372
Bois pour tonnellerie				
C2	11/48	85	536	226
C24	90/242	130	526	370
C25	16/199	120	430	331
Scierie				
C4	12/72	46	136	93
C9	2/11	327	435	389
C16	3/89	59	449	223
C20	40/241	42	426	155
Trancheur				
C5	43/67	438	1331	735
C6	11/65	256	984	556
C7	29/195	129	1 063	389
C8	21/122	256	1 172	454
C10	11/59	288	1 146	544
Scierie+Trancheur				
C11	6/98	98	448	168
Scierie+Commerce				
C22	22/56	218	489	402
C23	0/36	58	182	140
Artisan				
C15 (Meubles)	7/14	110	150	120
C18 (Orgues)	25/173	56	463	332

TAB. B.2: Description des soumissions par acheteur : soumission minimale, soumission maximale et moyenne des soumissions en €/m³

Annexe C : Détails des modèles utilisées

C.1 Modèle de prix des bois des ventes bord de route

Voir modèle (E 9) page 55.

Paramètre	Estimation	Ecart type	Pr> t
b1	-118,63	34,03	<0.001
a2	8,30	0,27	<0.001
b2	7,23	0,74	<0.001
c2	2,17	0,10	<0.001
c3	-227,00	51,01	<0.001
a5	238,86	15,26	<0.001
b5	223,89	11,81	<0.001
c5	50,69	8,15	<0.001

TAB. C.1: Estimation des paramètres du modèle (E 9).

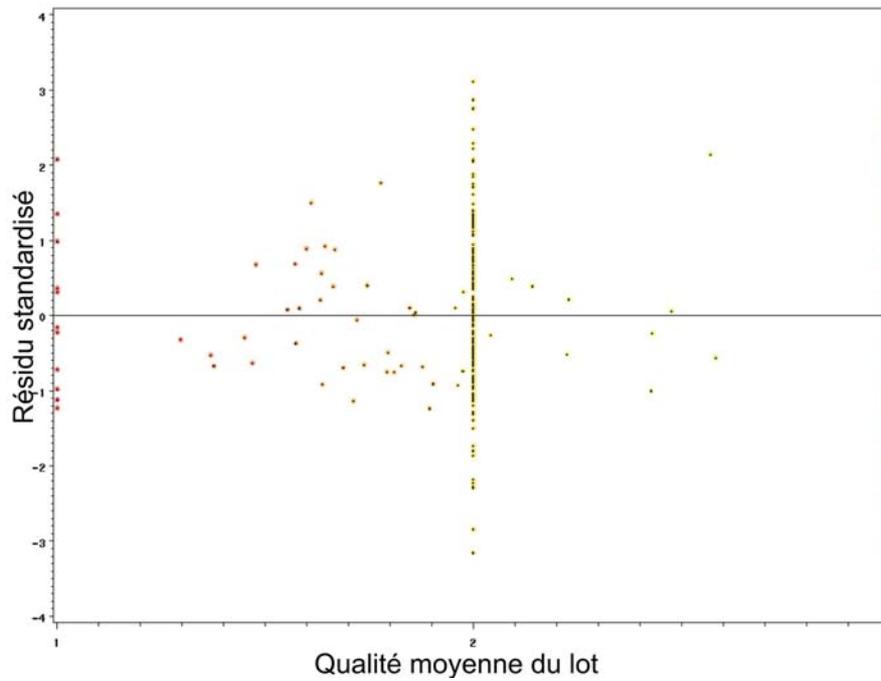


FIG. C.1: Résidus du modèle (E 9) en fonction de la qualité moyenne du lot.

C.2 Modèles des prix des caractéristiques

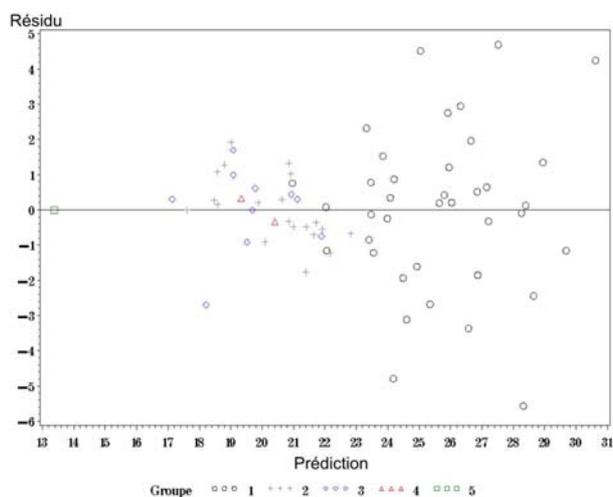


FIG. C.2: Résidus du modèle E 22 appliqué aux soumissions maximales.

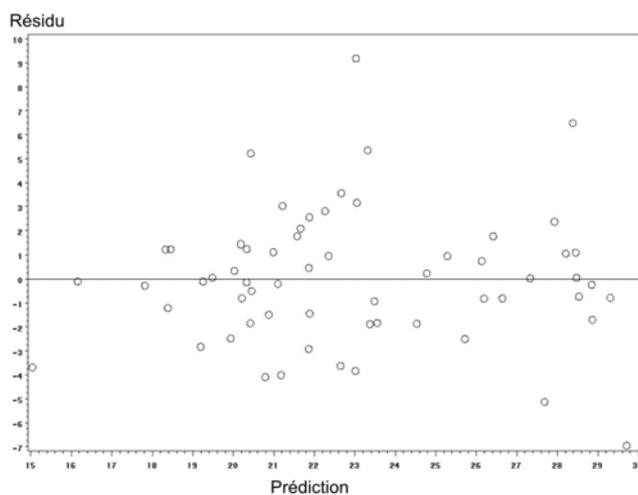


FIG. C.3: Résidus du modèle E 22 appliqué aux soumissions maximales du groupe des trancheurs.

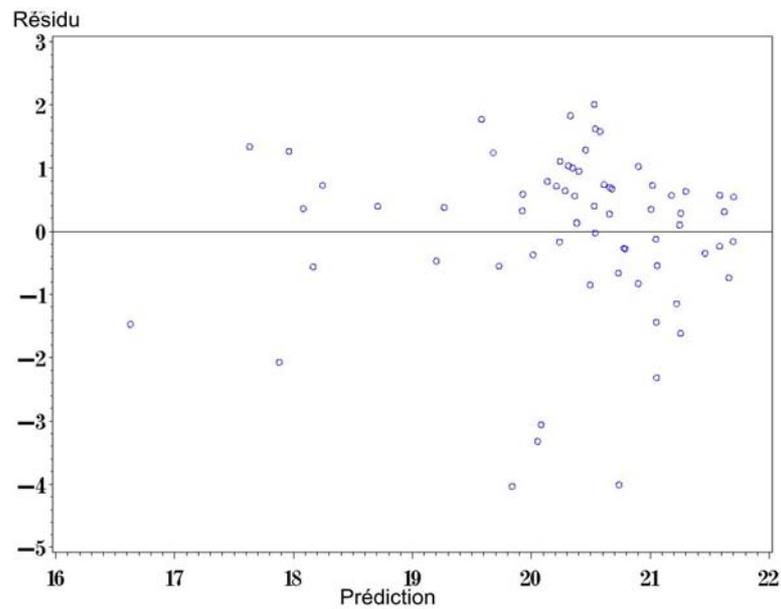


FIG. C.4: Résidus du modèle E 22 appliqué aux soumissions maximales du groupe des merrandiers.

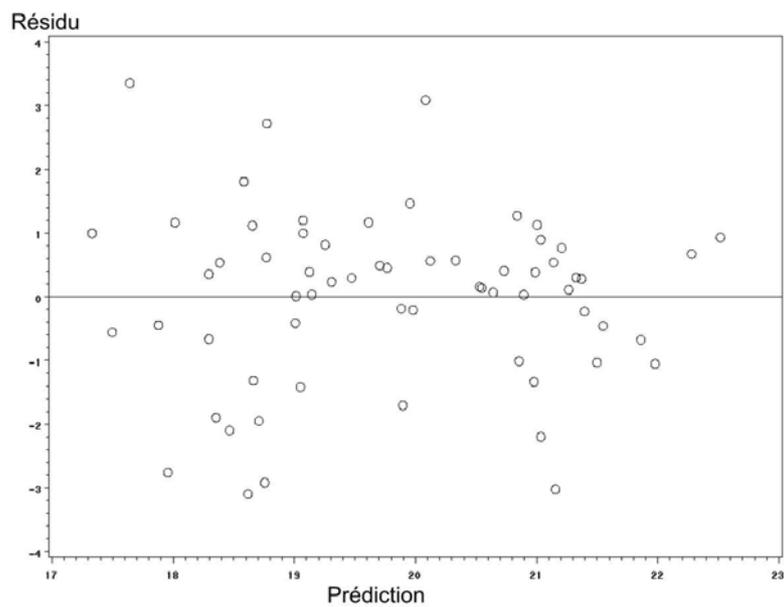


FIG. C.5: Résidus du modèle E 22 appliqué aux soumissions maximales du groupe des scieries de haute valorisation.

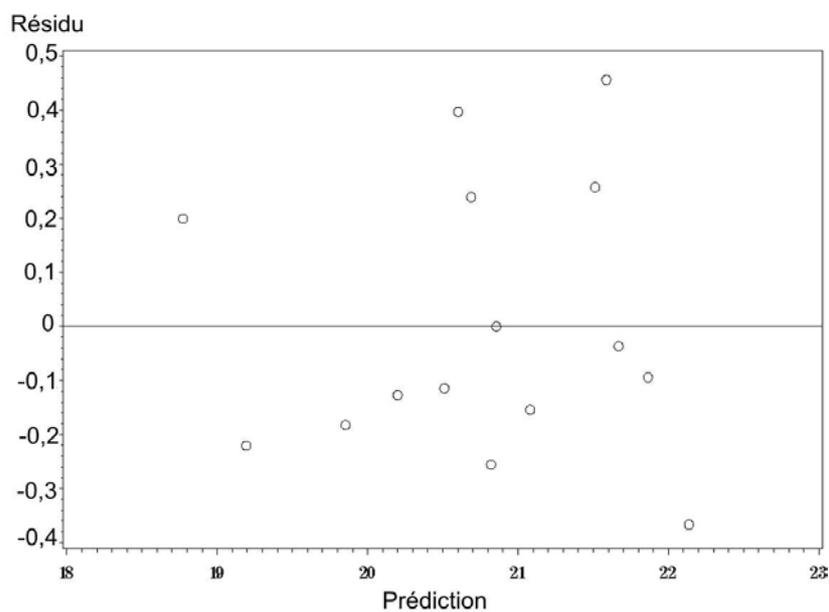


FIG. C.6: Résidus du modèle E 22 appliqués aux soumissions maximales du groupe des scieries de de qualité spécialisées.

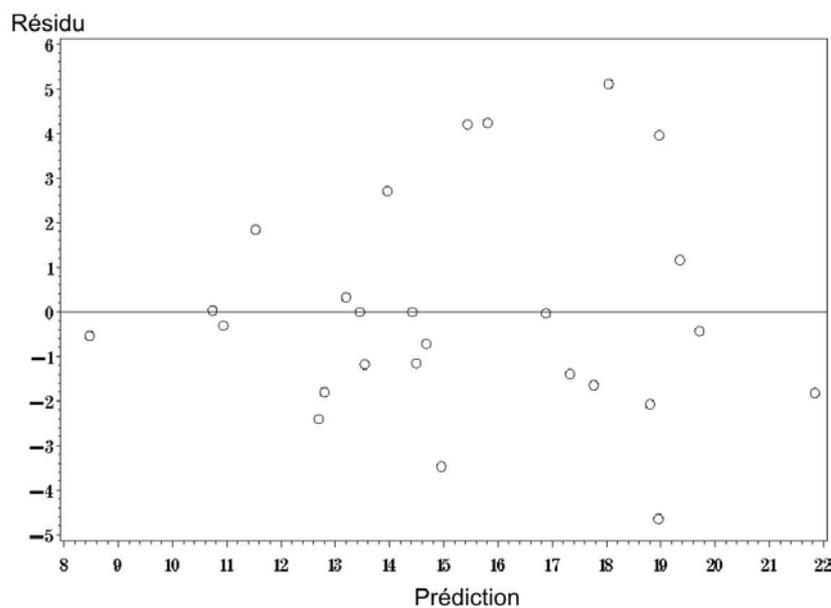


FIG. C.7: Résidus du modèle E 22 appliqué aux soumissions maximales du groupe des scieries de de qualité moyenne.

Annexe D : Mesures des différentes singularités

D.1 Histogramme des variables mesurées

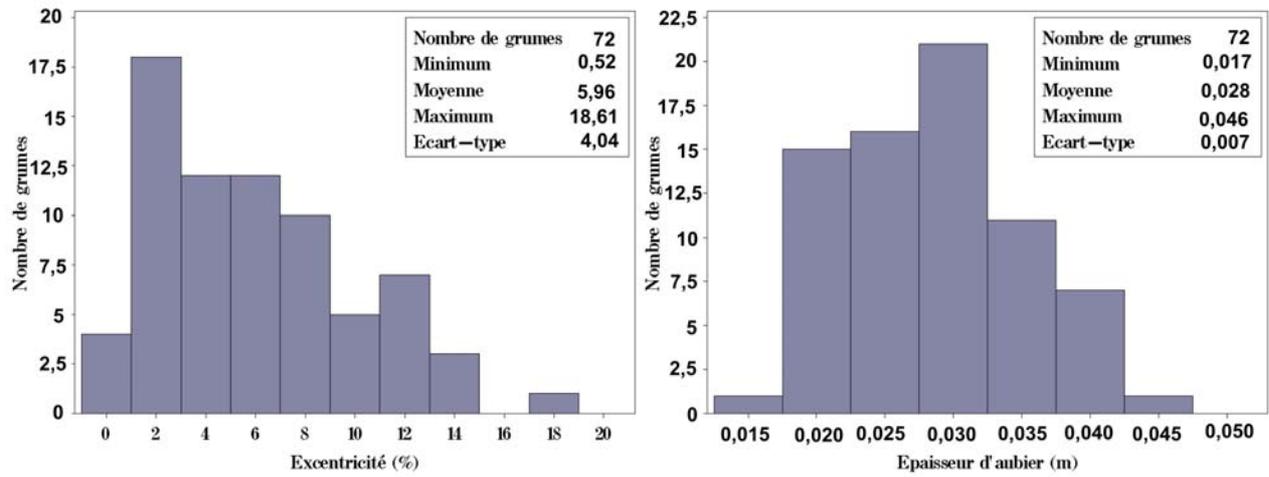


FIG. D.1: Histogramme de l'excentricité (à gauche) et de l'épaisseur d'aubier (à droite).

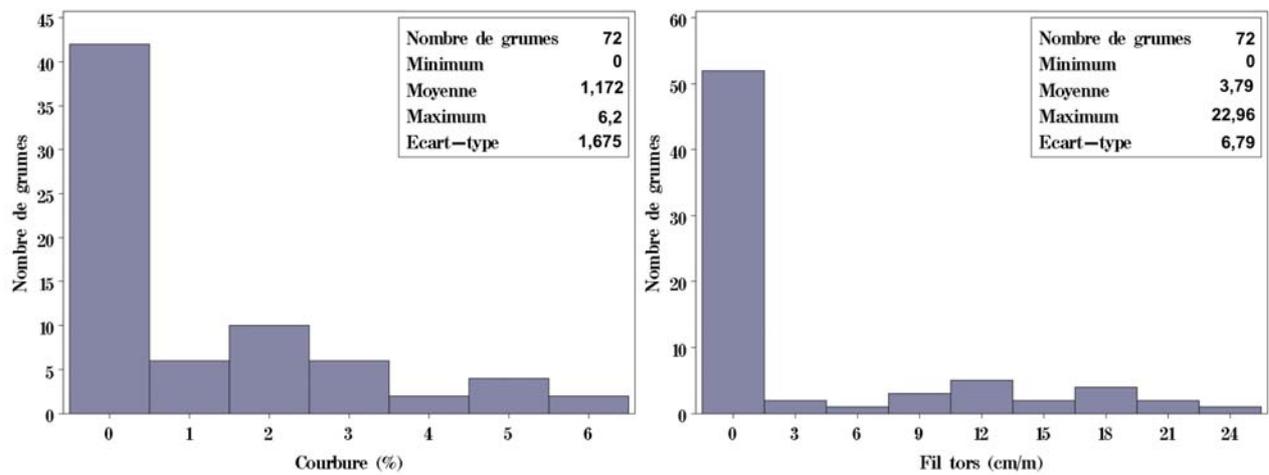


FIG. D.2: Histogramme de la courbure (à gauche) et du fil tors (à droite).

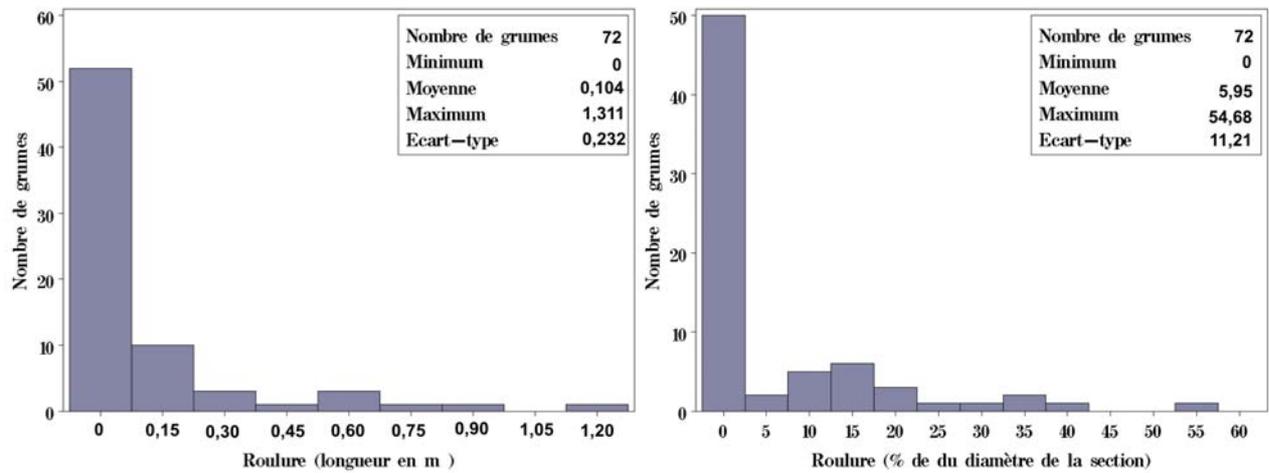


FIG. D.3: Histogrammes de la roulure : longueur totale (à gauche) et diamètre (à droite).

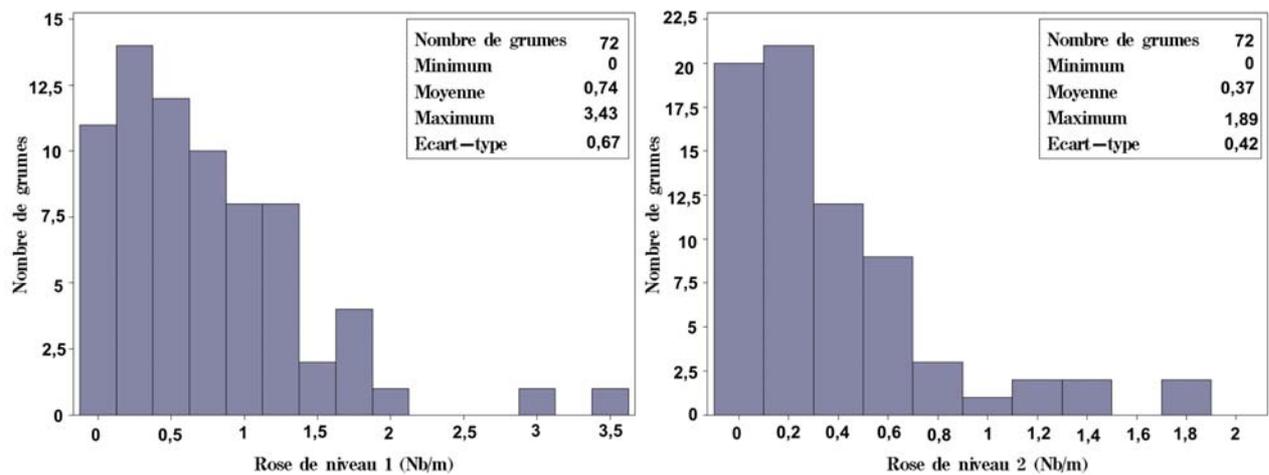


FIG. D.4: Histogrammes des roses de niveau 1 (à gauche) et de celles de niveau 2 (à droite).

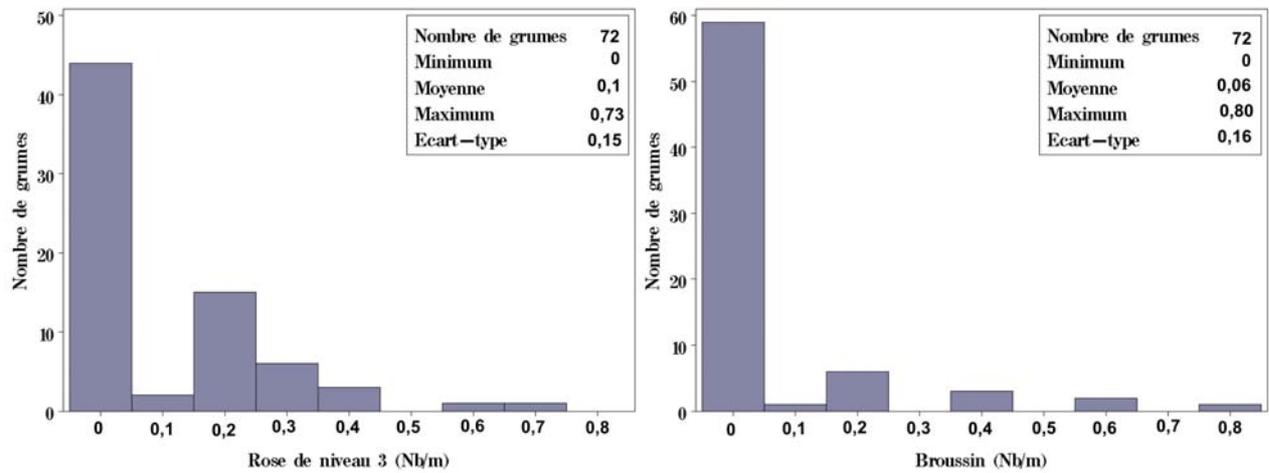


FIG. D.5: Histogrammes des roses de niveau 3 (à gauche) et des broussins (à droite).

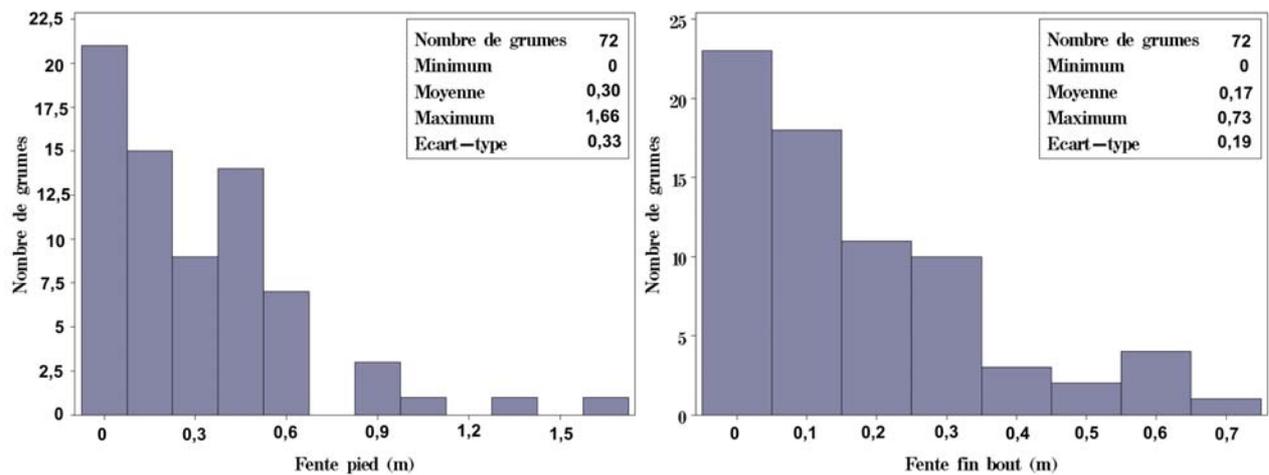


FIG. D.6: Histogrammes des fentes de pied (à gauche) et de fin bout (à droite).

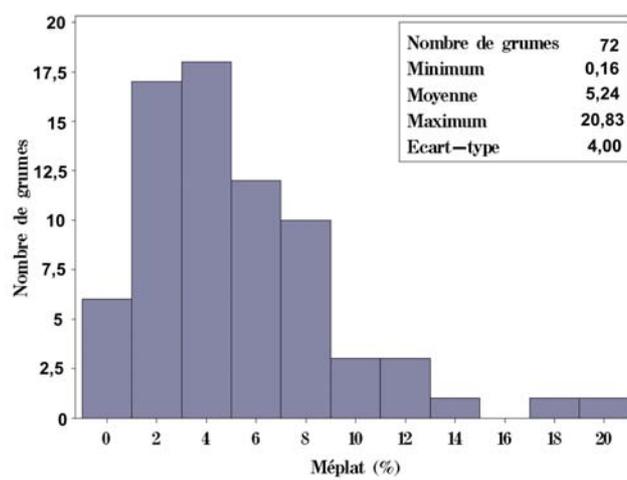


FIG. D.7: Histogramme du méplat

D.2 Présentation des corrélations entre les variables

	Exc	Aub	Cou	RouL	RouD	Fil	FenH	FenP	Brou	Ros1	Ros2	Ros3	Mep
Exc	1,00	0,05	0,08	0,22	0,15	0,08	-0,05	0,01	-0,06	0,11	-0,01	0,00	0,13
Aub		1,00	0,01	0,00	-0,13	-0,03	0,06	0,14	0,01	-0,04	-0,13	0,12	0,30*
Cou			1,00	0,20	0,14	0,04	0,03	-0,18	-0,05	0,10	0,01	0,05	0,00
RouL				1,00	0,80***	0,02	-0,07	0,05	0,02	-0,04	0,04	0,13	-0,06
RouD					1,00	0,07	-0,12	0,01	0,15	-0,08	0,05	0,12	-0,05
Fil						1,00	-0,02	0,10	-0,06	0,16	0,15	-0,14	-0,07
FenH							1,00	0,19	-0,18	0,15	0,08	0,09	0,06
FenP								1,00	-0,04	0,17	0,08	0,08	-0,09
Brou									1,00	-0,06	0,11	0,15	0,06
Ros1										1,00	0,45***	0,05	-0,05
Ros2											1,00	0,17	-0,16
Ros3												1,00	0,09
Mep													1,00

TAB. D.1: Matrice des coefficients de corrélation linéaire de Pearson (* : $pc < 5\%$, ** $pc < 1\%$, *** $pc < 0,1\%$)

Annexe E : Une application de la théorie des enchères aux lots de Chêne vendus à Bad Mergentheim

Les enchères sont couramment employées pour attribuer des biens ou des services tels que les contrats de fourniture d'une prestation, les concessions d'exploitation de ressources naturelles, les produits agricoles, les matières premières, les œuvres d'art,... ([118]). Si la pratique des enchères est très ancienne (-500 av.JC selon [118]), leur analyse ne remonte qu'à la deuxième moitié du XXe siècle. La littérature sur ce sujet est depuis cette date très riche et nous renvoyons le lecteur à ([99], [126]) pour une revue de la théorie et des méthodes et aux travaux d'Elyakime *et al.* pour ce qui concerne un exemple d'application aux ventes de bois ([61],[62], [61], [63], [64], [65]).

Nous proposons dans le cadre de cette annexe d'illustrer cette notion à partir de l'exemple de la vente de Bad Mergentheim. Nous allons pour cela présenter, dans un premier temps, les notions nous permettant d'accéder à l'estimation de la valeur d'un lot par un acheteur. Dans un deuxième temps, nous illustrerons cette théorie à partir des données de la vente étudiée dans cette thèse avant de conclure sur les apports de cette étude à notre travail.

E.1 Présentation de la théorie des enchères

E.1.1 Caractéristiques de la vente étudiée

Nous allons dans cette section présenter les notions utiles à l'application de la théorie des enchères à la vente de Bad Mergentheim. Revenons tout d'abord sur les caractéristiques de cette vente, d'après les critères de classification proposés par ([118]) :

- nature de l'objet : l'objet mis en vente est un lot de grumes de Chêne. Il s'agit d'un bien unique et indivisible ;
- mode de transmission : les enchères sont transmises par écrit, sous plis cachetés, en €/m³ ;
- règle d'attribution : l'attribution se fait au plus offrant ;
- règle de paiement : le vainqueur paie le prix égal à son offre. Les autres ne paient rien ;
- dénomination de la procédure : il s'agit d'une procédure d'adjudication au premier prix.

E.1.2 Cadre de l'étude

Chaque agent réalise une estimation des lots. Ainsi, un lot représente une valeur v_i pour l'agent i . Nous appellerons "valeur privée" cette valeur. Les hypothèses de l'étude sont les suivantes ([104]) :

1. chaque agent a une valeur privée v_i de l'objet mis en vente ;
2. chaque agent connaît sa propre estimation, mais ne connaît pas celles des autres ;
3. chaque estimation est réalisée indépendamment des autres ;
4. chaque agent sait que l'ensemble des v_i , y compris la sienne, sont issues d'un tirage aléatoire dans une même distribution connue de tous. Nous appellerons $F(\cdot)$ la fonction de répartition de cette distribution et $f(\cdot)$ sa fonction de densité ;
5. chaque agent soumet une offre b_i , $b_i = b(v_i)$, avec $b(\cdot)$ strictement croissante ;
6. le vendeur annonce un prix de réserve p_0 ;
7. chaque agent soumet au-dessus de ce prix de réserve.

À partir de la connaissance des différentes offres, notre objectif est d'estimer les v_i qui représentent la véritable valeur accordée à un objet, alors que les soumissions ne sont finalement que l'expression d'une stratégie dont les paramètres centraux sont bien sûr les v_i .

E.1.3 Estimation d'un bien et offres des agents

D'après Riley et Samuelson ([134]), l'espérance de gain d'un agent peut être écrite de la façon suivante :

$$G_i = v_i \cdot P_i - S_i \quad (\text{E.1})$$

Avec :

- G_i Espérance de gain de l'agent i ;
- v_i Valeur privée de l'agent i ;
- P_i Probabilité d'emporter l'enchère ;
- S_i Espérance de paiement.

La probabilité de gagner ainsi que l'espérance de paiement sont des fonctions de l'offre b_i . La probabilité de gagner peut s'écrire comme suit :

$$\begin{aligned} P_i &= P(b_i > b_j, \forall i \neq j) \\ &= P(b(v_i) > b(v_j), \forall i \neq j) \end{aligned} \quad (\text{E.2})$$

$b(\cdot)$ étant une fonction strictement croissante des v_i et les v_i étant strictement indépendantes, (E.2) devient :

$$\begin{aligned} P_i &= \prod_{i \neq j} P(v_i > v_j) \\ &= [F(v_i)]^{n-1} \end{aligned} \quad (\text{E.3})$$

Avec n : nombre d'agents

Étudions à présent l'offre de paiement. Dans le cadre de notre étude, l'agent paie b_i s'il emporte l'enchère et rien dans le cas contraire. On a donc :

$$S_i = [F(v_i)]^{n-1} \cdot b_i \quad (\text{E.4})$$

Ce qui donne, en remplaçant dans E.1 :

$$G_i = (v_i - b(v_i))[F(v_i)]^{n-1} \quad (\text{E.5})$$

L'objet est à présent de déterminer la soumission maximisant ce gain, en émettant l'hypothèse que chaque agent cherche à maximiser son profit. Nous considérerons également que chaque agent est neutre vis-à-vis du risque¹⁶.

Dans ces conditions, la soumission optimale pour l'agent i est donnée par (E.6) (voir [134] pour la démonstration) :

$$b_i = v_i - \frac{\int_{p_0} v_i [F(x)]^{n-1} dx}{[F(v_i)]^{n-1}} \quad (\text{E.6})$$

Les agents ont donc intérêt à annoncer une offre inférieure à leur estimation ([118]). Cette défalque dépend du nombre de concurrents et de l'estimation que chaque acheteur fait des v_i des adversaires.

Passons à présent à l'estimation des v_i , qui reste notre variable d'intérêt.

E.1.4 Estimation des valeurs privées

b_i étant une fonction des v_i , distribués selon $F(\cdot)$, b_i est également une variable aléatoire distribuée selon une fonction $G(\cdot)$ déterminée par (E.6). En partant de la démarche permettant d'accéder à (E.6) et de la relation entre $F(\cdot)$ et $G(\cdot)$, Guerre *et al.* ([81]) montrent que :

$$v_i = b_i + \frac{1}{n-1} \frac{G(b_i)}{g(b_i)} \quad (\text{E.7})$$

À partir des différents b_i connus après la vente, il est possible d'estimer la fonction de densité $g(\cdot)$ à l'aide de la méthode non-paramétrique des noyaux. Nous réalisons cette estimation grâce à la procédure KDE¹⁷ de SAS ([89]).

Appliquons à présent cette démarche au cas de la vente de Bad Mergentheim.

¹⁶Un agent est neutre vis-à-vis du risque s'il juge équivalent de recevoir de façon certaine une richesse égale à w et de prendre part à une situation risquée de richesse espérée w .

¹⁷Kernel Density Estimation

E.2 Estimation de la valeur privée des lots de Chêne lors de la vente de Bad Mergentheim

Chaque lot recevant en général moins d'une dizaine de soumissions, il n'est pas possible d'estimer les v_i de chacun des lots pris indépendamment. Nous allons donc commencer par l'approche la plus générale, à savoir celle considérant que l'ensemble des lots sont constitués d'un même produit (le bois de Chêne) et que les acheteurs ont un comportement identique. Dans un deuxième temps, nous distinguerons les différents groupes d'acheteurs et, enfin, nous prendrons en compte les différences entre lots en termes de qualité et de diamètre.

E.2.1 Acheteurs et qualités confondus

Lorsque nous considérons la vente comme la vente d'une marchandise homogène avec des acheteurs ayant tous le même comportement, l'estimation de la valeur privée donne le graphique présenté en figure (E.1). Nous pouvons constater sur cette figure une forte envolée des valeurs privées lorsque l'on atteint les soumissions fortes. Ce cas permet d'illustrer la théorie. Nous avons en effet émis l'hypothèse que les agents déterminent leur valeur privée à partir d'une même distribution et que cette distribution est connue de tous. Dès lors, lorsqu'un agent évalue un grume à une valeur privée supérieure à celles supposées des autres, il sait qu'il a de forte chance de l'emporter, même s'il soumet à un niveau inférieur à cette valeur privée et de maximiser d'autant plus son gain que l'écart entre la soumission et la valeur privée est important.

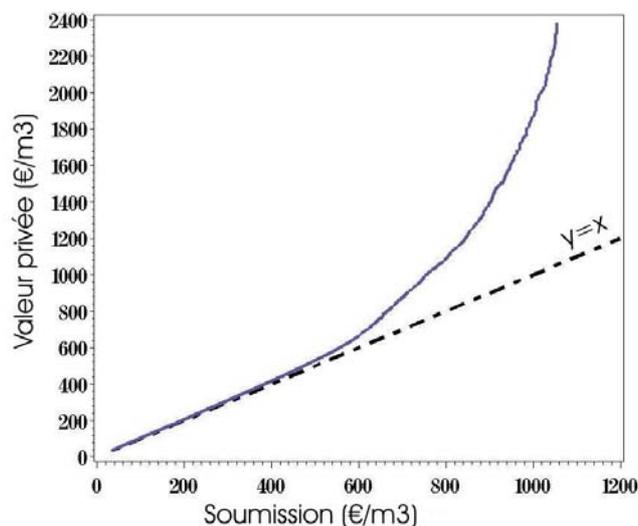


FIG. E.1: Valeurs privées en fonction des soumissions toutes activités et qualités confondues

Cependant, il est net que les valeurs privées estimées dans cette première approche ne sont absolument pas réalistes. De même, à la suite des différentes études réalisées dans cette thèse sur le prix des bois, nous avons vu que le groupe d'acheteurs est un déterminant fort du prix des bois. Dès lors, l'hypothèse selon laquelle l'ensemble des valeurs privées provient d'une même distribution n'est également pas valide. Nous allons donc décliner cette approche en fonction du

groupe d'utilisateurs.

E.2.2 Valeur privée en fonction du groupe d'utilisateurs

En déclinant l'étude précédente en fonction de chaque groupe d'utilisateurs définie dans la partie II.2.4.2.2, nous obtenons les résultats présentés sur les graphiques de la figure (E.2).

Nous constatons sur cette figure que le phénomène précédent se retrouve, notamment pour les groupes 1, 3, 5 et 6, mais avec une intensité moins forte cependant - à part peut-être pour le groupe 1. Pour les groupes 2 et 4, les différences entre valeur privée et soumission sont très faibles.

Tout comme précédemment, à part pour les groupes 2 et 4, il est net que les valeurs privées estimées correspondant aux plus fortes soumissions ne sont pas réalistes. Une autre hypothèse forte maintenue dans cette deuxième étape est celle qui considère que les acheteurs réalisent l'estimation d'un même matériau sur chaque lot. Or, nous savons que d'un lot à l'autre, les variations de diamètre ou de qualité vont également influencer les prix. Ce sont ces notions que nous allons à présent prendre en considération.

E.2.3 Valeur privée en fonction du groupe d'utilisateur et des caractéristiques du lot

Comme nous travaillons sur l'ensemble des lots de Chêne, les caractéristiques auxquelles nous avons accès et que nous allons utiliser sont le diamètre et la classe de qualité. La qualité sera prise en compte comme l'activité, en déclinant chaque étude en fonction de la qualité. Pour le diamètre, nous allons modifier l'équation (E.7) en considérant $g(\cdot)$ comme la densité du couple de variables aléatoires (soumission, diamètre), également estimé de façon non-paramétrique à l'aide de la procédure KDE de SAS ([89]). Les résultats obtenus sont présentés figure (E.3) de façon identique à la section précédente.

$$v_i = b_i + \frac{1}{n-1} \frac{G(b_i, \mathcal{O}_i)}{g(b_i, \mathcal{O}_i)} \quad (\text{E.8})$$

Avec d_i diamètre en cm.

Le nombre de soumissions du groupe 6 n'était pas suffisant pour pouvoir appliquer cette méthode, et dans le groupe 4, nous avons dû nous limiter à l'effet du diamètre pour la même raison.

La figure (E.3) met en évidence que, lorsque l'on prend en compte à la fois les informations sur le type d'acheteur et sur les caractéristiques des lots mis en vente, la différence entre la soumission et la valeur privée est assez faible.

Il aurait pu être intéressant de continuer l'exercice, comme nous l'avons fait dans la thèse, en remplaçant la qualité par les variables mesurant les singularités mais nous sommes alors limité par le nombre d'observations.

Ce résultat reste encore illustratif dans la mesure où, pour pouvoir appliquer la théorie des

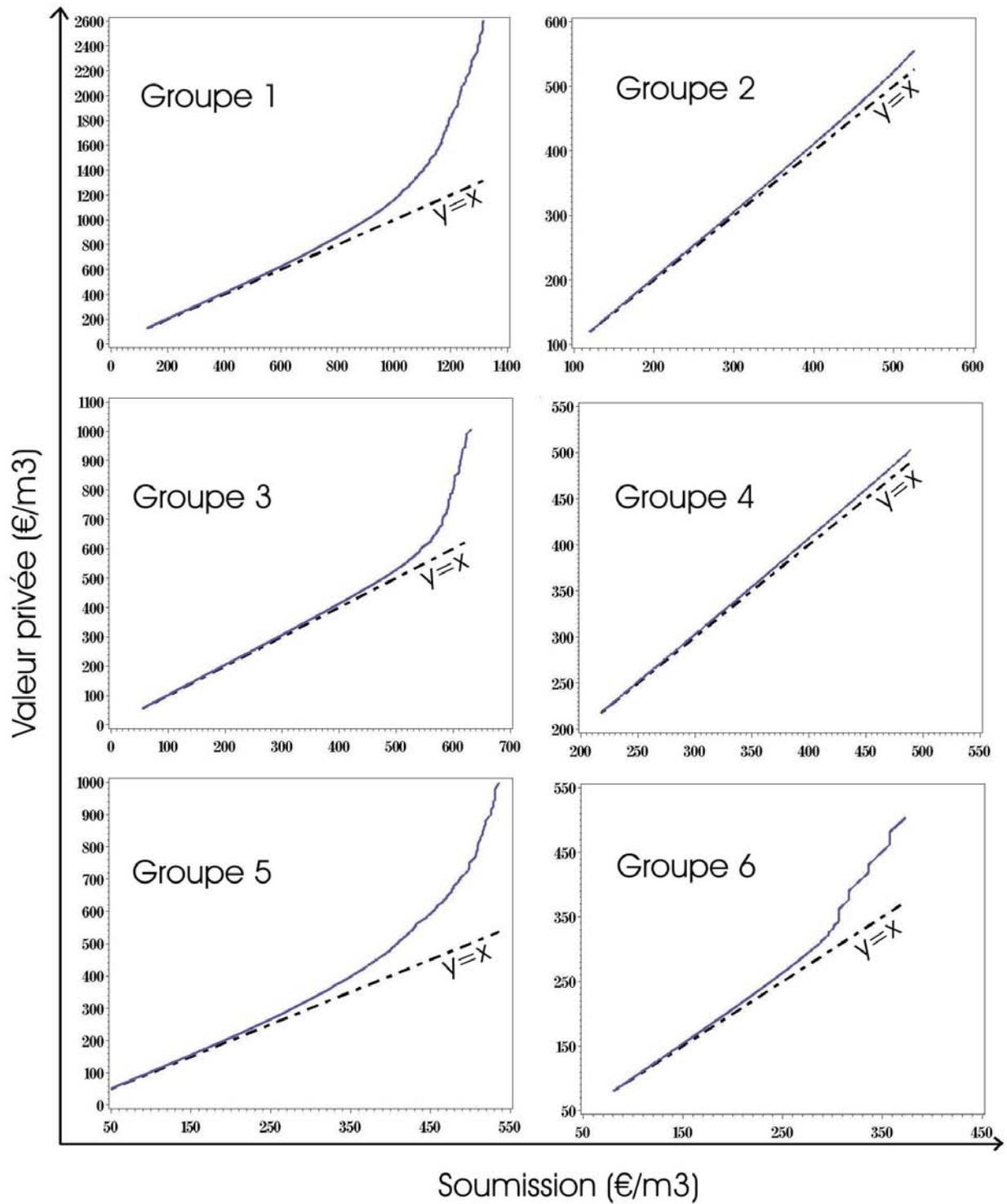


FIG. E.2: Valeurs privées en fonction des soumissions pour chaque groupe d'acheteurs

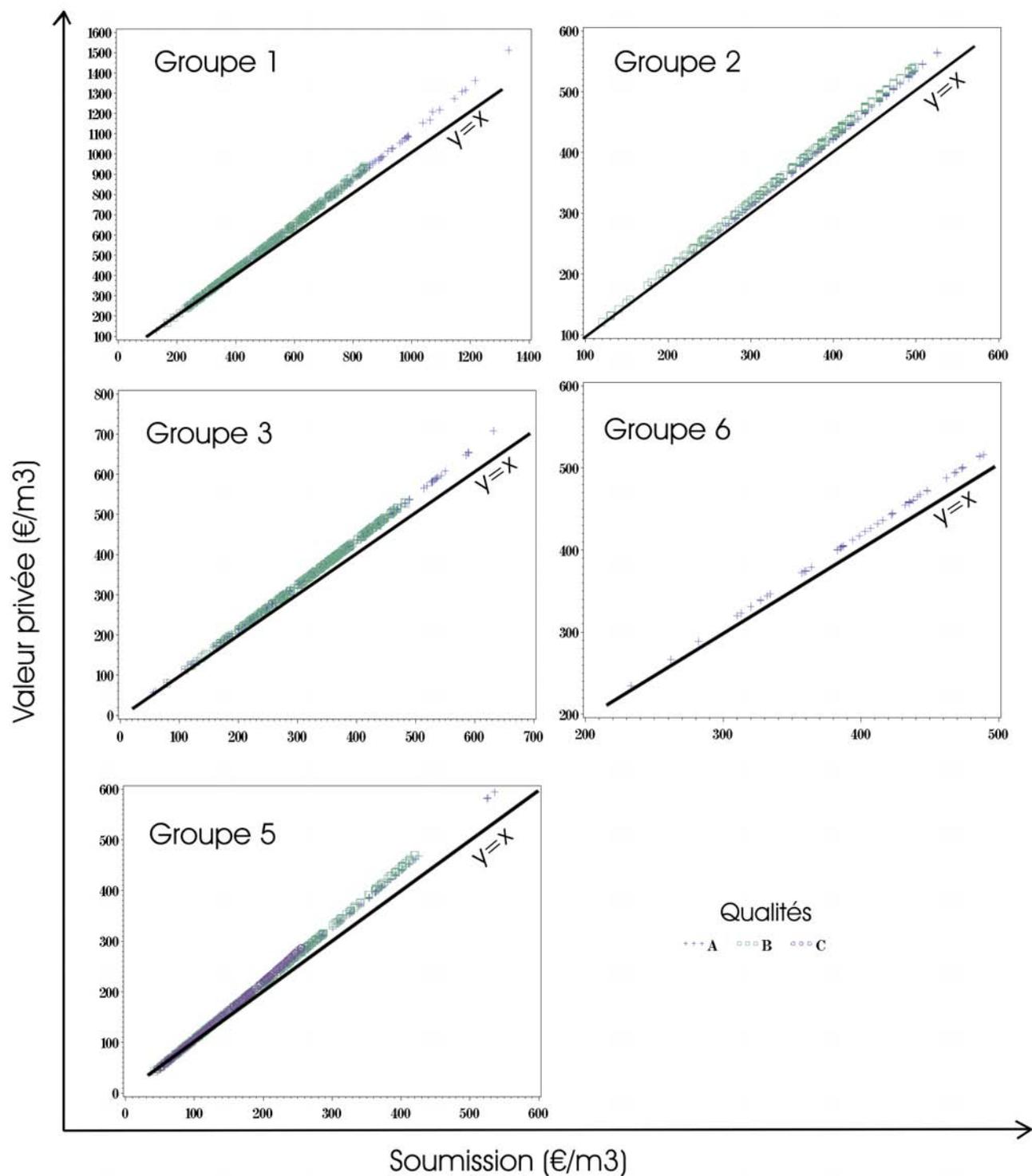


FIG. E.3: Valeurs privées en fonction des soumissions pour chaque groupe d'acheteurs

enchères sous une de ses formes les plus simples, nous avons émis des hypothèses simplificatrices par rapport à la réalité observée. En effet, en réalité :

- il existe des discussions, des échanges d'informations, des négociations entre agents. De ce fait, nous ne sommes pas dans le cadre des jeux non-coopératifs et les estimations entre les différents agents ne sont pas indépendantes ;
- l'hypothèse que l'ensemble des valeurs privées proviennent d'une même loi de distribution pour un groupe d'acheteurs donné reste très forte ;
- le prix de réserve p_0 n'a pas été indiqué par le vendeur.

E.3 Conclusion

L'objet de cette annexe était de montrer que les soumissions telles que nous pouvons les observer dans les catalogues de ventes ne correspondent pas directement à la valeur estimée de l'objet, mais bien à une fonction de cette valeur. Comme notre objectif était de relier la valeur perçue de la grume aux défauts présents, il aurait donc été plus judicieux de travailler sur la valeur privée à la place de la soumission. Cependant, d'une part nous n'avons pas suffisamment de données pour estimer les valeurs privées en fonction des différents défauts étudiés, et d'autre part, la différence entre valeur privée et soumission reste faible par rapport à la précision des différents modèles estimés.

Annexe F : Détails du plan d'expérience utilisé

F.1 Présentation du plan d'expérience

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	2	2	2	3	3	3	1	2	3	2
1	1	1	3	3	3	2	2	2	1	3	2	3
1	2	3	1	2	3	1	2	3	2	2	2	1
1	2	3	2	3	1	3	1	2	2	3	1	2
1	2	3	3	1	2	2	3	1	2	1	3	3
1	3	2	1	3	2	1	3	2	3	3	3	1
1	3	2	2	1	3	3	2	1	3	1	2	2
1	3	2	3	2	1	2	1	3	3	2	1	3
2	1	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3
2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	3	3	1
2	1	3	3	2	1	1	3	2	3	1	2	2
2	2	2	1	1	1	3	3	3	1	3	2	3
2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
2	2	2	3	3	3	1	1	1	1	2	3	2
2	3	1	1	2	3	3	1	2	2	1	3	3
2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	2	2	1
2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	2
3	1	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2
3	1	2	2	3	1	1	2	3	2	1	3	3
3	1	2	3	1	2	3	1	2	2	2	2	1
3	2	1	1	3	2	2	1	3	3	1	2	2
3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	3
3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	3	1
3	3	3	1	1	1	2	2	2	1	2	3	2
3	3	3	2	2	2	1	1	1	1	3	2	3
3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1

TAB. F.1: Plan d'expérience factoriel fractionnaire à 13 facteurs à 3 modalités

F.2 Affectation des niveaux de gravité aux modalités du plan

Grume	exc	acc	coul	fen	rou	mep	cour	fil	NS	NP	pic	ros	brou
1	1	0	0	0	0	2	1	1	1	0	2	0	2
2	1	0	1	2	2	0	2	2	2	1	1	0	2
3	1	0	2	1	1	1	0	0	0	2	0	0	2
4	1	1	0	2	2	0	0	0	0	0	2	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	2	0	0	2	2	2	2	2	0	1	1
7	1	2	0	1	1	1	2	2	2	0	2	2	0
8	1	2	1	0	0	2	0	0	0	1	1	2	0
9	1	2	2	2	2	0	1	1	1	2	0	2	0
10	0	0	0	2	1	2	2	0	1	1	0	1	0
11	0	0	1	1	0	0	0	1	2	2	2	1	0
12	0	0	2	0	2	1	1	2	0	0	1	1	0
13	0	1	0	1	2	0	1	2	0	1	0	2	2
14	0	1	1	0	2	1	2	0	1	2	2	2	2
15	0	1	2	2	1	2	0	1	2	0	1	2	2
16	0	2	0	0	2	1	0	1	2	1	0	0	1
17	0	2	1	2	1	2	1	2	0	2	2	0	1
18	0	2	2	1	0	0	2	0	1	0	1	0	1
19	2	0	0	1	2	2	0	2	1	2	1	2	1
20	2	0	1	0	1	0	1	0	2	0	0	2	1
21	2	0	2	2	0	1	2	1	0	1	2	2	1
22	2	1	0	0	1	0	2	1	0	2	1	0	0
23	2	1	1	2	0	1	0	2	1	0	0	0	0
24	2	1	2	1	2	2	1	0	2	1	2	0	0
25	2	2	0	2	0	1	1	0	2	2	1	1	2
26	2	2	1	1	2	2	2	1	0	0	0	1	2
27	2	2	2	0	1	0	0	2	1	1	2	1	2

TAB. F.2: Plan d'expérience finalisé

F.3 Série de questions

Grumes	Défaut commun
8 22 6	Fen0
1 2 20	Acc0
24 2 22	Ros0
24 18 25	Fil0
14 17 10	Exc0
16 15 19	Cour0
11 21 23	Rou0
12 3 17	NS0
10 4 7	Coul0
13 9 27	Mep0
6 26 16	Pic0
7 15 18	NP0
3 9 8	Exc1
13 9 11	Fen1
5 20 21	Brou1
5 14 26	Coul1
12 23 25	Mep1
27 1 4	Pic2

TAB. F.3: Distribution des grumes en triplettes et défaut commun au trois grumes présent dans la triplette

Annexe G : Sorties des différentes ACP

G.1 Typologie des acheteurs de la vente de Bad Mergentheim

ACP pour la typologie des acheteurs

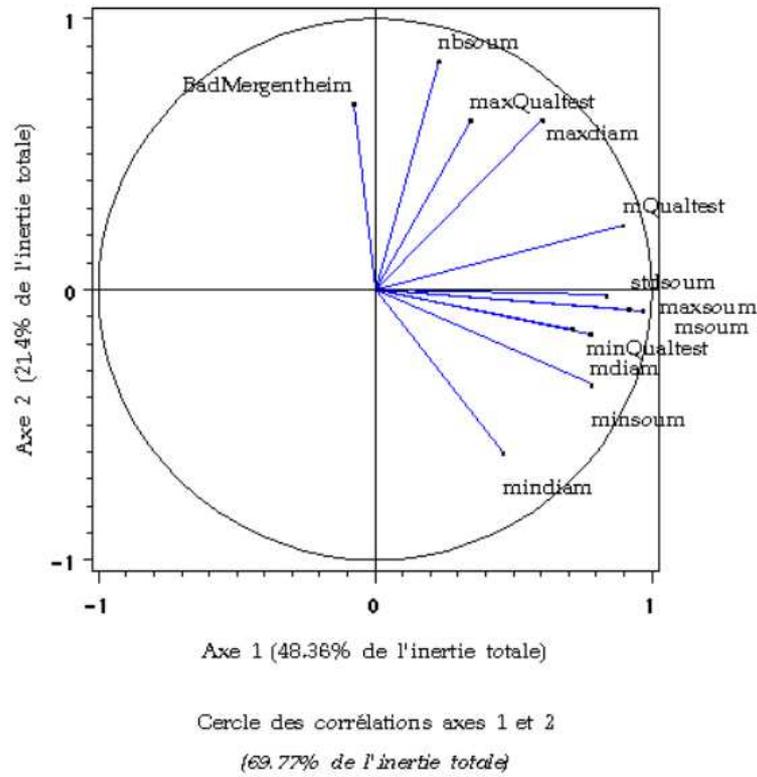
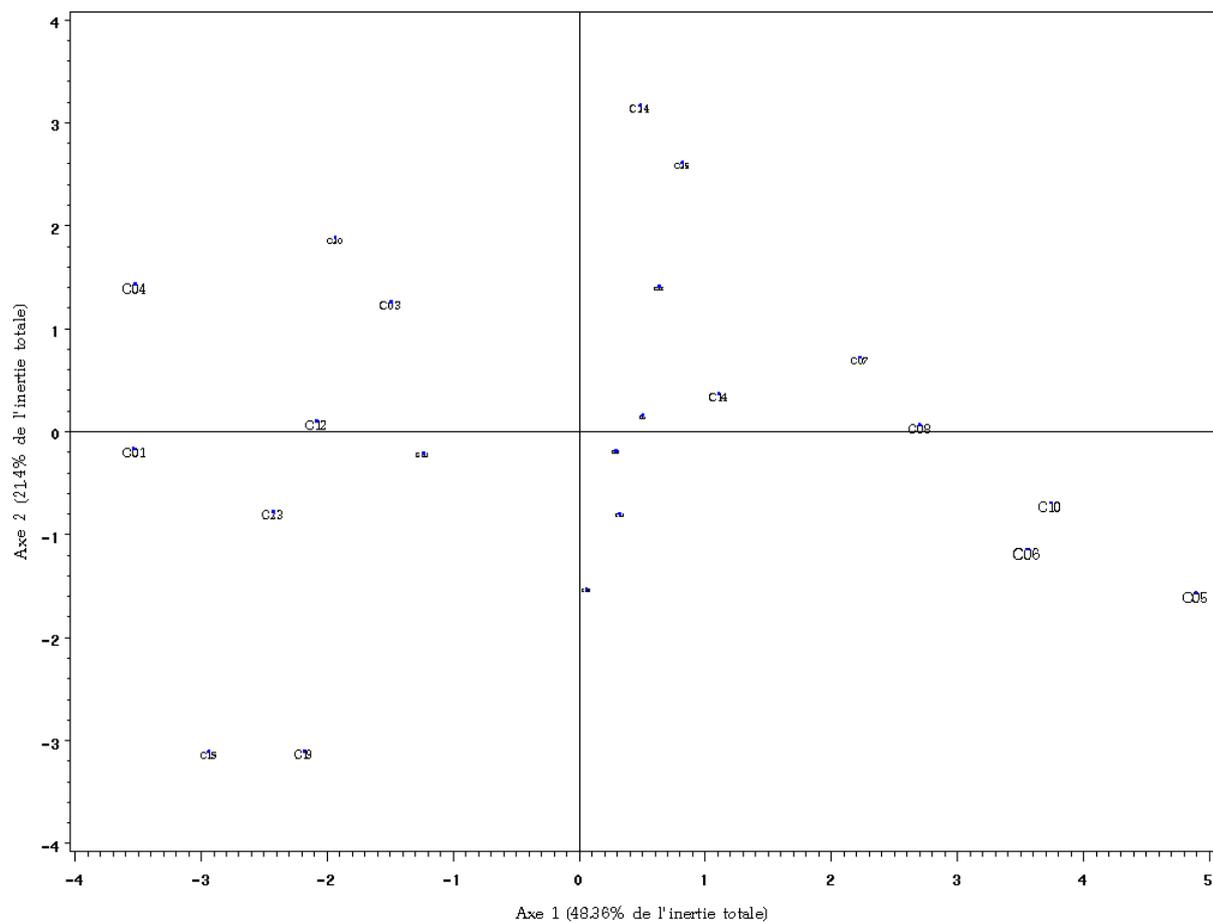


FIG. G.1: Cercle des corrélations

ACP pour la typologie des acheteurs



Projection sur les axes principaux 1 et 2
(69.77% de l'inertie totale)

FIG. G.2: Espace des individus

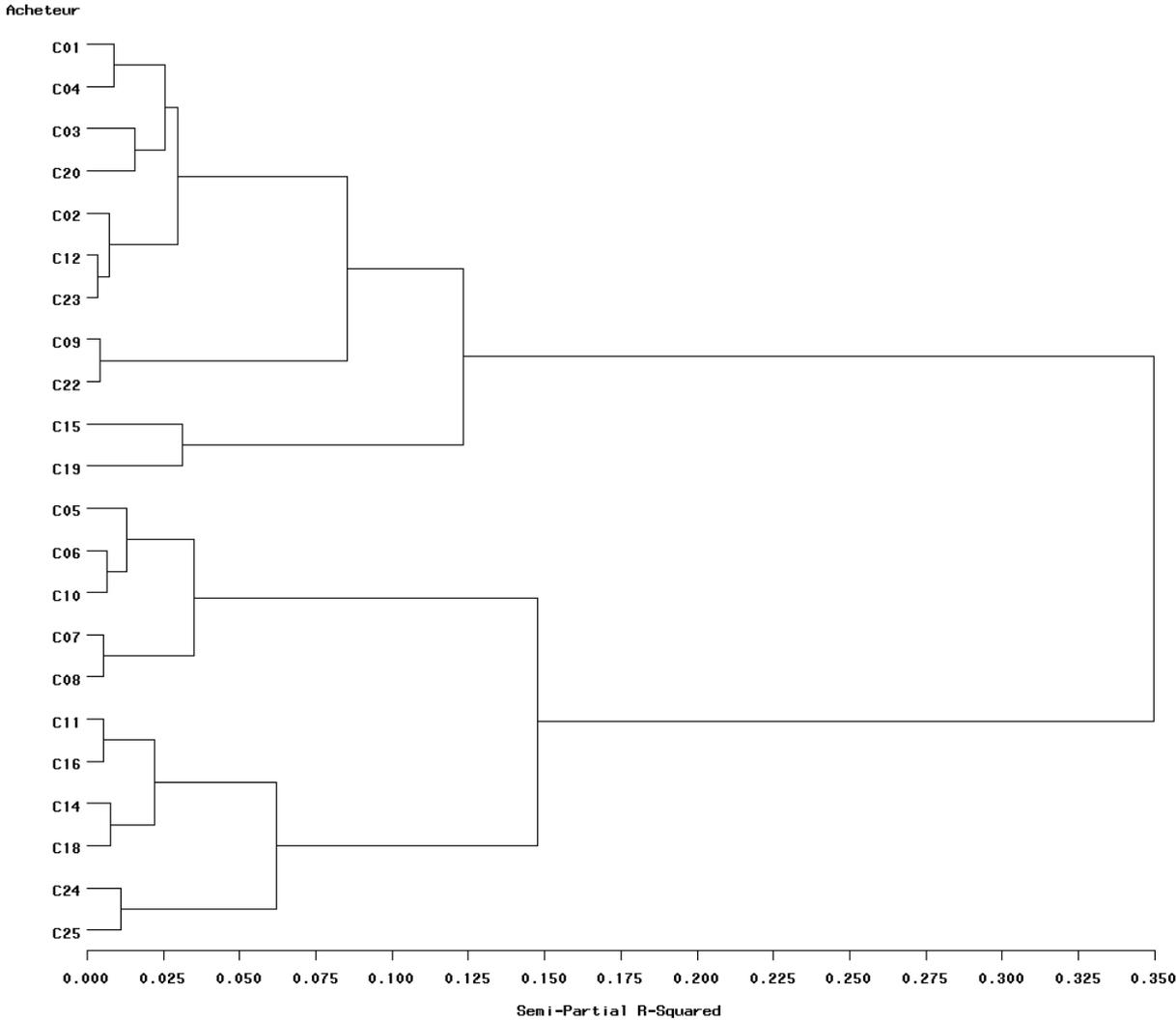


FIG. G.3: Arbre de classification

G.2 Analyse des caractéristiques des grumes individuelles

ACP sur les caractéristiques de la grume individuelle

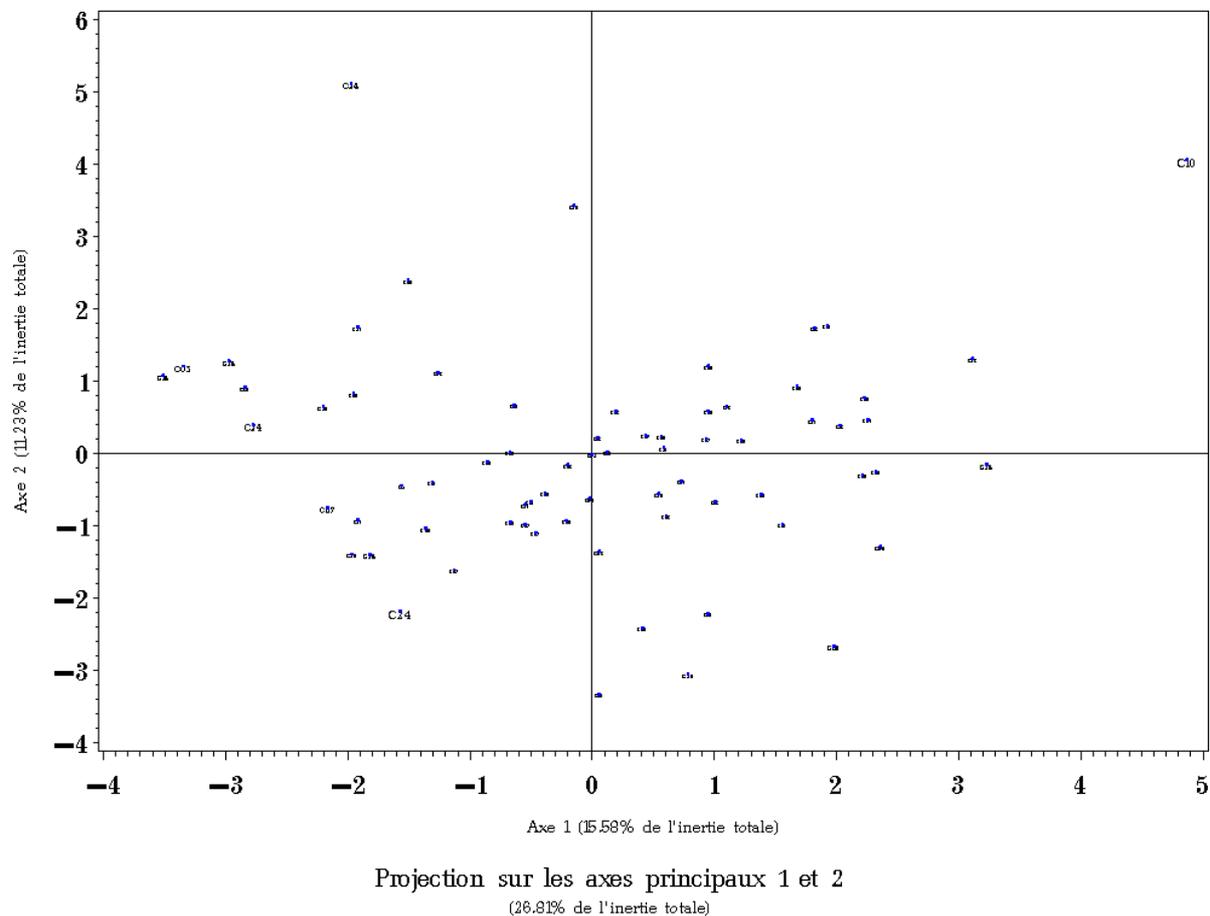
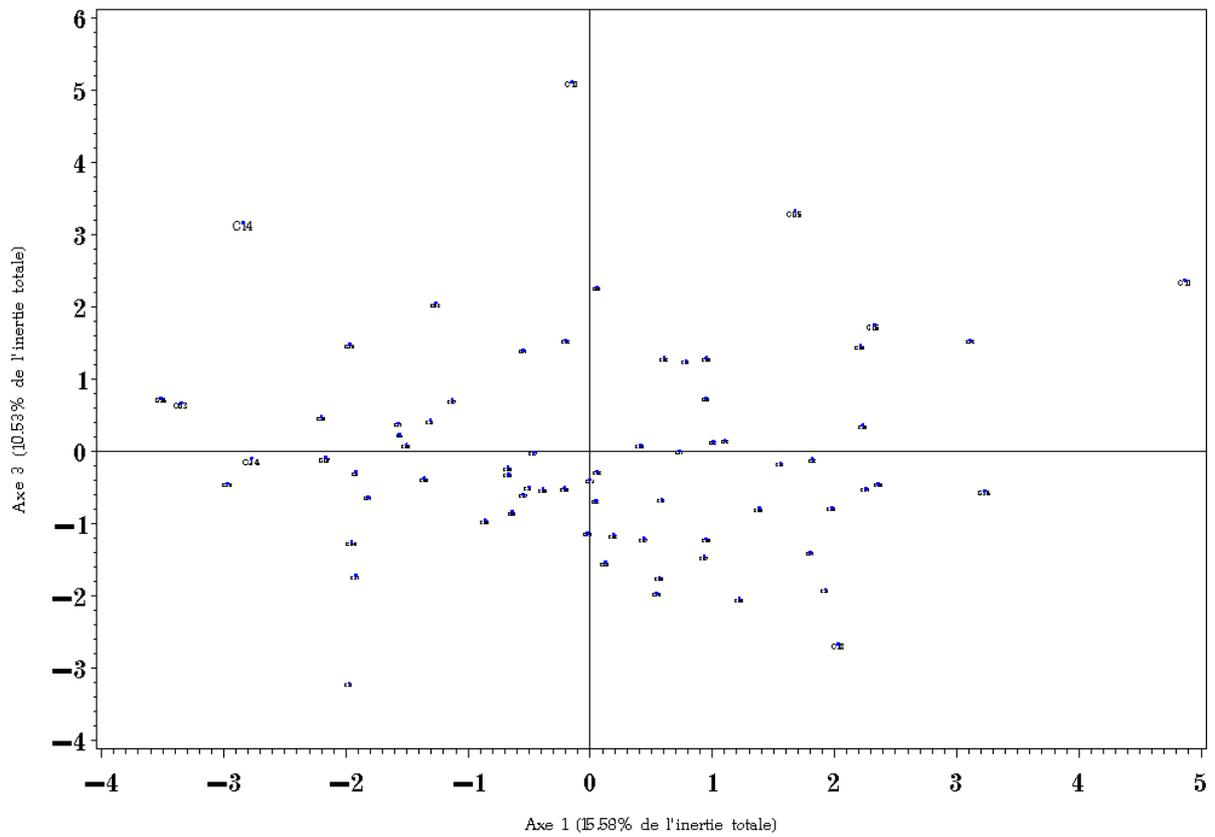


FIG. G.4: Espace des individus (axes 1 et 2)

ACP sur les caractéristiques de la grume individuelle



Projection sur les axes principaux 1 et 3
(26.11% de l'inertie totale)

FIG. G.5: Espace des individus (axes 1 et 3)

G.3 Typologie des premiers transformateurs de Chêne en France

ACP pour la typologie des premiers transformateurs de Chêne

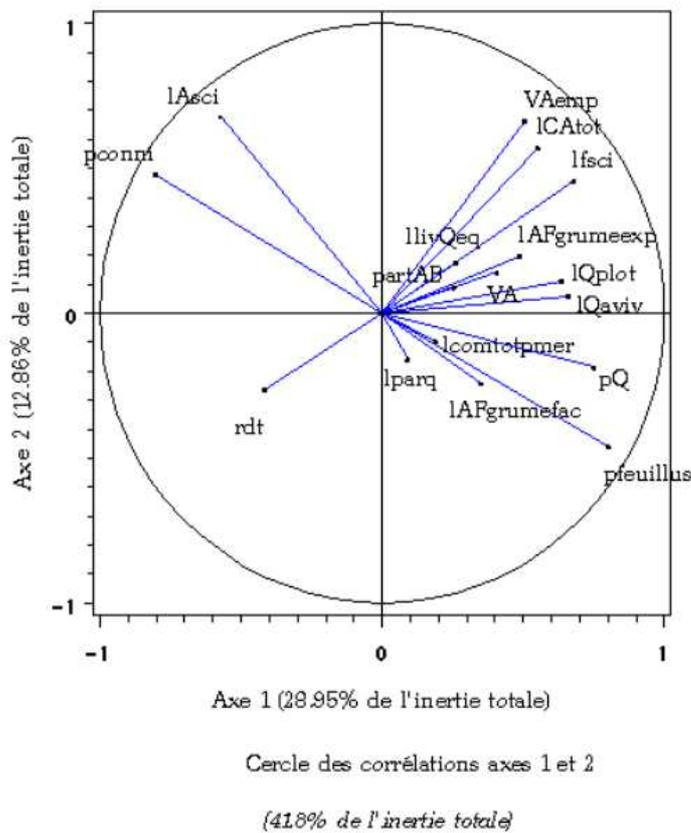
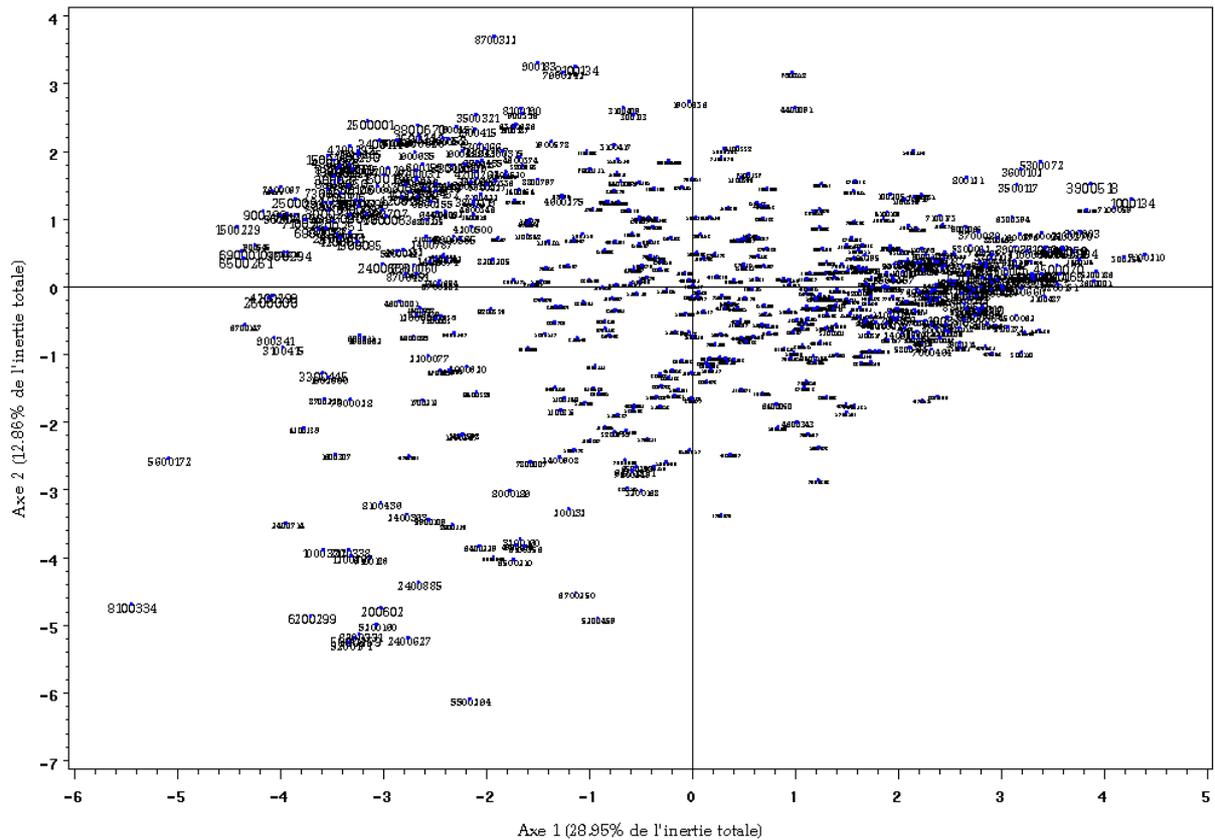


FIG. G.6: Cercle des corrélations

ACP pour la typologie des premiers transformateurs de Chêne



Projection sur les axes principaux 1 et 2
(41.8% de l'inertie totale)

FIG. G.7: Espace des individus

Annexe H : Résultats de l'enquête

H.1 Rappel des groupes

Nom du groupe	Ancien Code	Activité	Représentativité
Groupe 1	Groupe A_{1_1}	Grande scierie de Chêne	28 %
Groupe 2	Groupe A_{1_2}	Grande scierie de Feuillus	23 %
Groupe 3	Groupe A_{2_1}	Bois pour parquets	6%
Groupe 4	Groupe A_{2_1}	Bois pour tonnellerie	6%
Groupe 5	Groupe B_1	Petite scierie	11 %
Groupe 6	Groupe B_2	Scierie de résineux	26 %

TAB. H.1: Nomination et représentativité des groupes issus de la typologie des premiers transformateurs de Chêne en France d'après l'enquête annuelle de branche portant sur l'année 2004.

La représentativité est calculée comme le nombre d'entreprises du groupes divisé par le nombre total d'entreprises recensées par l'enquête et exprimé en %.

H.2 Résultats du classement des grumes et des défauts par affectation d'un score

H.2.1 Classement des grumes

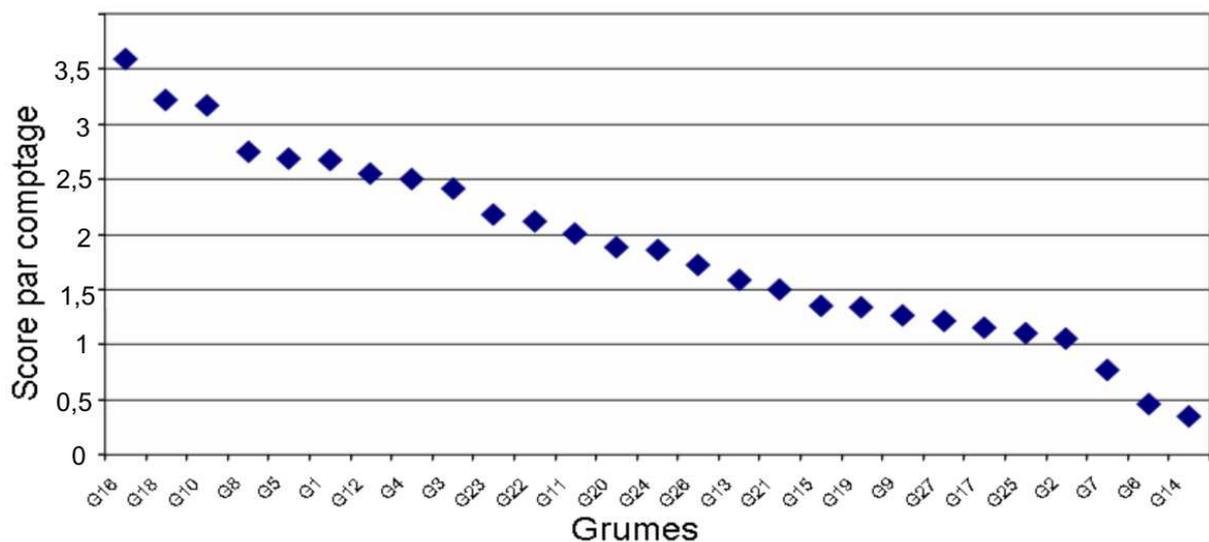


FIG. H.1: Classement **général** des grumes par comptage du nombre de points à la suite de l'attribution de 2 points pour une première position et de 1 point pour une seconde position dans la triplette.

Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39)

R	Général		Groupe1		Groupe2		Groupe3		Groupe4		Groupe5	
	O	Σ	O	Σ	O	Σ	O	Σ	O	Σ	O	Σ
1	16	3,60	16	34	16	24	10, 16	19	16	27	16	25
2	18	3,22	10, 18	29	10, 18	22			18	25,5	18	23
3	10	3,16							3, 20	25	4, 8	21
4	8	2,75	8	27	5	20						
5	5	2,68	4	26	1, 8	19			10	24,5	1, 11	20
6	1	2,67	1	25					4, 22	20,5		
7	12	2,55			12	18	5, 13, 22	14				
8	4	2,50	3, 5, 12	23	4, 23	15			5	20	3, 5, 23	19
9	3	2,41							3, 8	13	23	17,5
10	23	2,18	11	22,5	3	14			12	17		
11	22	2,11	22	21,5	24	12			8	15	10, 12, 24	18
12	11	2,01							23	11	19	14,5
13	20	1,87	20, 23, 24	19	11, 13, 21, 22	11	4, 19	9	13, 26	14	13	17
14	24	1,85										
15	26	1,72	26	18					25	13	15, 20, 22	15
16	13	1,58	21	15,5	26	10	11, 21, 24, 26	8	9	12		
17	21	1,50	27	15	2	9			11	11	26	13
18	15	1,34	15, 17	14					15	10,5	2	9
19	19	1,33			9, 19, 20, 27	8	25	7	1	10,5		
20	9	1,26					7, 15	6	17	9	7, 17, 21	8
21	27	1,21	9, 19, 13	13					2, 24	8		
22	17	1,14			15	7	6, 9	5			9	7
23	25	1,10	13	10	17	6			21	5	14, 27	6
24	2	1,05	2	8,5	7, 25	5	14	4	27	4,5		
25	7	0,76	7	7			17, 27	3	6	3	19	5
26	6	0,46	6	4	6, 14	3			7	2	25	3
27	14	0,35	14	1			2	2	14	1,5	6	2

TAB. H.2: Classement des grumes par attribution d'un score

	Général	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
Général	1	0,87***	0,86***	0,73***	0,62***	0,73***
Groupe 1	0,87***	1	0,78***	0,65***	0,57***	0,72***
Groupe 2	0,86***	0,78***	1	0,67***	0,53***	0,73***
Groupe 3	0,73***	0,65***	0,67***	1	0,61***	0,53***
Groupe 4	0,62***	0,57***	0,53***	0,61***	1	0,49***
Groupe 5	0,73***	0,72***	0,73***	0,53***	0,49***	1

TAB. H.3: Corrélation entre les classements. (Coefficient des rang τ de Kendall. *** indique une $pc < \alpha 0,001$)

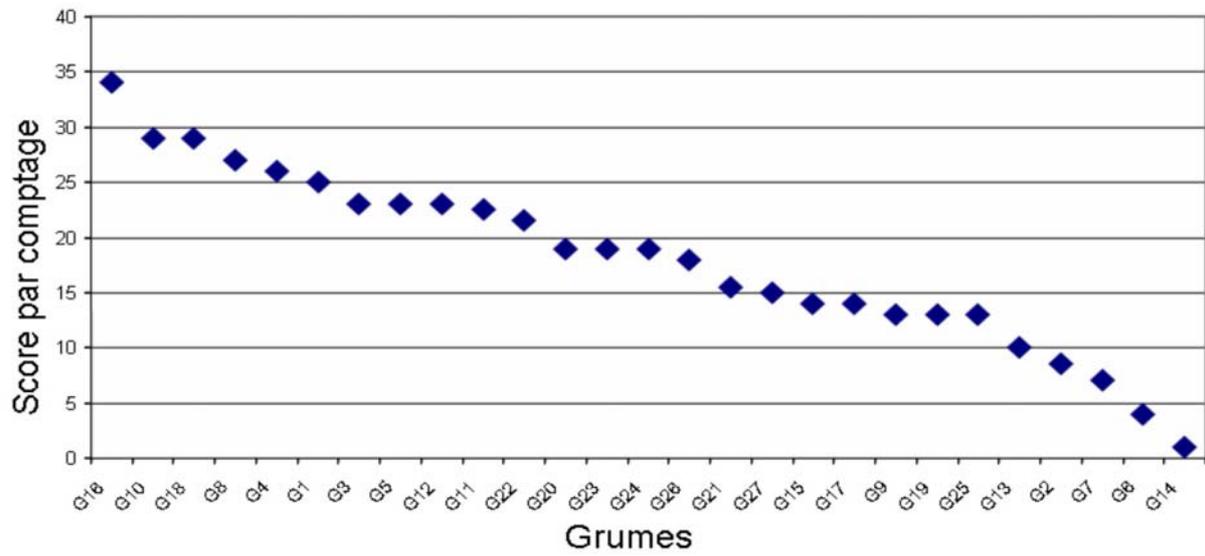


FIG. H.2: Classement des grumes par comptage du nombre de points pour le **groupe 1** à la suite de l'attribution de 2 points pour une première position et de 1 point pour une seconde position dans la triplète.

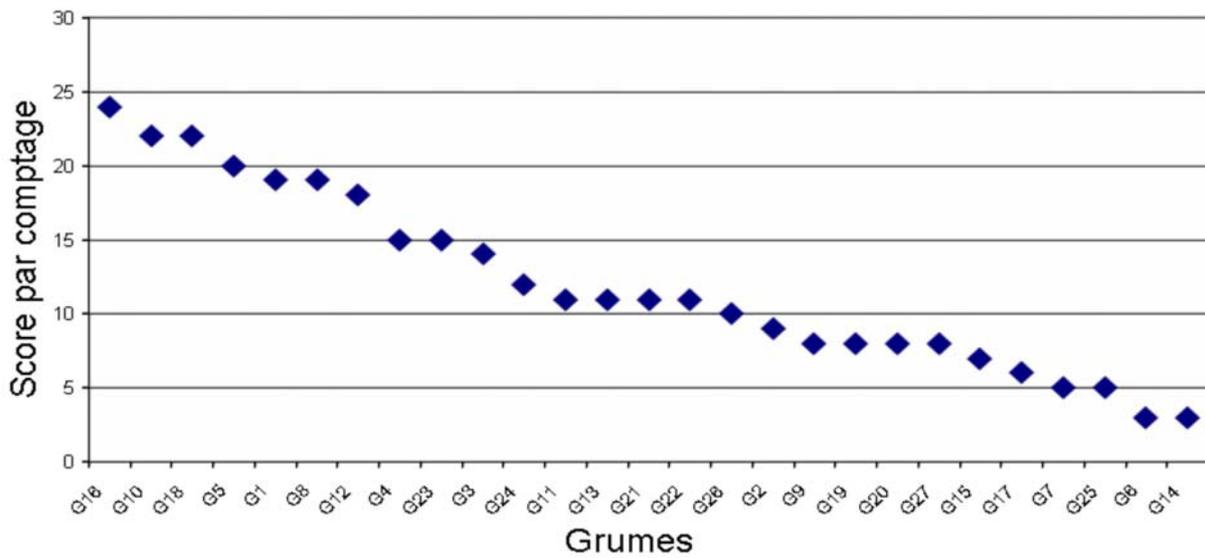


FIG. H.3: Classement des grumes par comptage du nombre de point pour le **groupe 2** à la suite de l'attribution de 2 points pour une première position et 1 point pour une seconde position dans la triplète.

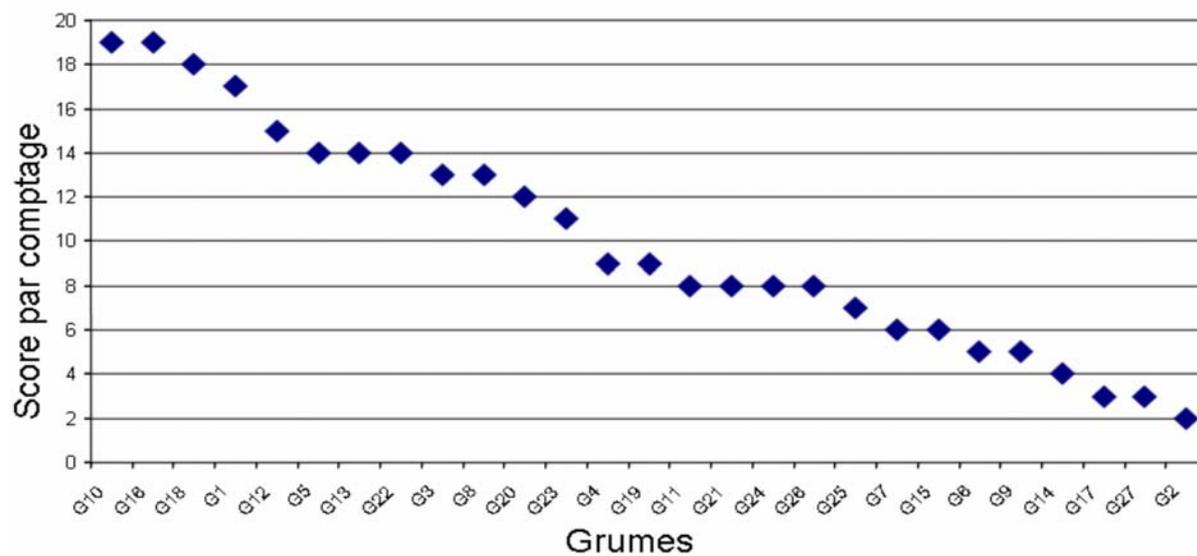


FIG. H.4: Classement des grumes par comptage du nombre de points pour le **groupe 3** à la suite de l'attribution de 2 points pour une première position et de 1 point pour une seconde position dans la triplète.

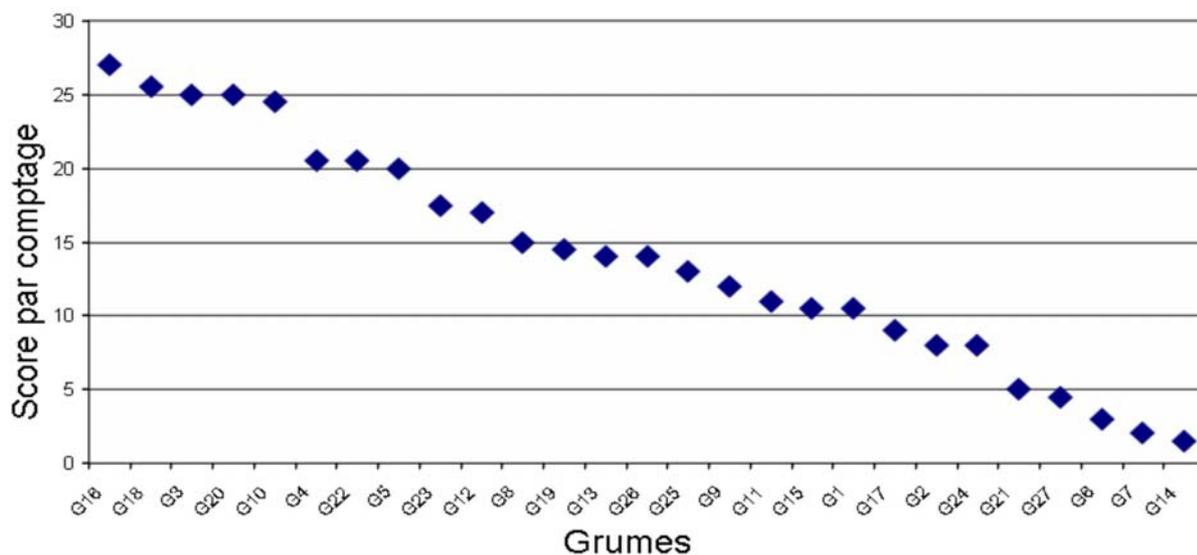


FIG. H.5: Classement des grumes par comptage du nombre de points pour le **groupe 4** à la suite de l'attribution de 2 points pour une première position et de 1 point pour une seconde position dans la triplète.

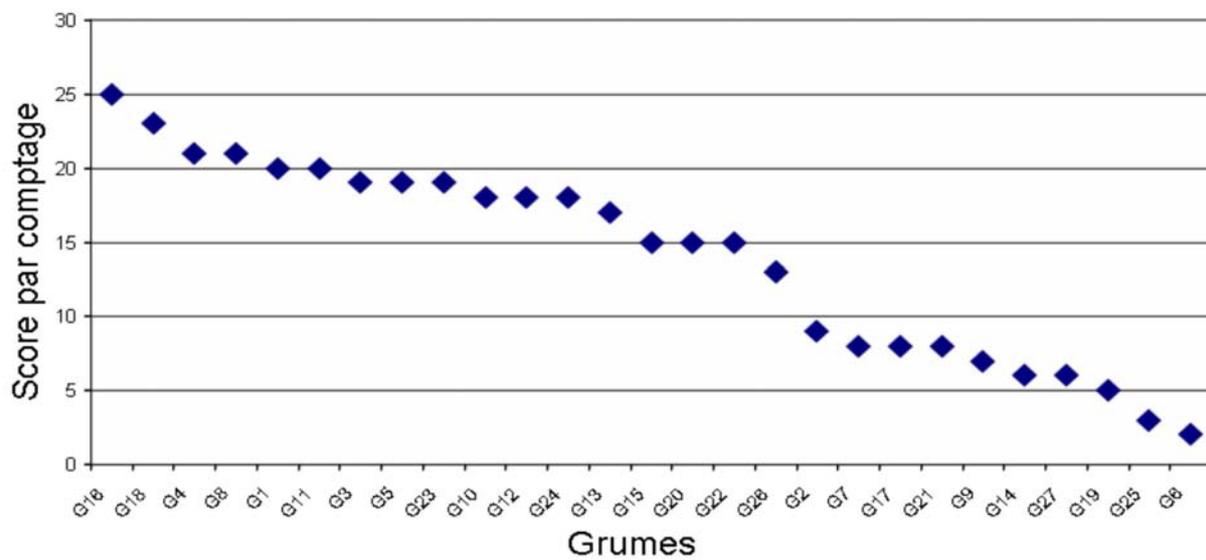


FIG. H.6: Classement des grumes par comptage du nombre de points pour le **groupe 5** à la suite de l'attribution de 2 points pour une première position et de 1 point pour une seconde position dans la triplete.

H.2.2 Classement des défauts

R	Général		Groupe1		Groupe2		Groupe3		Groupe4		Groupe5	
	Defaut	\sum	Defaut1	\sum	Defaut2	\sum	Defaut3	\sum	Defaut	\sum	Defaut	\sum
1	rose	43	rose	412,5	rose	272	pic	230	pic	288	NP	311
2	fil	43	fil	413,5	NP	274	fil	235	fil	309,5	rose	324
3	NP	43	courb	426	fil	287	NP	236	rose	326,5	fil	326
4	brou	45	NP	431	exc	288	coul	237	courb	336,5	courb	329
5	courb	45	brou	432,5	brou	289	fen	238	coul	342	exc	330
6	pic	46	NS	449	NS	293	rose	242	NP	345	brou	342
7	NS	46	pic	462	courb	299	exc	244	NS	345,5	NS	353
8	exc	46	exc	462,5	pic	299	brou	245	mep	346	fen	358
9	coul	47	coul	463	coul	307	NS	246	brou	351,5	pic	358
10	fent	48	fen	468,5	fen	309	acc	249	acc	359,5	acc	360
11	acc	48	acc	477,5	acc	311	courb	263	exc	360	coul	362
12	mep	50	mep	484,5	mep	327	mep	273	fen	374	mep	365
13	roul	52	roul	496,5	roul	337	roul	276	roul	414	roul	401

TAB. H.4: Classement des défauts par attribution d'un score

	Général	Groupe 1	Groupe 2	Groupe3	Groupe 4	Groupe5
general	1,00	0,92***	0,82***	0,44*	0,51*	0,74***
groupe1	0,92	1,00	0,79***	0,36	0,54*	0,77***
groupe2	0,82***	0,79***	1,00	0,46*	0,33	0,82***
groupe3	0,44 *	0,36	0,46*	1,00	0,41	0,33
groupe4	0,51*	0,54*	0,33	0,41	1,00	0,31
groupe5	0,74***	0,77***	0,82***	0,33	0,31	1,00

TAB. H.5: Corrélacion entre les classements.(Coefficient des rang τ de Kendall. * indique un pc < 0,05, ** p <0,1, *** pc<0,001)

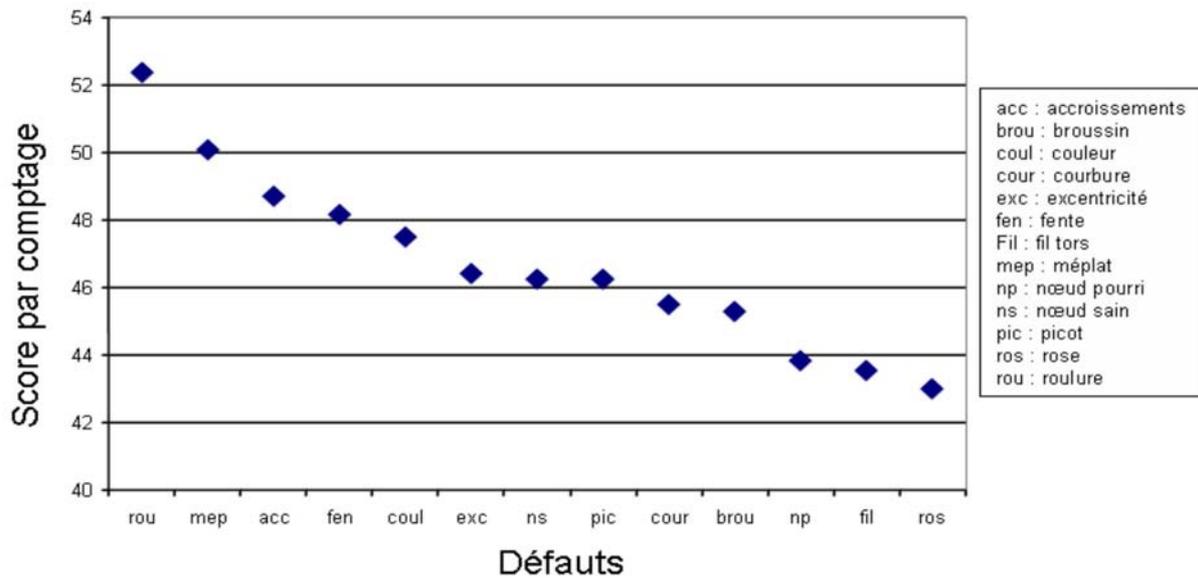


FIG. H.7: Classement **général** des défauts par comptage du nombre de points à suite de l'attribution de 2 points pour une première position et de 1 point pour une seconde position dans la triplète.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.
Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).

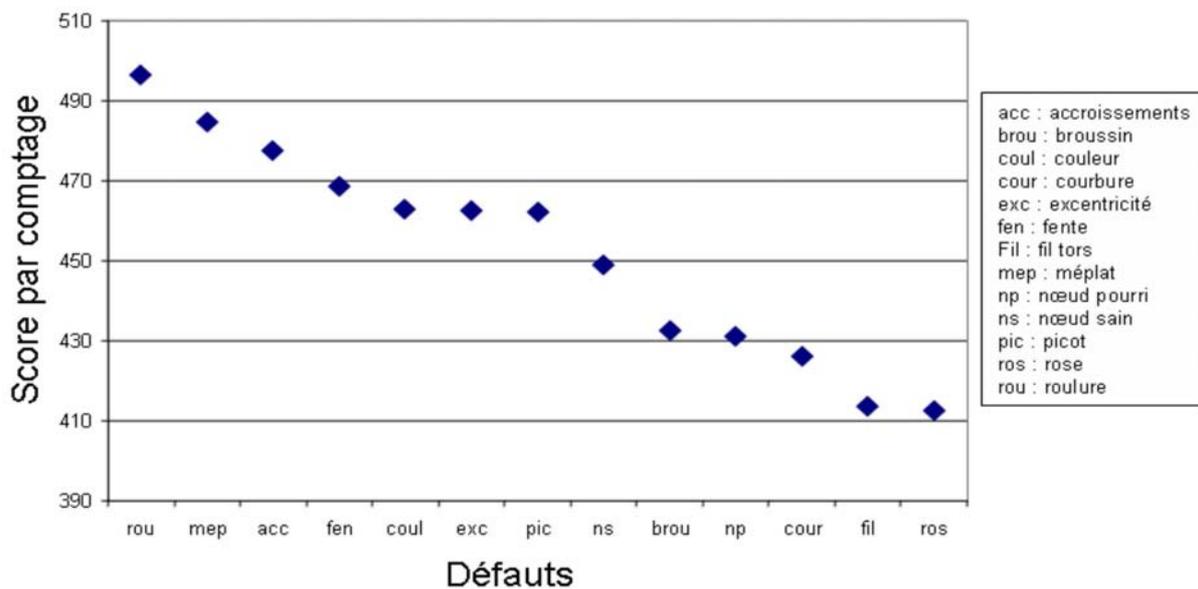


FIG. H.8: Classement des défauts par comptage du nombre de points pour le **groupe 1** à la suite de l'attribution de 2 points pour une première position et de 1 point pour une seconde position dans la triplète.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.
Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).

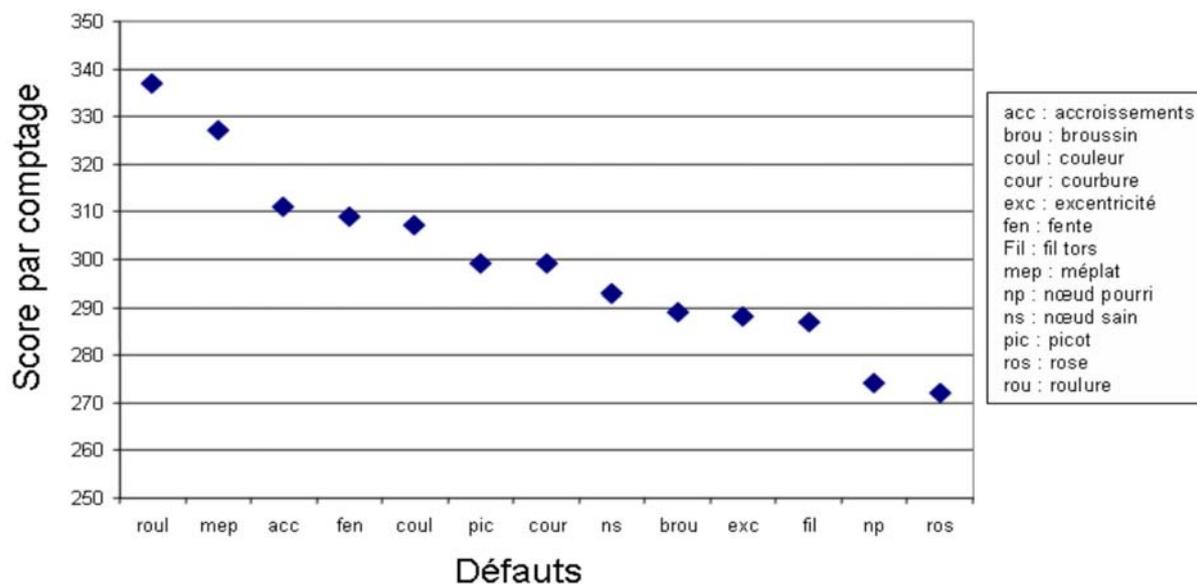


FIG. H.9: Classement des défauts par comptage du nombre de points pour le **groupe 2** à la suite de l'attribution de 2 points pour une première position et de 1 point pour une seconde position dans la triplète.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.

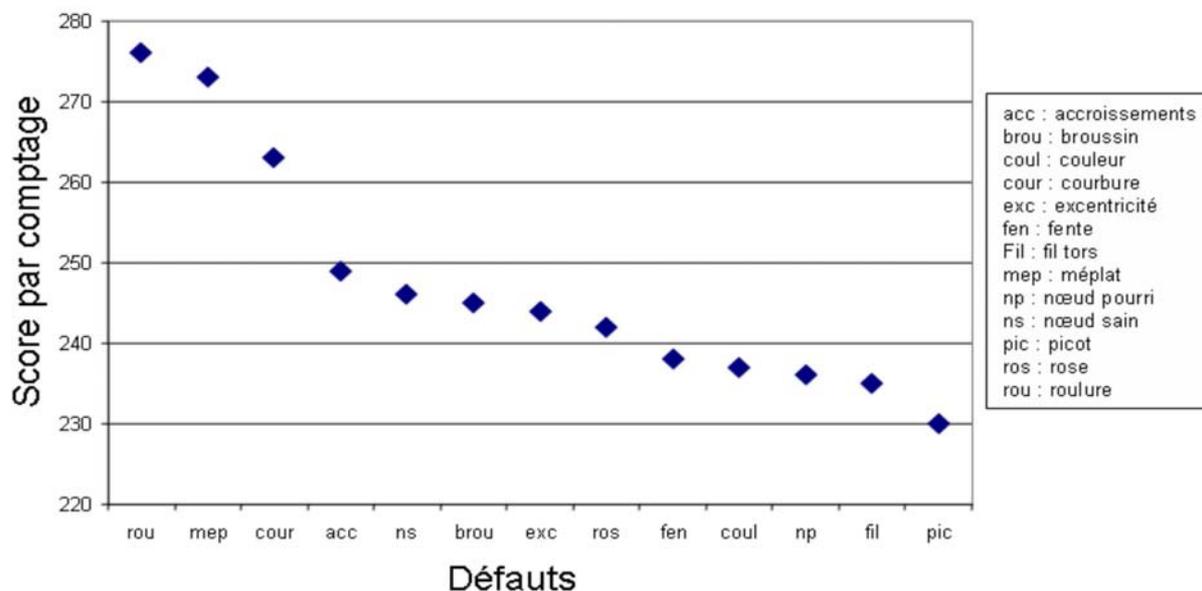


FIG. H.10: Classement des défauts par comptage du nombre de points pour le **groupe 3** à la suite de l'attribution de 2 points pour une première position et de 1 point pour une seconde position dans la triplète.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.

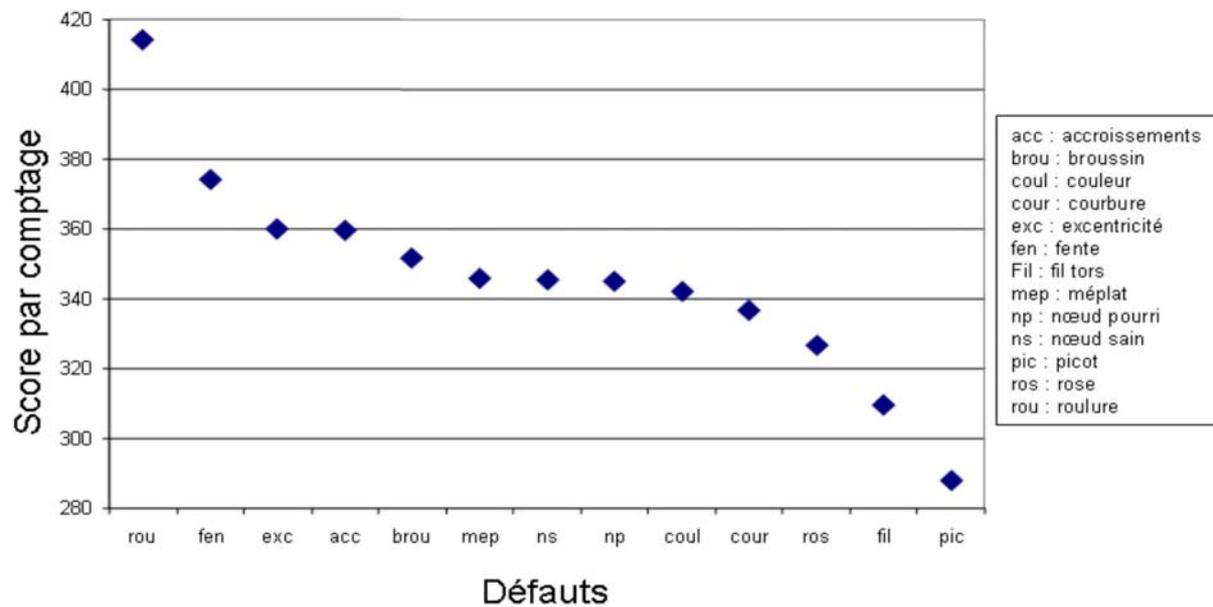


FIG. H.11: Classement des défauts par comptage du nombre de points pour le **groupe 4** à la suite de l'attribution de 2 points pour une première position et de 1 point pour une seconde position dans la triplète.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.
Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).

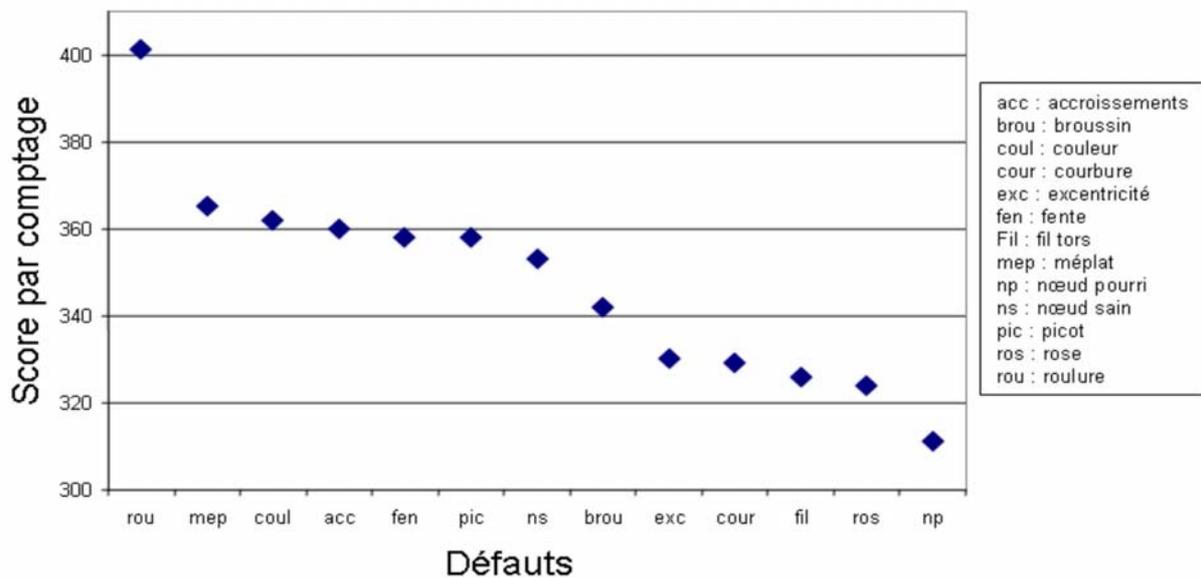


FIG. H.12: Classement des défauts par comptage du nombre de points pour le **groupe 5** à la suite à l'attribution de 2 points pour une première position et de 1 point pour une seconde position dans la triplète.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.
Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).

H.3 Résultats du classement des grumes et des défauts par attribution d'un rang et par la mesure de l'utilité

H.3.1 Classement des grumes

Rang	grumeg	grumel	grume2	grume3	grume4	grume5
1	14	14	14	17	6	6
2	26	26	16	14	14	14
3	6	13	6	27	27	26
4	9	6	25	2	26	25
5	13	2	18	9	9	9
6	27	19	24	6	21	27
7	2	9	7	26	2	17
8	17	27	9	24	8	2
9	19	5	15	8	7	19
10	7	7	13	22	1	21
11	21	20	2	3	24	22
12	25	21	11	21	13	5
13	20	15	21	15	22	13
14	11	17	20	11	11	20
15	5	11	19	5	15	7
16	22	22	23	13	17	10
17	15	25	26	4	5	8
18	24	24	3	20	25	24
19	23	23	22	25	4	3
20	3	1	12	23	19	12
21	8	3	8	19	23	23
22	1	8	5	7	12	11
23	12	12	17	12	20	1
24	4	4	4	1	10	15
25	10	18	1	18	18	4
26	18	10	10	16	3	18
27	16	16	16	10	16	16

TAB. H.6: Classement des grumes par attribution d'un rang

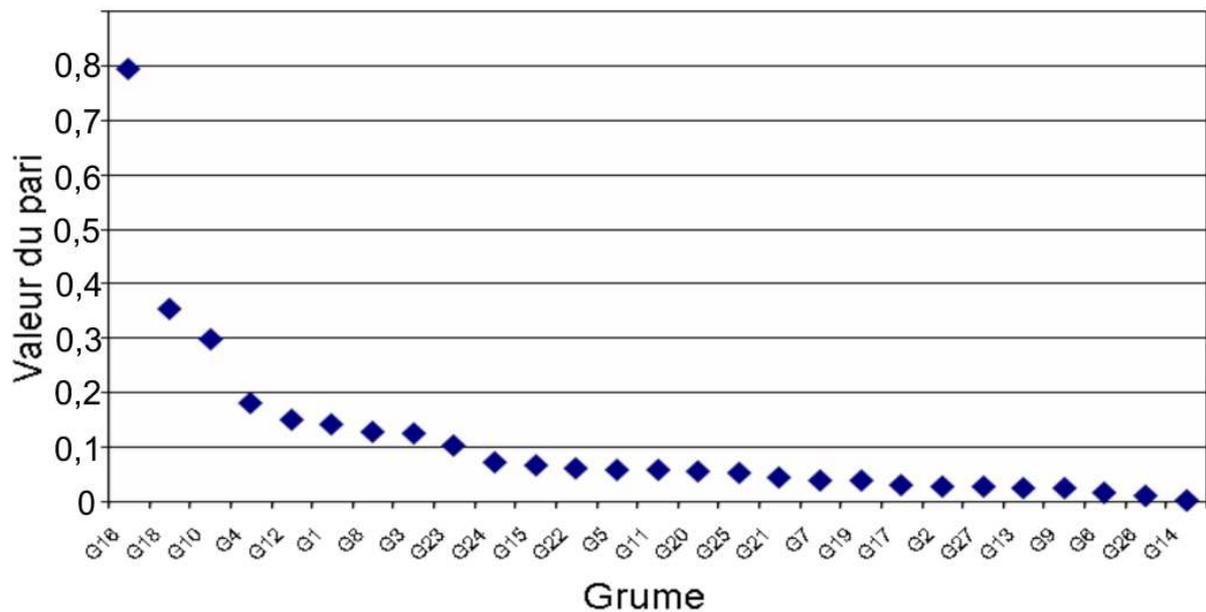


FIG. H.13: Classement **général** des grumes par attribution d'un rang d'après le modèle des paris équilibrés.

Les grumes sont classées de gauche à droite par ordre de préférence décroissante.
Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).

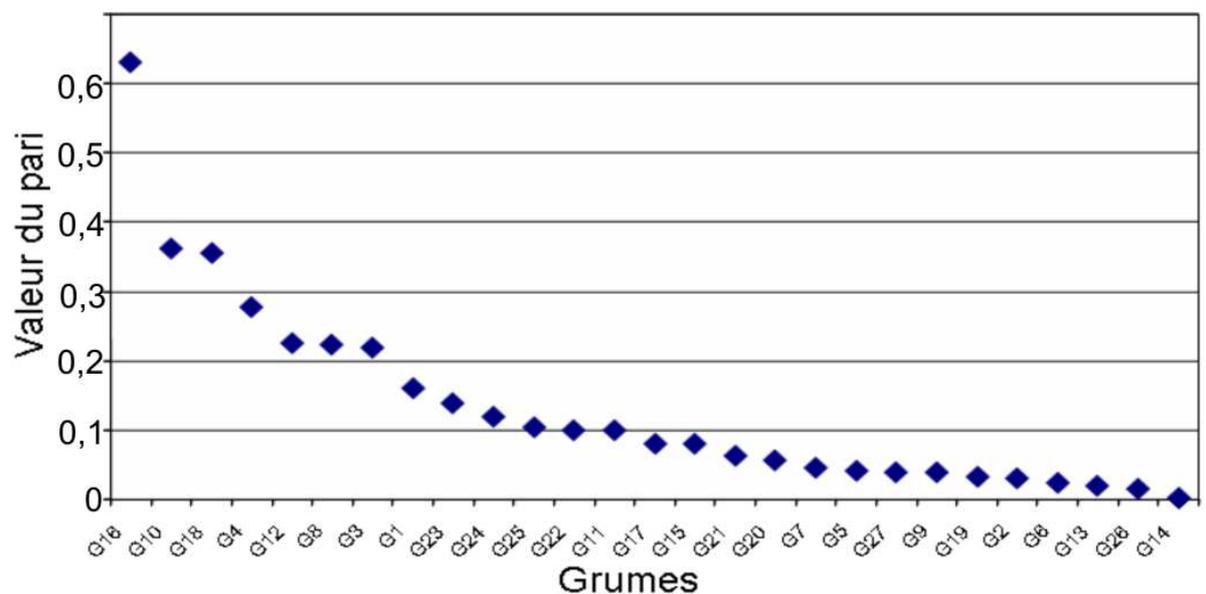


FIG. H.14: Classement des grumes par attribution d'un rang pour le **groupe 1** d'après le modèle des paris équilibrés.

Les grumes sont classées de gauche à droite par ordre de préférence décroissante.

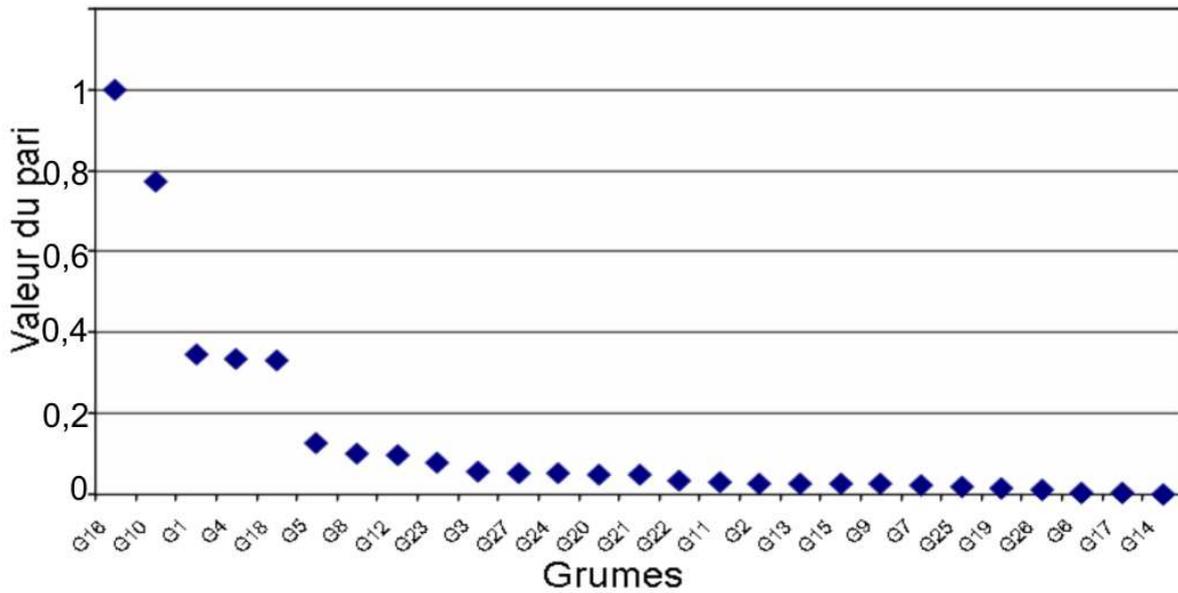


FIG. H.15: Classement des grumes par attribution d'un rang pour le **groupe 2** d'après le modèle des paris équilibrés.

Les grumes sont classées de gauche à droite par ordre de préférence décroissante.
La grume 16 du groupe 2 a été classée première avec une valeur arbitraire de coefficient de 1

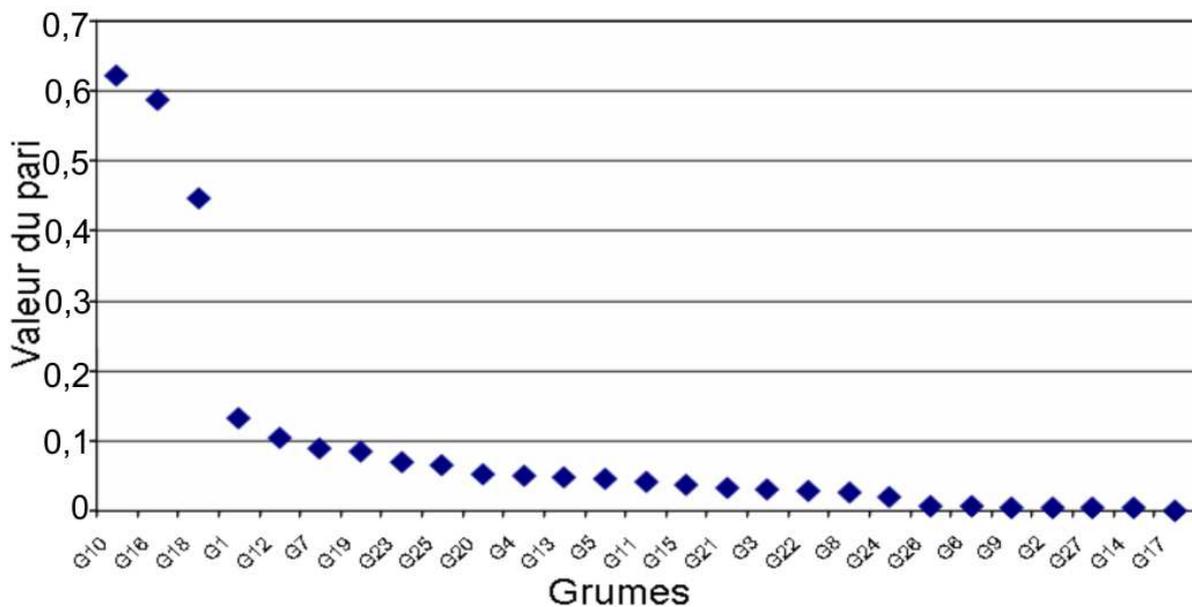


FIG. H.16: Classement des grumes par attribution d'un rang pour le **groupe 3** d'après le modèle des paris équilibrés.

Les grumes sont classées de gauche à droite par ordre de préférence décroissante.

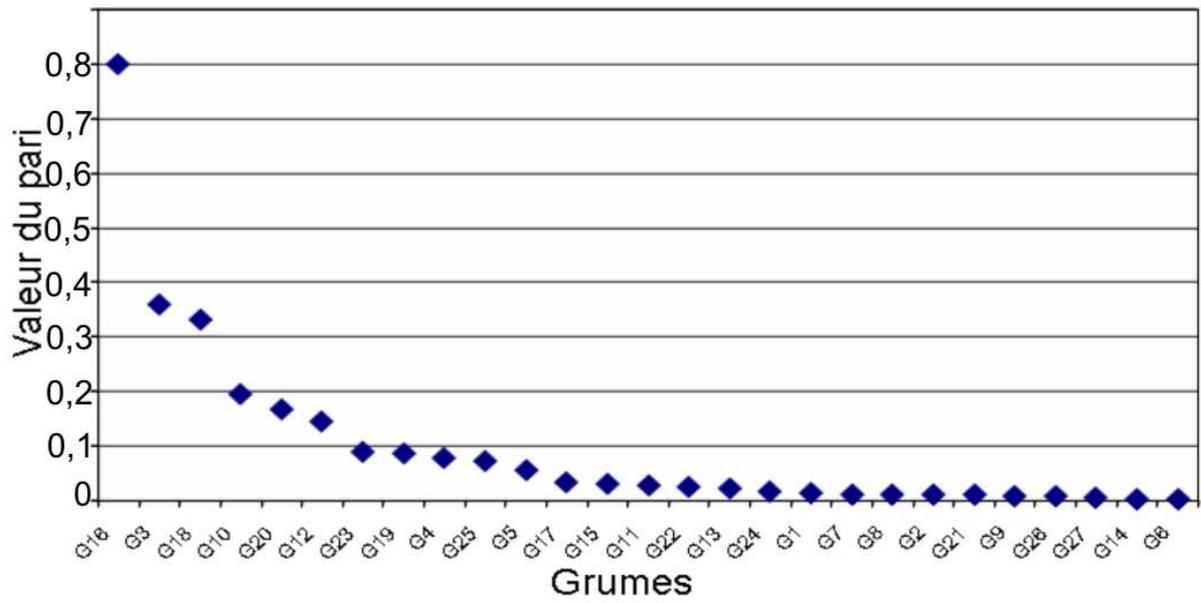


FIG. H.17: Classement des grumes par attribution d'un rang pour le **groupe 4** d'après le modèle des paris équilibrés.

Les grumes sont classées de gauche à droite par ordre de préférence décroissante.

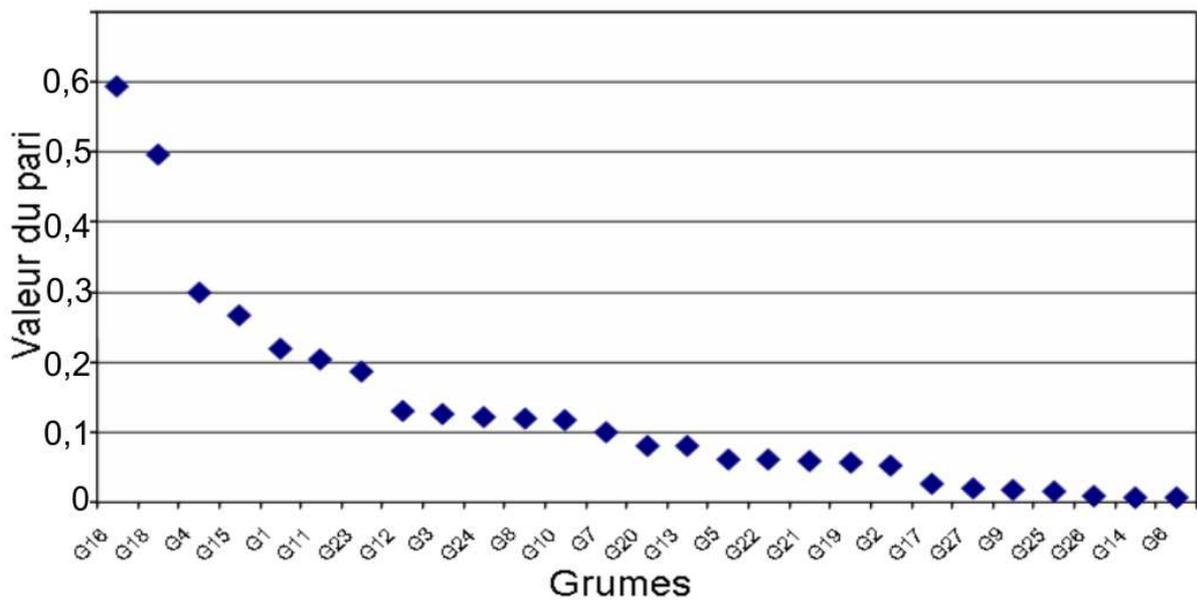


FIG. H.18: Classement des grumes par attribution d'un rang pour le **groupe 5** d'après le modèle des paris équilibrés.

Les grumes sont classées de gauche à droite par ordre de préférence décroissante.

	Général	Groupe 1	Groupe 2	Groupe3	Groupe 4	Groupe5
general	1,00	0,85***	0,70***	0,46***	0,56***	0,70***
groupe1	0,85***	1,00	0,62***	0,42***	0,51***	0,58***
groupe2	0,70***	0,62***	1,00	0,42***	0,37***	0,56***
groupe3	0,46***	0,42***	0,42***	1,00	0,56***	0,48***
groupe4	0,56***	0,51***	0,37***	0,56***	1,00	0,49***
groupe5	0,70***	0,58***	0,56***	0,48***	0,49***	1,00

TAB. H.7: Corrélacion entre les classements (Coefficient des rang τ de Kendall. *** indique une $pc < \text{à } 0,001$)

H.3.2 Classement des défauts

Rang	Général		Groupe1		Groupe2		Groupe3		Groupe4		Groupe5	
	Def	Util g	Def	Util1	Def	Util2	Def	Util3	Def	Util4	Def	Util
1	fen	0,76	pic	2,58	acc	6,68	rose	1,79	NS	0,37	pic	1,86
2	NS	1,33	NS	3,69	exc	6,91	fil	3,18	fen	5,27	NS	2,54
3	rou	2,35	mep	4,06	brou	7,18	cour	3,78	rou	5,73	mep	2,83
4	mep	3,34	fen	4,61	rou	7,20	fen	4,97	NP	6,09	fen	3,81
5	acc	7,58	rou	4,98	NP	7,54	NS	6,36	mep	7,15	rou	4,39
6	pic	7,96	acc	5,35	fen	7,62	mep	6,76	courl	7,28	acc	6,05
7	exc	9,22	exc	7,56	mep	7,70	rou	7,16	acc	7,56	fil	7,52
8	cou	9,36	NP	8,49	fil	7,77	pic	7,36	fil	8,29	courl	7,71
9	brou	9,59	cour	9,96	rose	7,82	brou	7,55	exc	10,03	brou	7,91
10	cour	10,92	courl	9,96	courl	8,04	exc	7,55	pic	10,08	rose	9,96
11	fil	11,63	brou	11,62	cour	8,26	acc	8,55	rose	10,31	exc	12,40
12	NP	11,94	fil	12,92	pic	8,53	NP	15,90	brou	10,49	cour	15,23
13	rose	14,03	rose	14,21	NS	8,76	courl	19,09	cour	11,36	NP	17,77

TAB. H.8: Classement des défauts par mesure de l'utilité

	Général	Groupe 1	Groupe 2	Groupe3	Groupe 4	Groupe5
general	1,00	0,64**	0,03	0,03	0,51*	0,56**
groupe 1	0,64**	1,00	-0,13	-0,08	0,41	0,62**
groupe 2	0,03	-0,13	1,00	-0,33	0,05	-0,21
groupe 3	0,03	-0,08	-0,33	1,00	-0,10	0,10
groupe 4	0,51*	0,41	0,05	-0,10	1,00	0,38
groupe 5	0,56**	0,62**	-0,21	0,10	0,38	1,00

TAB. H.9: Corrélacion entre les classements.(Coefficient des rang τ de Kendall. *** indique une $pc < \text{à } 0.001$)

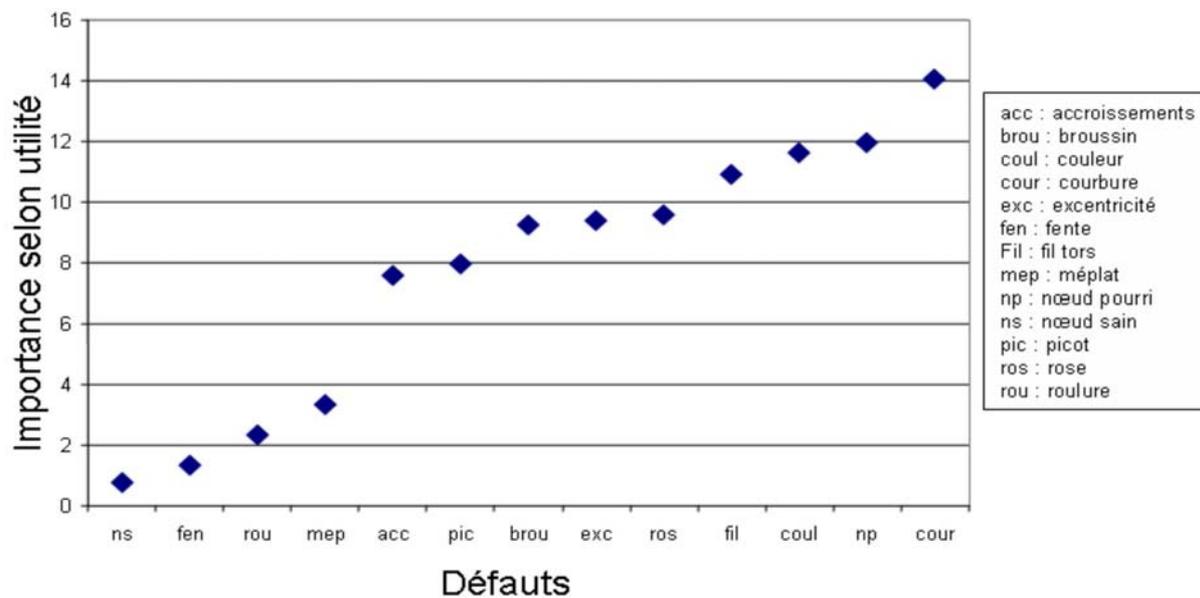


FIG. H.19: Classement **général** des défauts par mesure de l'utilité.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.

Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).

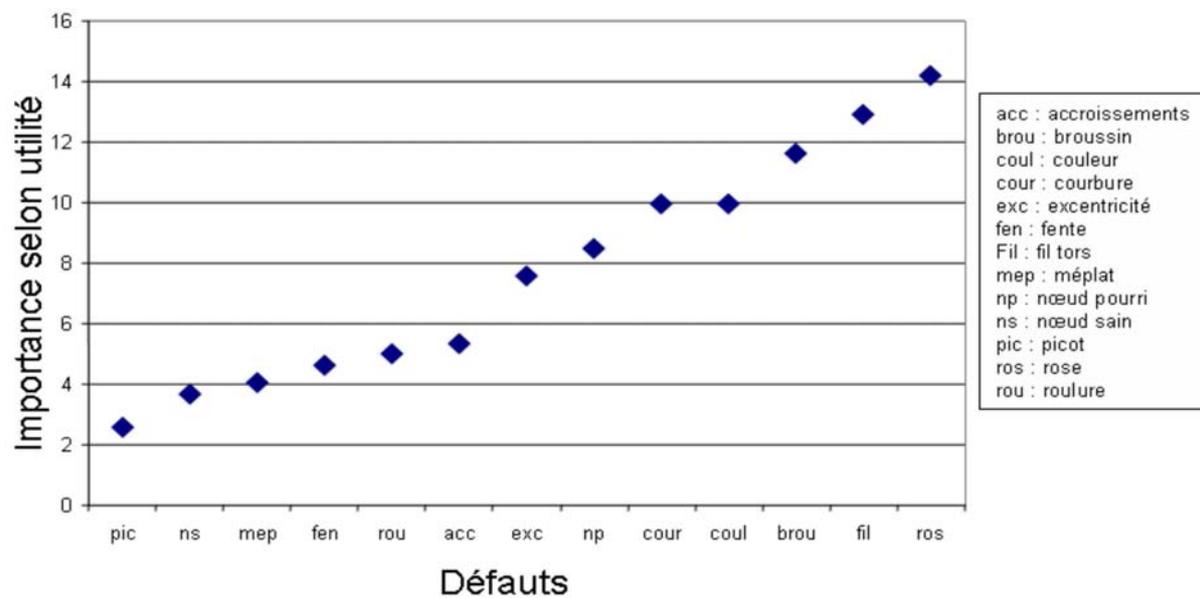


FIG. H.20: Classement des défauts par mesure de l'utilité pour le **groupe 1**.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.

Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).

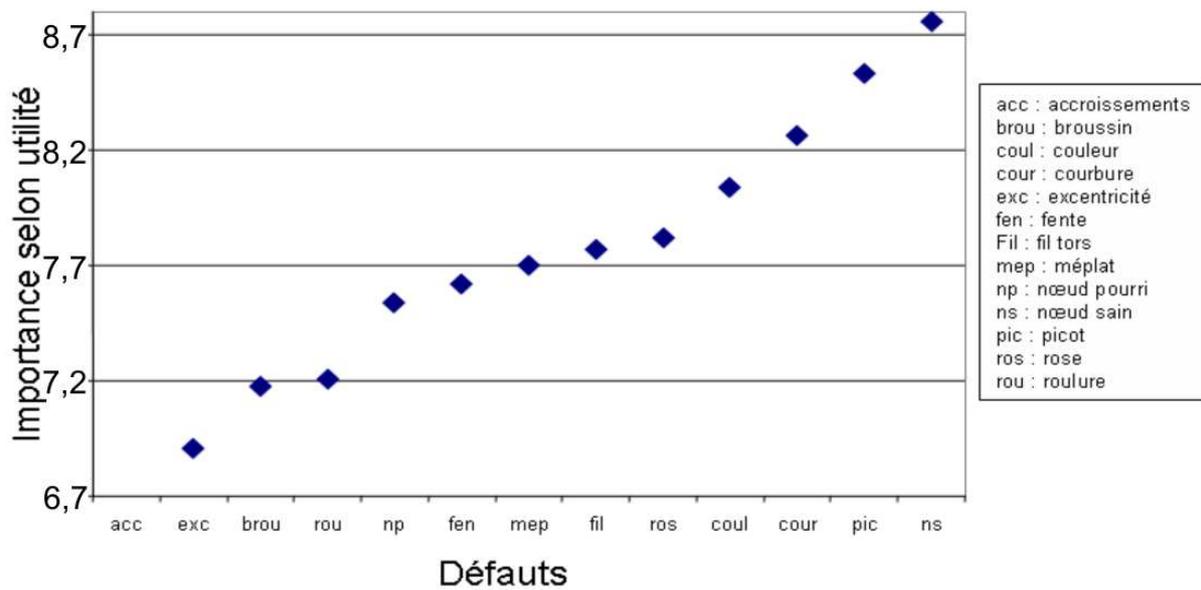


FIG. H.21: Classement des défauts par mesure de l'utilité pour le **groupe 2**.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.

Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).

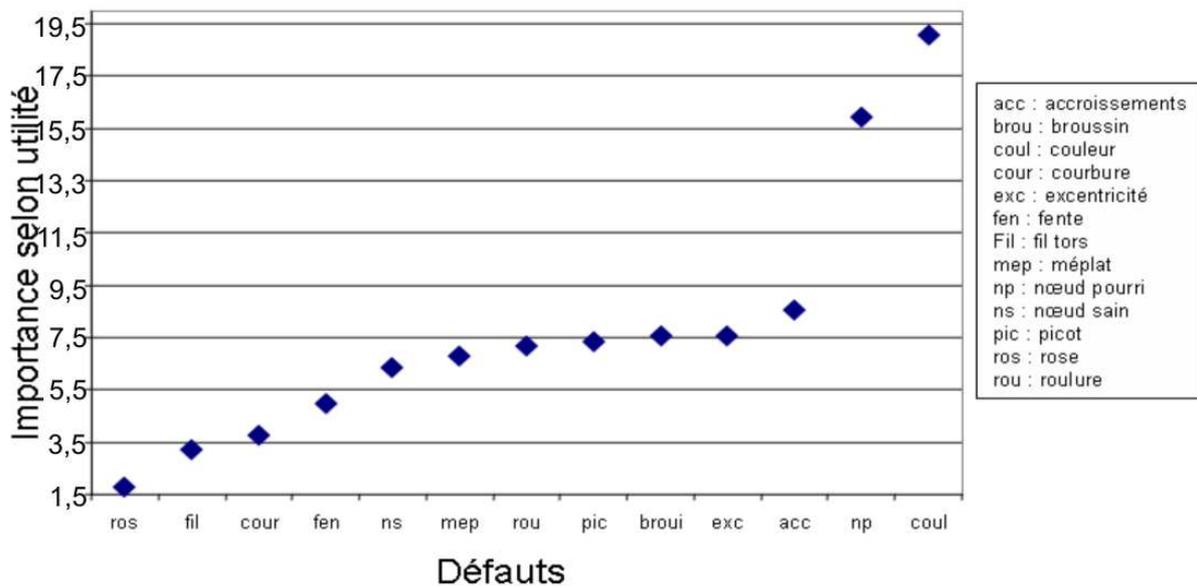


FIG. H.22: Classement des défauts par mesure de l'utilité pour le **groupe 3**.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.

Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).

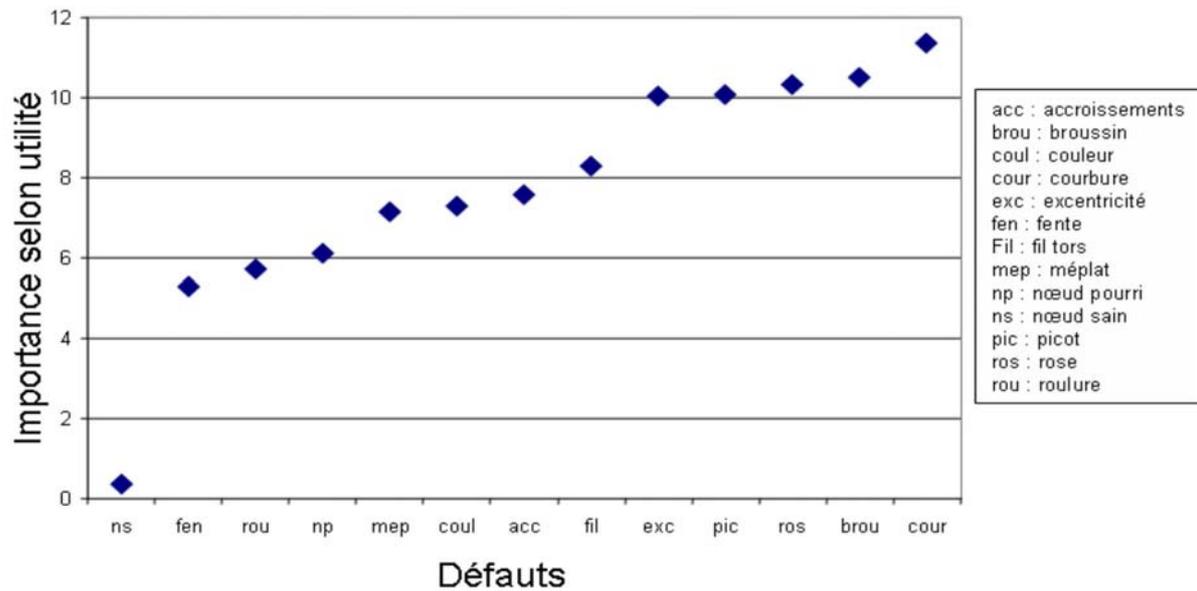


FIG. H.23: Classement des défauts par mesure de l'utilité pour le **groupe 4**.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.

Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).

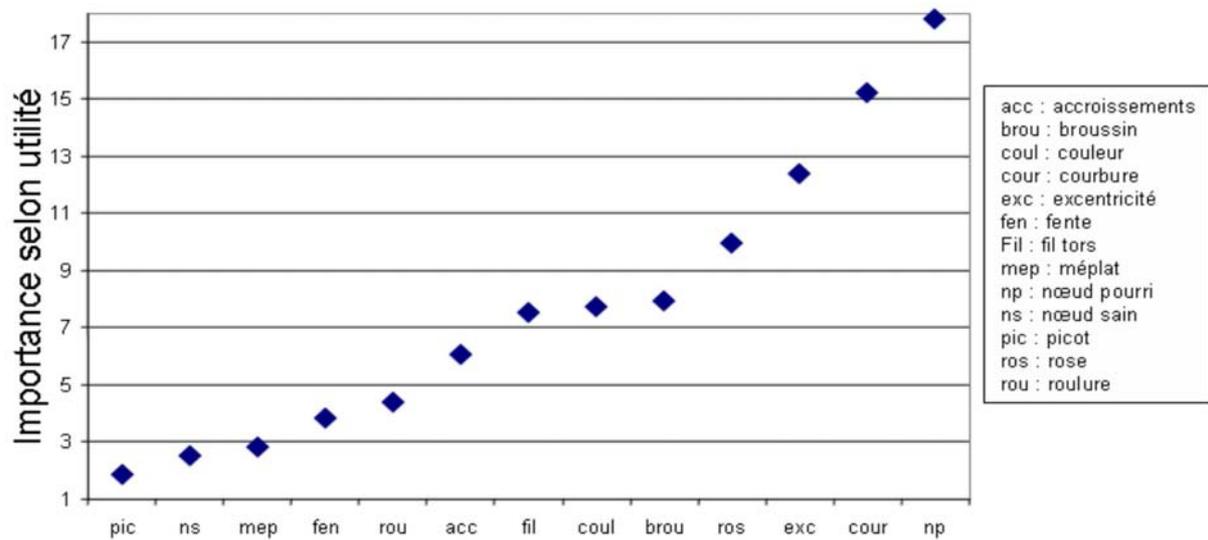


FIG. H.24: Classement des défauts par mesure de l'utilité pour le **groupe 5**.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.

Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).

H.4 Classement des grumes et des défauts à l'aide du modèle de Bradley-Terry

H.4.0.1 Classement des grumes

Général		Groupe1		Groupe2		Groupe3		Groupe4		Groupe5	
gr	Vgen	gr	V1	gr	V2	gr	V3	gr	V4	Gr	V5
16	27,92	16	19,70	16	100,00	16	29,63	16	33,09	18	15,96
18	11,35	7	9,74	10	26,46	10	19,66	3	14,87	16	15,03
15	9,66	18	9,06	18	18,16	18	13,38	18	12,94	4	8,26
7	6,34	15	9,00	1	8,64	1	6,41	20	7,09	1	6,44
9	4,90	9	5,83	4	8,42	12	3,10	12	5,04	15	5,99
12	4,60	22	5,22	12	5,46	15	2,58	10	4,47	11	5,17
22	3,78	12	5,00	5	5,02	20	2,38	5	2,68	24	4,58
10	3,59	10	4,62	8	3,90	4	2,36	25	2,65	23	4,50
20	2,91	13	2,83	23	3,18	13	2,21	23	2,49	10	3,60
13	2,87	11	2,62	3	2,64	5	2,16	15	1,90	8	3,35
1	2,12	24	2,47	21	2,19	19	2,10	19	1,72	20	3,32
11	2,11	4	2,34	7	2,05	7	1,63	4	1,66	5	3,03
5	2,05	1	2,26	24	1,89	23	1,59	22	1,62	3	2,95
26	1,84	23	2,22	20	1,35	22	1,56	8	1,47	7	2,82
23	1,65	5	2,22	15	1,29	8	1,43	26	1,00	12	2,73
24	1,64	26	2,04	2	1,25	3	1,36	17	0,96	13	1,82
4	1,60	20	1,90	25	1,14	11	1,15	24	0,66	22	1,81
27	1,59	17	1,86	27	1,05	21	1,04	9	0,63	21	1,63
19	1,27	3	1,73	11	0,94	25	0,91	13	0,59	2	1,46
17	0,99	27	1,62	22	0,91	24	0,85	11	0,54	19	1,29
8	0,99	21	1,48	19	0,83	26	0,79	21	0,44	26	1,11
6	0,98	19	1,38	26	0,73	6	0,70	2	0,41	25	0,73
21	0,97	8	0,90	13	0,70	9	0,33	1	0,39	17	0,65
3	0,90	6	0,87	9	0,70	2	0,24	6	0,25	9	0,63
25	0,88	25	0,73	17	0,63	27	0,24	7	0,22	27	0,53
2	0,34	2	0,26	6	0,27	17	0,10	27	0,13	14	0,43
14	0,19	14	0,06	14	0,22	14	0,10	14	0,08	6	0,20

TAB. H.10: Classement des grumes par application du modèle de Bradley-Terry

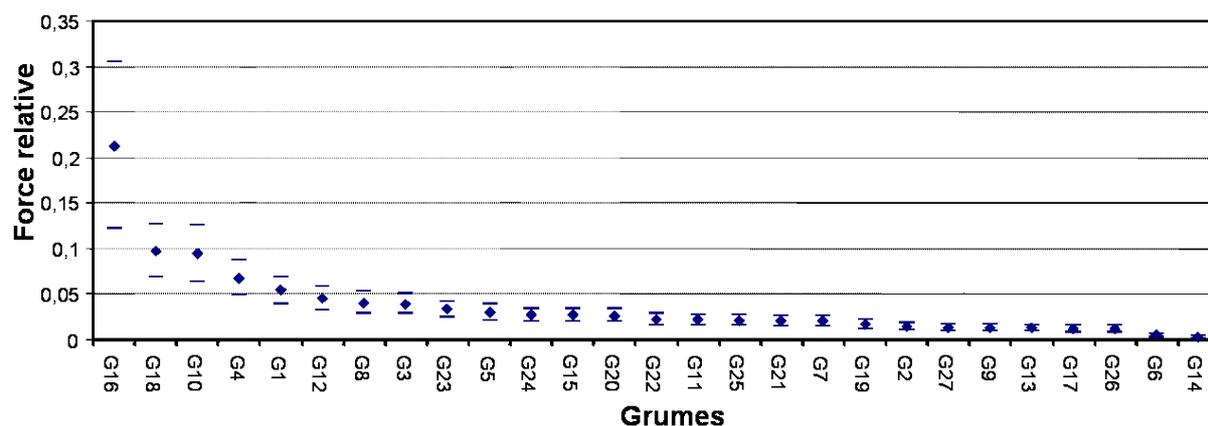


FIG. H.25: Classement général des grumes par attribution d'une force d'après le modèle de Bradley-Terry.

Les grumes sont classées de gauche à droite par ordre de préférence décroissante.
Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).
Les traits horizontaux représentent les intervalles de confiance approximatifs à 95%.

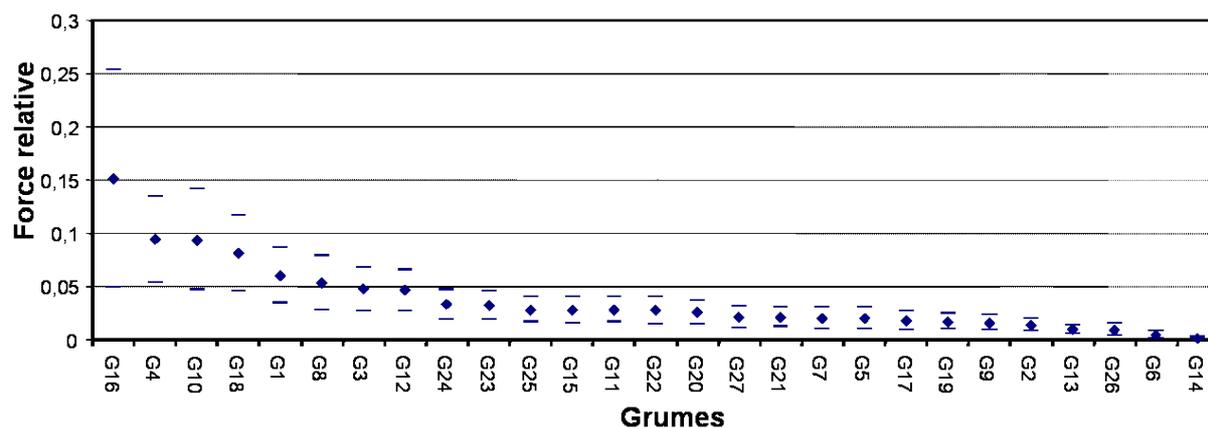


FIG. H.26: Classement général des grumes par attribution d'une force pour le groupe 1 d'après le modèle de Bradley-Terry.

Les grumes sont classées de gauche à droite par ordre de préférence décroissante.
Les traits horizontaux représentent les intervalles de confiance approximatifs à 95%.

	general	groupe1	groupe2	groupe3	groupe4	groupe5
general	1,00	0,82***	0,68***	0,62***	0,53***	0,68***
groupe1	0,82***	1,00	0,62***	0,49***	0,47***	0,62***
groupe2	0,68***	0,62***	1,00	0,53	0,36**	1,00***
groupe3	0,62***	0,49***	0,53***	1,00	0,49	0,53***
groupe4	0,53***	0,47***	0,36**	0,49***	1,00	0,36**
groupe5	0,68***	0,62***	1,00***	0,53***	0,36**	1,00

TAB. H.11: Corrélation entre les classements. (Coefficient des rang τ de Kendall. *** indique une $pc < 0,001$)

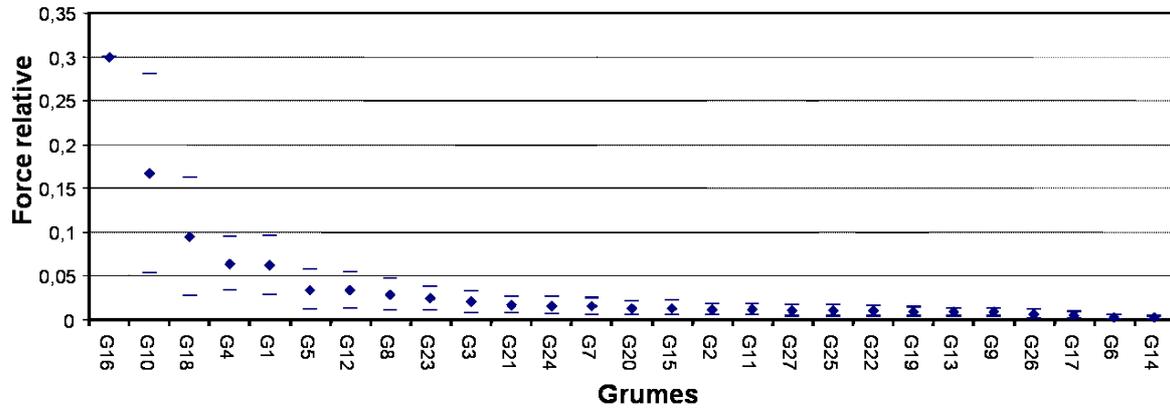


FIG. H.27: Classement général des grumes par attribution d'une force pour le groupe 2 d'après le modèle de Bradley-Terry.
 Les grumes sont classées de gauche à droite par ordre de préférence décroissante.
 Les traits horizontaux représentent les intervalles de confiance approximatifs à 95%.

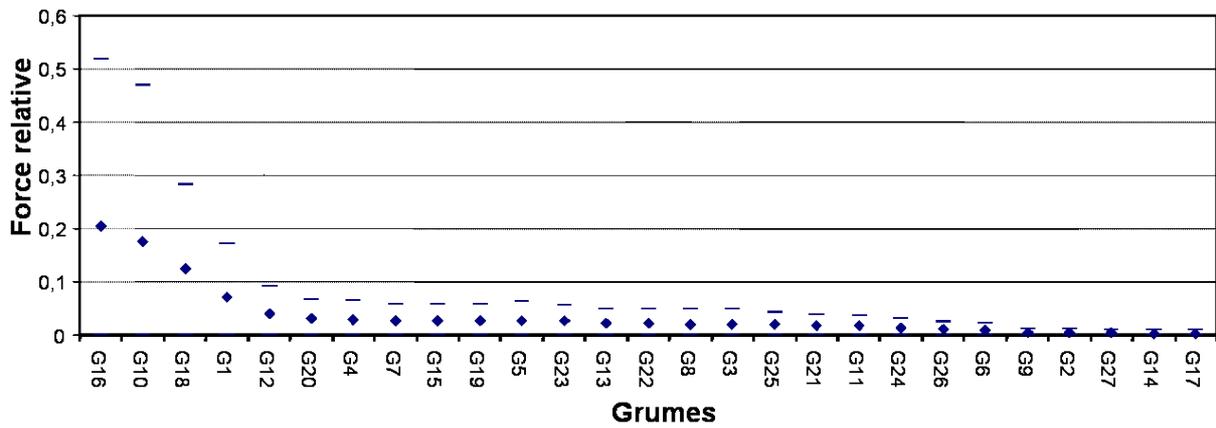


FIG. H.28: Classement général des grumes par attribution d'une force pour le groupe 3 d'après le modèle de Bradley-Terry.
 Les grumes sont classées de gauche à droite par ordre de préférence décroissante.
 Les traits horizontaux représentent les intervalles de confiance approximatifs à 95%.

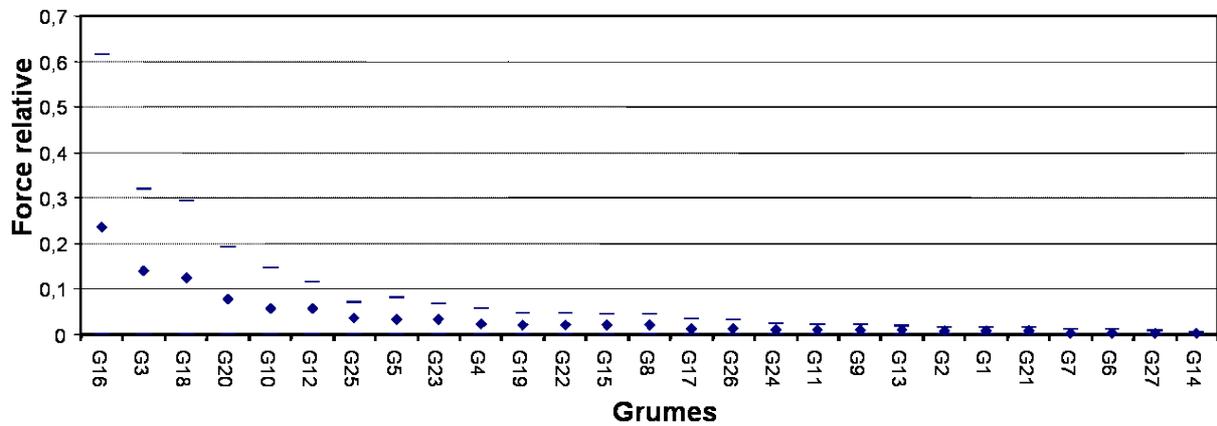


FIG. H.29: Classement général des grumes par attribution d'une force pour le groupe 4 d'après le modèle de Bradley-Terry.

Les grumes sont classées de gauche à droite par ordre de préférence décroissante.
Les traits horizontaux représentent les intervalles de confiance approximatifs à 95%.

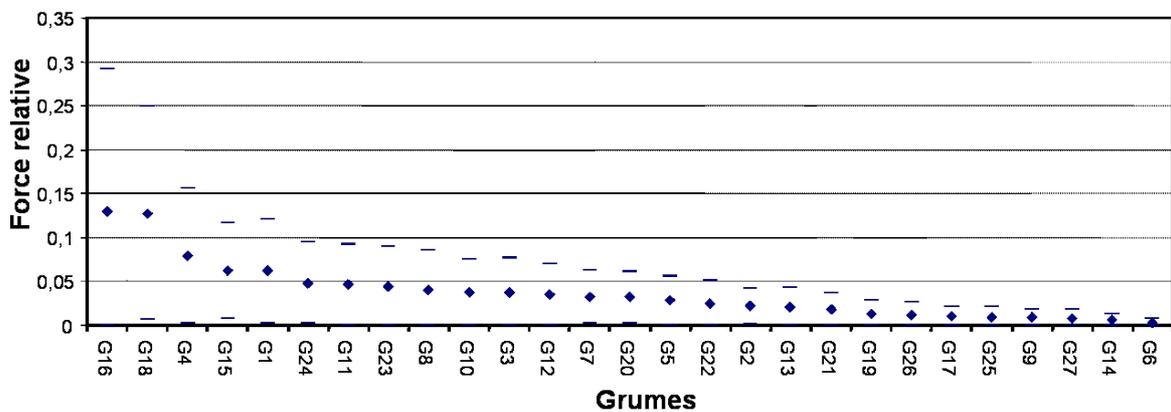


FIG. H.30: Classement général des grumes par attribution d'une force pour le groupe 5 d'après le modèle de Bradley-Terry.

Les grumes sont classées de gauche à droite par ordre de préférence décroissante.
Les traits horizontaux représentent les intervalles de confiance approximatifs à 95%.

H.4.0.2 Classement des défauts

Général		Groupe1		Groupe2		Groupe3		Groupe4		Groupe5	
tous	COL1	g1	COL1	g2	COL1	g3	COL1	g4	COL1	g5	COL1
exc	0,03	exc	0,01	exc	0,02	mep	0,07	fen	0,00	NS	0,02
fen	0,06	fen	0,02	pic	0,04	exc	0,12	NP	0,06	fen	0,03
pic	0,08	pic	0,02	fen	0,07	courb	0,15	exc	0,08	pic	0,05
coul	0,11	coul	0,08	coul	0,10	rose	0,17	roul	0,08	mep	0,06
ns	0,15	mep	0,14	NS	0,16	coul	0,19	rose	0,10	coul	0,09
mep	0,17	NS	0,16	courb	0,17	fil	0,20	acc	0,11	roul	0,12
roul	0,19	roul	0,21	roul	0,19	NS	0,21	coul	0,18	exc	0,21
cour	0,22	acc	0,21	mep	0,21	brou	0,25	NS	0,23	rose	0,24
np	0,25	NP	0,22	NP	0,28	fen	0,27	fil	0,27	courb	0,26
acc	0,27	courb	0,25	fil	0,30	acc	0,27	mep	0,30	acc	0,26
brou	0,30	brou	0,31	brou	0,33	NP	0,28	brou	0,30	brou	0,27
ros	0,30	fil	0,32	rose	0,33	roul	0,32	courb	0,32	fil	0,29
fil	0,31	rose	0,33	acc	0,35	pic	0,37	pic	0,46	NP	0,43
const	3,44	const	3,30	const	3,56	const	3,87	const	3,50	const	3,37

TAB. H.12: Classement des défauts par application du modèle de Bradley Terry

	general	groupe1	groupe2	groupe3	groupe4	groupe5
general	1,00	0,87***	0,77***	-0,05	-0,13	0,56**
groupe1	0,87***	1,00	0,69***	-0,08	-0,10	0,49*
groupe2	0,77***	0,69***	1,00	-0,03	-0,05	0,38
groupe3	-0,05	-0,08	-0,03	1,00	0,10	0,03
groupe4	-0,13	-0,10	-0,05	0,10	1,00	0,05
groupe5	0,56**	0,49*	0,38	0,03	0,05	1,00

TAB. H.13: Corrélation entre les classement.(Coefficient des rang τ de Kendall. *** indique une pc < à 0,001)

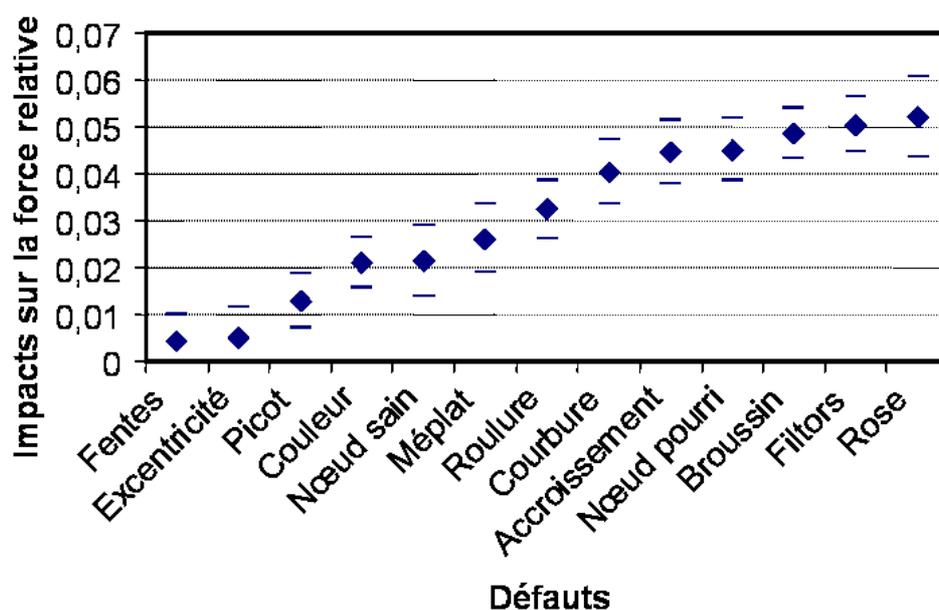


FIG. H.31: Classement **général** des défauts par mesure de l'impact de défaut sur la force de la grume.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.

Les scores obtenus sont pondérés par le poids des interviewés présentés dans le tableau (T39).

Les traits horizontaux représentent les intervalles de confiance approximatifs à 95%.

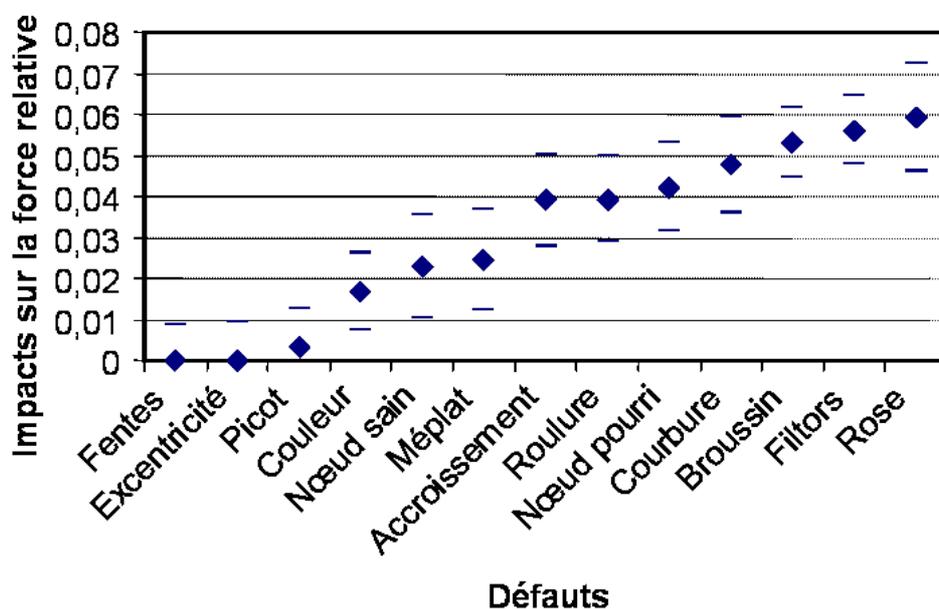


FIG. H.32: Classement des défauts pour le **groupe 1** par mesure de l'impact du défaut sur la force de la grume.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.

Les traits horizontaux représentent les intervalles de confiance approximatifs à 95%.

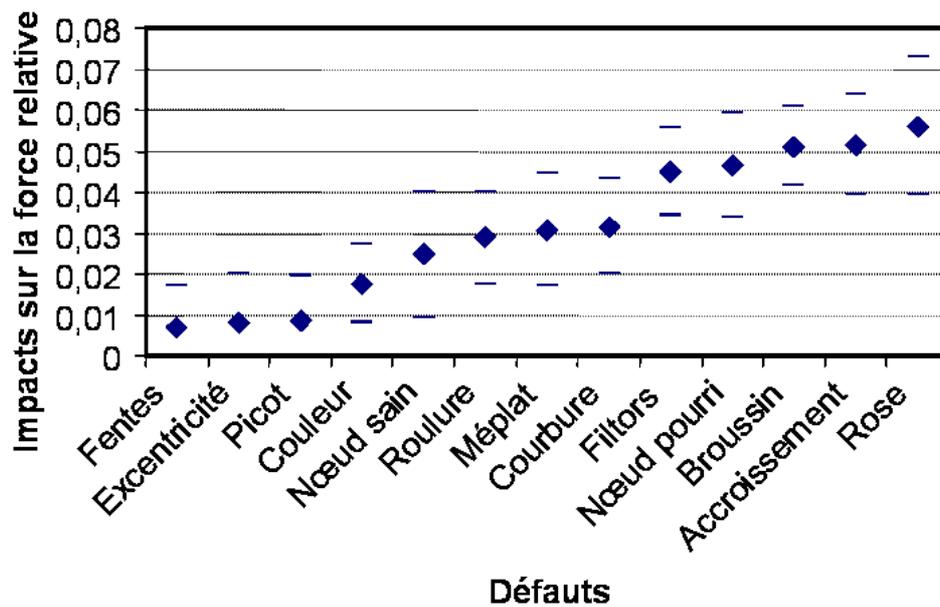


FIG. H.33: Classement des défauts pour le **groupe 2** par mesure de l'impact du défaut sur la force de la grume.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.
Les traits horizontaux représentent les intervalles de confiance approximatifs à 95%.

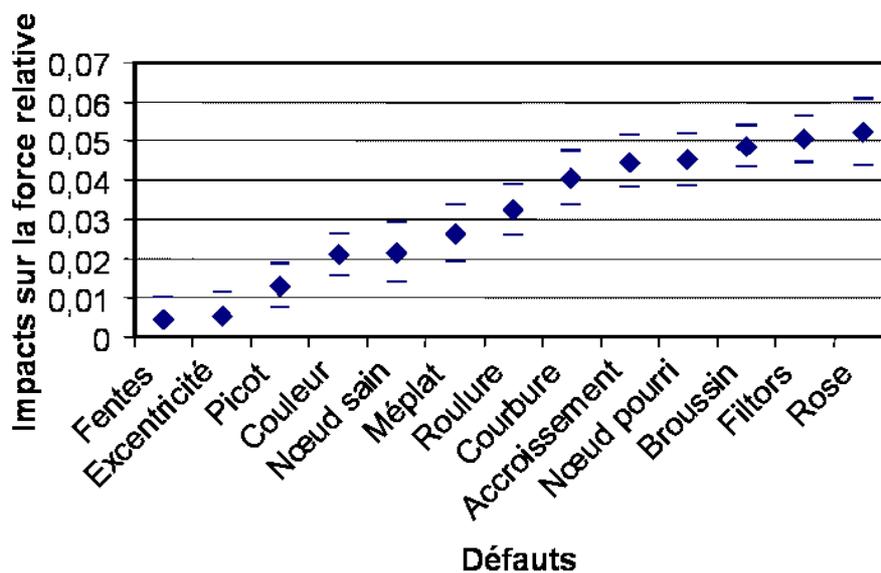


FIG. H.34: Classement des défauts pour le **groupe 3** par mesure de l'impact du défaut sur la force de la grume.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.
Les traits horizontaux représentent les intervalles de confiance approximatifs à 95%.

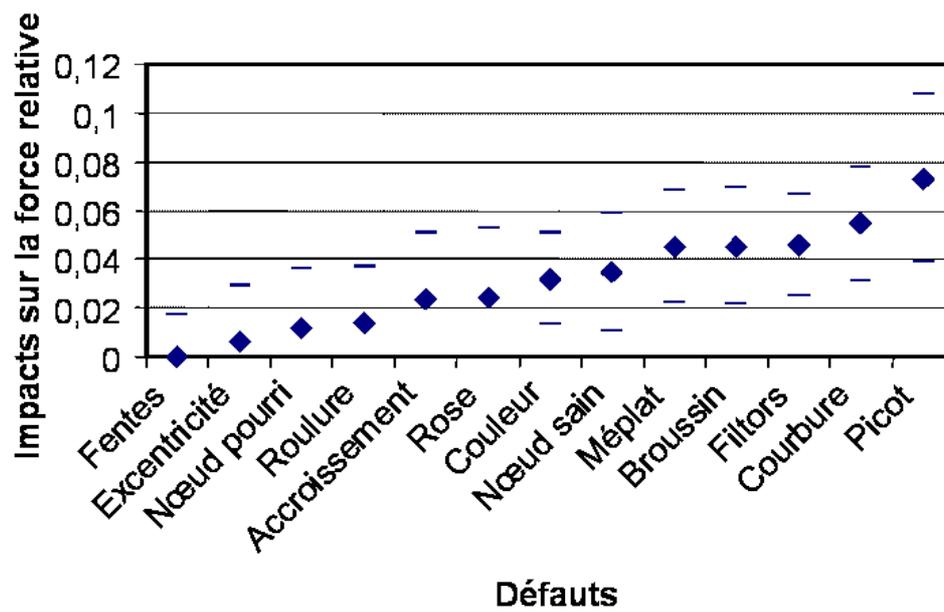


FIG. H.35: Classement des défauts pour le **groupe 4** par mesure de l'impact du défaut sur la force de la grume.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.
Les traits horizontaux représentent les intervalles de confiance approximatifs à 95%.

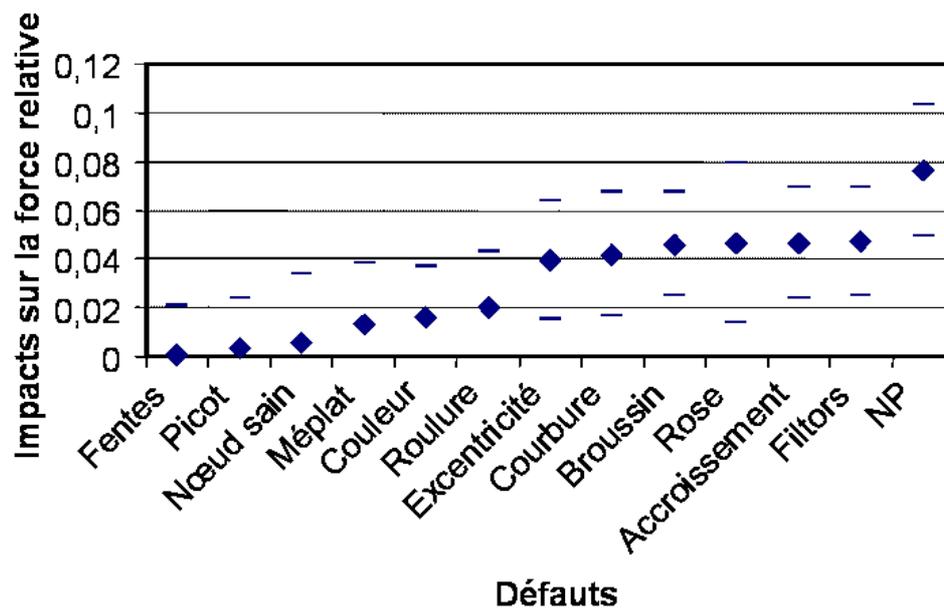


FIG. H.36: Classement des défauts pour le **groupe 5** par mesure de l'impact du défaut sur la force de la grume.

Les défauts sont classés de gauche à droite par ordre de gravité croissante.
Les traits horizontaux représentent les intervalles de confiance approximatifs à 95%.

Table des figures

F1	Photographie de l'aubier	6
F2	Photographie de cernes de Chên	7
F3	Photographie de nœud noir	7
F4	Photographie de rose	8
F5	Photographie de gourmand	8
F6	Photographie de picot	8
F7	Photographie d'arbre brogneux	8
F8	Loupe de Chêne.	9
F9	Photographie de fil (écorce).	9
F10	Photographie de lunure	9
F11	Photographie de courbure	10
F12	Photographie de fentes de cœur et de cadranure	10
F13	Photographie de roulure	11
F14	Photographie de cœur brun	11
F15	Photographie de pourriture blanche	12
F16	Photographie de traces de galeries de larves	12
F17	Courbes de l'offre et de la demande	26
F18	Variations des prix consécutives à des modifications de l'offre et de la demande	27
F19	Évolution des prix moyens du Chêne de futaie de 1950 à 1995	29
F20	Prix unitaire par département des grumes de Chêne (ventes 1999)	30
F21	Localisation de Bad Mergentheim (Allemagne).	40

F22	Localisation des places de vente autour de Bad Mergentheim.	41
F23	Disposition des grumes lors de la vente de Bad Mergentheim	41
F24	Essences représentées dans la vente de Bad Mergentheim	43
F25	Répartitions de l'ensembles des grumes de Chêne de la vente de Bad Mergentheim en classes de qualité, diamètre et longueur	44
F26	Répartitions en classes de qualité, diamètre et longueur des grumes de Chêne vendues individuellement à Bad Mergentheim	45
F27	Histogramme des soumissions proposées pour les lots de Chêne à la vente de Bad Mergentheim.	48
F28	Histogramme des soumissions gagnantes concernant les lots de Chêne de la vente de Bad Mergentheim.	48
F29	Répartition des soumissions en fonction des acheteurs et des places de vente . . .	53
F30	Prix prédits et intervalles de confiances d'après le modèle établi lors du DEA . .	56
F31	Boîtes à moustaches des soumissions en fonction des qualités présentes dans le lot.	58
F32	Grume prête à être photographiée après disposition des règles, des équerres, des rubans et de la palette de couleurs de référence.	66
F33	Répartition des grumes photographiées	68
F34	Copie d'écran illustrant le fonctionnement de Photomodeler.	68
F35	Mode de calcul du centre de gravité G de la section.	70
F36	Précision de la méthode photogrammétrique : mesure de la longueur	72
F37	Précision de la méthode photogrammétrique : mesure d'angle	72
F38	Présentation de l'AMEB	73
F39	Rendu des représentations de grume en 3D	74
F40	Précision de la mesure des grumes par la technique photogrammétrique.	75
F41	Histogramme de l'ensemble des soumissions proposées en fonction du groupe d'acheteur pour les 70 grumes étudiées.	76
F42	Cercle des corrélations (Axes 1 et 2) des variables mesurant les caractéristiques des grumes individuelles étudiées.	77
F43	Cercle des corrélations (Axes 1 et 3) des variables mesurant les caractéristiques des grumes individuelles étudiées.	78
F44	Histogramme des précisions relatives calculées à partir des validations croisées pour tous les groupes confondus.	88

F45	Histogramme des précisions relatives calculées à partir des validations croisées pour les trancheurs.	89
F46	Histogramme des précisions relatives calculées à partir des validations croisées pour les merrandiers.	90
F47	Histogramme des précisions relatives calculées à partir des validations croisées pour les scieries de haute valorisation.	91
F48	Histogramme des précisions relatives calculées à partir des validations croisées pour les scieries spécialisées de qualité.	93
F49	Histogramme des précisions relatives calculées à partir des validations croisées pour les scieries de qualité moyenne	94
F50	Classement d'importance des défauts par fréquence de sélection lors des validations croisées.	95
F51	Arbre de régression : présentation de la première division des données	99
F52	Arbre de régression final	100
F53	Classement d'importance des défauts à l'aide des forêts aléatoires de Breiman. . .	102
F54	Algorithme Métropolis et recuit simulé ([115], [128]).	124
F55	Profil de tige établi à partir du modèle de ([55]) et utilisé pour décrire la forme des grumes virtuelles	126
F56	Calcul du rayon de courbure connaissant la valeur de la flèche et la longueur de la corde.	126
F57	Présentation des deux niveaux de courbures choisis pour la création des grumes virtuelles.	127
F58	Illustration de l'enveloppe finale obtenue pour la création d'une grume virtuelle. .	127
F59	Représentation de sections appliquées aux grumes virtuelles	128
F60	Illustration du choix du positionnement horizontal des défauts grâce à la théorie des hélices foliaires.	129
F61	Fonction de densité adoptée pour la probabilité de présence des roses (à gauche) et des noeuds (à droite) en fonction de la hauteur dans la grume.	129
F62	Exemple de représentation de l'enveloppe pour une grume virtuelle schématique (à gauche) et une grume virtuelle réaliste (à droite).	130
F63	Présentation d'une des 27 cartes présentées aux personnes enquêtées.	132
F64	Regroupement des grumes par triplettes : première série de 9 questions et distances par rapport à la grume A.	133

F65	Deuxième étape dans le regroupement des grumes en triplettes : élaboration d'un maillage continu.	133
F66	Dernière étape dans le regroupement des grumes en triplettes : rapprochement maximal des grumes.	134
F67	Arbre de classification pour réaliser la typologie des premiers transformateurs de Chêne en France	142
F68	Classement général des grumes par comptage	148
F69	Classement général des défauts par comptage	149
F70	Classement général des grumes par attribution d'un rang	150
F71	Classement général des défauts par mesure de l'utilité	151
F72	Classement général des grumes par attribution d'une force d'après le modèle de Bradley-Terry	152
F73	Classement général des défauts par mesure de l'impact des défauts sur la force de la grume	153
F74	Classement général des défauts à partir de radars	173
A.1	Norme de classement des grumes de Chêne CEE 1968, partie 1.	201
A.2	Norme de classement des grumes de Chêne CEE 1968, partie 2.	202
A.3	Norme de classement des grumes de Chêne ONF Moselle et Luxembourg, 1986.	203
A.4	Norme de classement des grumes de Chêne ONF Moselle , 1992.	204
A.5	Norme de classement des grumes de Chêne CTBA , 1992.	205
A.6	Norme de classement des grumes de Chêne européenne , 1997.	206
B.1	Histogramme du nombre de pièces par lot mis en vente à la vente allemande de Bad Mergentheim	208
B.2	Histogramme des volumes moyens des pièces par lot mis en vente à la vente allemande de Bad Mergentheim	208
B.3	Histogramme des longueurs moyennes des pièces par lot mis en vente à la vente allemande de Bad Mergentheim	209
B.4	Histogramme des diamètres moyens des pièces par lot mis en vente à la vente allemande de Bad Mergentheim	209
B.5	Répartitions des grumes sur la place de vente "Beckstein"	210
B.6	Répartitions des grumes sur la place de vente "Neuses"	211

B.7	Répartitions des grumes sur la place de vente "Roggenberg"	212
B.8	Répartitions des grumes sur la place de vente "T1"	213
C.1	Résidus du modèle (E 9) en fonction de la qualité moyenne du lot.	218
C.2	Résidus du modèle E 22 appliqué aux soumissions maximales.	219
C.3	Résidus du modèle E 22 appliqué aux soumissions maximales du groupe des tran- cheurs.	219
C.4	Résidus du modèle E 22 appliqué aux soumissions maximales du groupe des mer- randiers.	220
C.5	Résidus du modèle E 22 appliqué aux soumissions maximales du groupe des scieries de haute valorisation.	220
C.6	Résidus du modèle E 22 appliqués aux soumissions maximales du groupe des scieries de de qualité spécialisées.	221
C.7	Résidus du modèle E 22 appliqué aux soumissions maximales du groupe des scieries de de qualité moyenne.	221
D.1	Histogramme de l'excentricité (à gauche) et de l'épaisseur d'aubier (à droite). . .	224
D.2	Histogramme de la courbure (à gauche) et du fil tors (à droite).	224
D.3	Histogrammes de la roulure : longueur totale (à gauche) et diamètre (à droite). .	225
D.4	Histogrammes des roses de niveau 1 (à gauche) et de celles de niveau 2 (à droite). .	225
D.5	Histogrammes des roses de niveau 3 (à gauche) et des broussins (à droite).	226
D.6	Histogrammes des fentes de pied (à gauche) et de fin bout (à droite).	226
D.7	Histogramme du méplat	227
E.1	Valeurs privées en fonction des soumissions toutes activités et qualités confondues	232
E.2	Valeurs privées en fonction des soumissions pour chaque groupe d'acheteurs . . .	234
E.3	Valeurs privées en fonction des soumissions pour chaque groupe d'acheteurs . . .	235
G.1	Cercle des corrélations	242
G.2	Espace des individus	243
G.3	Arbre de classification	244
G.4	Espace des individus (axes 1 et 2)	245
G.5	Espace des individus (axes 1 et 3)	246
G.6	Cercle des corrélations	247
G.7	Espace des individus	248

H.1 Classement général des grumes par comptage	250
H.2 Classement des grumes par comptage pour le groupe 1	252
H.3 Classement des grumes par comptage pour le groupe 2	252
H.4 Classement des grumes par comptage pour le groupe 3	253
H.5 Classement des grumes par comptage pour le groupe 4	253
H.6 Classement des grumes par comptage pour le groupe 5	254
H.7 Classement général des défauts par comptage	256
H.8 Classement des défauts par comptage pour le groupe 1	256
H.9 Classement des défauts par comptage pour le groupe 2	257
H.10 Classement des défauts par comptage pour le groupe 3	257
H.11 Classement des défauts par comptage pour le groupe 4	258
H.12 Classement des défauts par comptage pour le groupe 5	258
H.13 Classement général des grumes par attribution d'un rang	260
H.14 Classement des grumes par attribution d'un rang pour le groupe 1	260
H.15 Classement des grumes par attribution d'un rang pour le groupe 2	261
H.16 Classement des grumes par attribution d'un rang pour le groupe 3	261
H.17 Classement des grumes par attribution d'un rang pour le groupe 4	262
H.18 Classement des grumes par attribution d'un rang pour le groupe 5	262
H.19 Classement général des défauts par mesure de l'utilité	265
H.20 Classement des défauts par mesure de l'utilité pour le groupe 1	265
H.21 Classement des défauts par mesure de l'utilité pour le groupe 2	266
H.22 Classement des défauts par mesure de l'utilité pour le groupe 3	266
H.23 Classement des défauts par mesure de l'utilité pour le groupe 4	267
H.24 Classement des défauts par mesure de l'utilité pour le groupe 5	267
H.25 Classement général des grumes par attribution d'une force d'après le modèle de Bradley-Terry	269
H.26 Classement des grumes par attribution d'une force pour le groupe 1 d'après le modèle de Bradley-Terry	269
H.27 Classement des grumes par attribution d'une force pour le groupe 2 d'après le modèle de Bradley-Terry	270

H.28 Classement des grumes par attribution d'une force pour le groupe 3 d'après le modèle de Bradley-Terry	270
H.29 Classement des grumes par attribution d'une force pour le groupe 4 d'après le modèle de Bradley-Terry	271
H.30 Classement des grumes par attribution d'une force pour le groupe 5 d'après le modèle de Bradley-Terry	271
H.31 Classement général des défauts par mesure de l'impact du défaut sur la force de la grume	273
H.32 Classement des défauts pour le groupe 1 par mesure de l'impact du défaut sur la force de la grume	273
H.33 Classement des défauts pour le groupe 2 par mesure de l'impact du défaut sur la force de la grume	274
H.34 Classement des défauts pour le groupe 3 par mesure de l'impact du défaut sur la force de la grume	274
H.35 Classement des défauts pour le groupe 4 par mesure de l'impact du défaut sur la force de la grume	275
H.36 Classement des défauts pour le groupe 5 par mesure de l'impact du défaut sur la force de la grume	275

Liste des tableaux

T1	Critères dimensionnels requis lors des classements du Chêne suivant la norme européenne et la norme Moselle.	17
T2	Classement des défauts de grume de Chêne par ordre croissant d'importance en fonction de la norme européenne	17
T3	Classement des défauts par ordre croissant d'importance en fonction de la norme Moselle	18
T4	Prix moyens des grumes de Chênes de tranchage selon Demarcq, 1981	29
T5	Cours du Chêne sur pied d'après Chavet et Chavet, 2004	32
T6	Cours du Chêne sur pied d'après, Rérat 2006	32
T7	Prix des grumes bord de route Moselle 1999	39
T8	Répartition et taille des lots mis en vente.	40
T9	Extrait du catalogue de vente	42
T10	Inventaire des grumes vendues individuellement dans chacune des 4 places de vente de Bad Mergentheim et leur répartition par classe de qualité	45
T11	Présentation des acheteurs potentiels : types d'activité et éloignement de Bad Mergentheim.	47
T12	Matrice des coefficients de corrélation linéaire entre les variables d'étude	52
T13	Sommes des carrés de type 1 du modèle mesurant les effets "Lot" et "Acheteur"	52
T14	Paramètres estimés du modèle E 10.	55
T15	Paramètres du modèle soumission maximale=f(diamètre, qualité) estimés sur l'ensemble des lots et par groupe d'utilisateur	59
T16	Paramètres du modèle soumission maximale=f(diamètre, qualité) estimés sur les grumes vendues individuellement et par groupe d'utilisateur	60

T17	Résultats de la modélisation des prix des 70 grumes, toutes activités confondues.	82
T18	Différents R^2 pour les résultats de la modélisation des prix des 70 grumes, toutes activités confondues.	82
T19	Résultats de la modélisation des prix à partir des 61 soumissions maximales des trancheurs	83
T20	Différents R^2 pour les résultats de la modélisation des prix à partir des 61 soumissions maximales des trancheurs	83
T21	Résultats de la modélisation des prix à partir des 66 soumissions maximales des merrandiers	84
T22	Différents R^2 pour les résultats de la modélisation des prix à partir des 66 soumissions maximales des merrandiers	84
T23	Résultats de la modélisation des prix à partir des 64 soumissions maximales du groupe "scieries de haute valorisation"	85
T24	Différents R^2 pour les résultats de la modélisation des prix à partir des 64 soumissions maximales du groupe "scieries de haute valorisation"	85
T25	Résultats de la modélisation des prix à partir des 15 soumissions maximales du groupe "scieries spécialisées de qualité "	86
T26	Différents R^2 pour les résultats de la modélisation des prix à partir des 15 soumissions maximales du groupe "scieries spécialisées de qualité "	86
T27	Résultats de la modélisation des prix à partir des 26 soumissions maximales du groupe "scieries de qualité moyenne"	87
T28	Différents R^2 pour les résultats de la modélisation des prix à partir des 26 soumissions maximales du groupe "scieries de qualité moyenne"	87
T29	Résultats des validations croisées du modèle linéaire de prix des grumes vendues individuellement, tous groupes confondus.	89
T30	Résultats des validations croisées du modèle linéaire de prix des grumes vendues individuellement pour les trancheurs	90
T31	Résultats des validations croisées du modèle linéaire de prix des grumes vendues individuellement pour les merrandiers	91
T32	Résultats des validations croisées du modèle linéaire de prix des grumes vendues individuellement pour le groupe "scieries de haute valorisation".	92
T33	Résultats des validations croisées du modèle linéaire de prix des grumes vendues individuellement pour le groupe "scieries spécialisées de qualité".	93
T34	Résultats des validations croisées du modèle linéaire de prix des grumes vendues individuellement pour le groupe "scieries de qualité moyenne".	97

T35	Différentiel de prix entraîné par les différents défauts.	97
T36	Présentation des défauts sélectionnés pour l'enquête et de ceux non pris en compte	120
T37	Indication des niveaux de défaut sélectionnés	121
T38	Nomination et représentativité des groupes issus de la typologie des premiers transformateurs de Chêne	142
T39	Répartition et poids des personnes interviewées	147
T40	Corrélations entre les classements obtenus à partir de l'analyse de l'ensemble des résultats	153
T41	Tableau de synthèse de la complémentarité et des limites des deux approches . . .	168
B.1	Nombre de soumissions de chaque acheteur en fonction de la place de vente . . .	214
B.2	Description des soumissions par acheteur : soumission minimale, soumission maximale et moyenne des soumissions en €/m ³	215
C.1	Estimation des paramètres du modèle (E 9).	218
D.1	Matrice des coefficients de corrélation linéaire de Pearson (* : pc<5%, **pc<1%, *** pc<0,1%)	228
F.1	Plan d'expérience factoriel fractionnaire à 13 facteurs à 3 modalités	238
F.2	Plan d'expérience finalisé	239
F.3	Distribution des grumes en triplettes et défaut commun au trois grumes présent dans la triplette	240
H.1	Nomination et représentativité des groupes issus de la typologie des premiers transformateurs de Chêne	250
H.2	Classement des grumes par attribution d'un score	251
H.3	Corrélation entre les classements.(Coefficient des rang τ de Kendall. *** indique une pc < à 0,001)	251
H.4	Classement des défauts par attribution d'un score	255
H.5	Corrélation entre les classements.(Coefficient des rang τ de Kendall. * indique un pc < 0,05, ** p <0,1, *** pc<0,001)	255
H.6	Classement des grumes par attribution d'un rang	259
H.7	Corrélation entre les classements (Coefficient des rang τ de Kendall. *** indique une pc < à 0,001)	263
H.8	Classement des défauts par mesure de l'utilité	264

H.9	Corrélation entre les classements.(Coefficient des rang τ de Kendall. *** indique une $p < 0.001$)	264
H.10	Classement des grumes par application du modèle de Bradley-Terry	268
H.11	Corrélation entre les classements.(Coefficient des rang τ de Kendall. *** indique une $p < 0,001$)	269
H.12	Classement des défauts par application du modèle de Bradley Terry	272
H.13	Corrélation entre les classement.(Coefficient des rang τ de Kendall. *** indique une $p < 0,001$)	272

Le Chêne (*Quercus petraea* Liebl. et *Quercus robur* L., confondus dans cette étude) peut être potentiellement affecté de nombreux défauts dont l'impact sur la qualité perçue par les utilisateurs est encore mal connu. L'objectif central de cette thèse est donc d'identifier les défauts qui pèsent le plus lors de l'évaluation de la qualité des bois et d'en proposer un classement en fonction de la gravité perçue. Nous nous sommes pour cela appuyé sur deux approches complémentaires.

La première est une étude des relations entre les singularités et le prix au m³ des grumes. Cette étude a été réalisée à partir de l'analyse de soumissions cachetées proposées sur des grumes individuelles lors d'une vente ayant eu lieu à Bad Mergentheim (Allemagne). La cartographie des défauts de 70 grumes a été réalisée afin d'alimenter les différentes démarches de modélisation mettant en relation le prix des grumes, les acheteurs, les dimensions des grumes et les singularités observées.

La seconde approche est basée sur une enquête réalisée auprès de 34 transformateurs du bois de Chêne qui ont exprimé leur préférence au travers de l'évaluation de grumes virtuelles présentant différentes combinaisons de défauts. Les classements proposés par les interviewés ont été analysés afin de réaliser le classement des grumes virtuelles et des défauts qu'elles présentaient.

La synthèse de ces deux approches fait ressortir les défauts liés à la branchaison, la courbure, le fil tors et la couleur comme étant des singularités majeures. Les différents résultats obtenus permettent ainsi de déterminer quelles sont les améliorations à apporter en priorité au simulateur de croissance et de qualité du bois FAGACEES.

Mots-clefs : Chêne (*Quercus petraea* Liebl. et *Quercus robur* L.) - Mesure des préférences - Modélisation - Qualité des bois - Prix des grumes.

Identification and ranking of criteria determining oak logs quality from the study of their sale prices and the estimation of the users preference.

Oak (*Quercus petraea* Liebl. and *Quercus robur* L., not distinguished in this study) is potentially affected by a lot of defects which objective impact on quality seen by different wood users is until now bad-known. The main goal of this thesis is to identify the defects which are the most important during log quality estimation and to propose a ranking in function of perceived quality. The reasoning is based on two approaches.

The first one is a study of relationships between oak defects and log m³ prices. This study was made from the analyse of sealed bid proposed on individual logs during a sale which took place in Bad Mergentheim (Germany). The defects cartography was realised to fit models establishing links between logs prices, buyers, logs size and defects.

The second one is based on a survey made with 34 oak wood users. These professionals expressed their preferences within the valuation of virtual logs which were bearing different defects combinations. The different logs rankings proposed by interviewed persons were analysed in order to rank all the virtual logs and all the defects they bore.

The synthesis of these two approaches underline that defects due to ramification, crook, spiral grain and color of the section are the most important. These results can be finally use to improve FAGACEES, the current laboratory's wood quality and growth simulator.

Key-words : Log prices - Modelling - Oak (*Quercus petraea* Liebl. and *Quercus robur* L.) - Preference measurement - Wood quality.