

Article original

Recherche de critères de rugosité adaptés à la qualification de chants usinés de LVL

Cyril Galley^a, Frédéric Mothe^{a*}, Sabine Boury^b

^aStation de recherches sur la qualité des bois, Inra 54280 Champenoux, France

^bLaboratoire bourguignon des matériaux et procédés, Ensam 71250 Cluny, France

(Reçu le 20 novembre 1996 ; révisé le 16 janvier 1997 ; accepté le 30 septembre 1997)

Résumé – Trente-deux chants d'éprouvettes, issus de panneaux expérimentaux de LVL et de planches de chêne, ont été classés selon trois méthodes : un test tactile servant de référence, une mesure par palpation mécanique et une mesure par analyse d'images.

Les résultats montrent d'une part que la sensation tactile est plus sensible à l'anatomie et à une variation de l'angle du fil des placages que les deux méthodes objectives. D'autre part, l'amélioration du critère de rugosité obtenu par palpation a mis en évidence la fréquence et la hauteur des pics de surface qui semblent influencer le plus le sens tactile. Les deux méthodes objectives sont fortement corrélées entre elles ($R^2 = 0,88$) et sont influencées toutes deux par la profondeur des vallées, représentées ici par les éclats. (© Inra/Elsevier, Paris)

usinage du bois / placage / LVL / rugosité / état de surface / *Quercus*

Abstract – Research of roughness criteria for assessing the edge quality of LVL boards. Thirty-two edges of samples, issued from oak experimental LVL panels and boards, have been compared using three methods: a tactile test (the reference), measure with mechanical probe and measure with image analysis

The results showed that the human being is more influenced by the anatomical roughness and the variation of veneer's grain angle than the two objective methods. The improvement of the mechanical probe criterion has shown that the number and the height of the picks have an effect on the human sensation. Image analysis and mechanical probe are strongly correlated ($R^2 = 0.88$) and they are concerned with the depth of the valleys, i.e; the chips in this case. (© Inra/Elsevier, Paris)

wood milling / veneer / LVL / roughness / surface quality / *Quercus*

* Correspondance et tirés à part
E-mail: mothe@nancy.inra.fr

1. INTRODUCTION

Le LVL (*Laminated Veneer Lumber*) est un lamellé-collé de placages déroulés de 2 à 5 mm d'épaisseur collés fil à fil (voir à ce propos [8]). Ce matériau a fait dernièrement l'objet d'un contrat européen [9] au cours duquel les industriels de la menuiserie se sont aperçu que la surface usinée n'offrait pas une qualité suffisante pour son emploi futur. En effet, la qualité de la surface conditionne la réussite du collage, de l'application de finitions et joue un grand rôle dans l'appréciation visuelle et tactile du produit final [4].

Plusieurs éléments d'une fenêtre sont apparents et fréquemment manipulés par les utilisateurs. Dans le cas du LVL, ce sont surtout les chants qui posent un problème : l'alternance des couches de bois (placages) et des joints de colle leur donne bien sûr un aspect particulier, forcément différent du bois massif, mais surtout, rend leur usinage difficile. Cela se traduit par une qualité de surface souvent médiocre et une sensation désagréable au toucher. Pour étudier les conséquences d'éventuelles améliorations du procédé de fabrication sur ce défaut, il serait utile de disposer de critères d'évaluation objectifs reflétant au mieux la perception subjective de l'utilisateur.

De ce fait, nous nous proposons ici de mesurer, par deux méthodes objectives, la qualité de surface des chants de LVL de chêne en prenant comme référence la rugosité tactile perçue par un utilisateur potentiel ou un industriel. Dans un premier temps, nous comparerons les trois méthodes en fonction du type d'usinage et de la variation de l'angle du fil des placages par rapport au plan de coupe. Puis nous tenterons de nous rapprocher de la sensation humaine en améliorant le critère de palpation mécanique.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Descriptif de l'échantillon

Les mesures de rugosité décrites ci-après ont porté sur 32 chants d'éprouvettes prélevées dans des panneaux de LVL et des planches de chêne massif.

Six panneaux ont été confectionnés ; chacun est constitué de 15 placages de chêne d'épaisseur 20/10 mm collés fil à fil (colle mélamine-urée-formol). L'épaisseur finale des panneaux était d'environ 30 mm après pressage.

Des barres de 500 x 19 mm² ont été désignées dans ces panneaux ainsi que dans les planches en suivant un angle de 0, 5, 10 ou 15° par rapport au fil du bois (*figure 1*). Les chants de chaque barre ont ensuite été usinés sur deux machines différentes afin d'obtenir une gamme de rugosité la plus large possible :

- le premier chant a été toupillé dans le sens du fil à l'aide d'une fraise au carbure ;
- le chant opposé a été raboté à contre-fil.

Dans leur principe, les deux modes de coupe sont identiques (épaisseur de passe = 4 mm, vitesse d'avance = 10 m·min⁻¹, vitesse de rotation = 6 000 tr·min⁻¹) mais l'état d'usure et la direction de coupe défavorable conduisaient à un état de surface beaucoup plus dégradé avec la raboteuse qu'avec la fraiseuse.

Enfin, dans les parties nettes de défauts de chaque barre, ont été prélevées de une à trois éprouvettes de section 12 x 30 mm² et de longueur 100 mm (18 LVL + 5 massifs).

Les 32 chants finalement conservés pour cette expérience comprennent les 24 surfaces toupillées ainsi que 8 surfaces rabotées réparties dans les différentes classes d'angle du fil (*tableau 1*).

2.2 Les mesures de rugosité

La première méthode, qui sert ici de référence, est la méthode tactile (TACTO). Nous avons soustrait délibérément la vue aux testeurs en leur bandant les yeux. Les chants des éprouvettes sont présentés par paires à des testeurs qui doivent noter l'état de surface : 0 pour le moins rugueux, 1 pour le plus rugueux. Chaque chant est présenté à deux reprises, couplé avec deux chants différents. La somme des deux notes constitue la note de rugosité relative du chant. La note tactile finale de chacun des

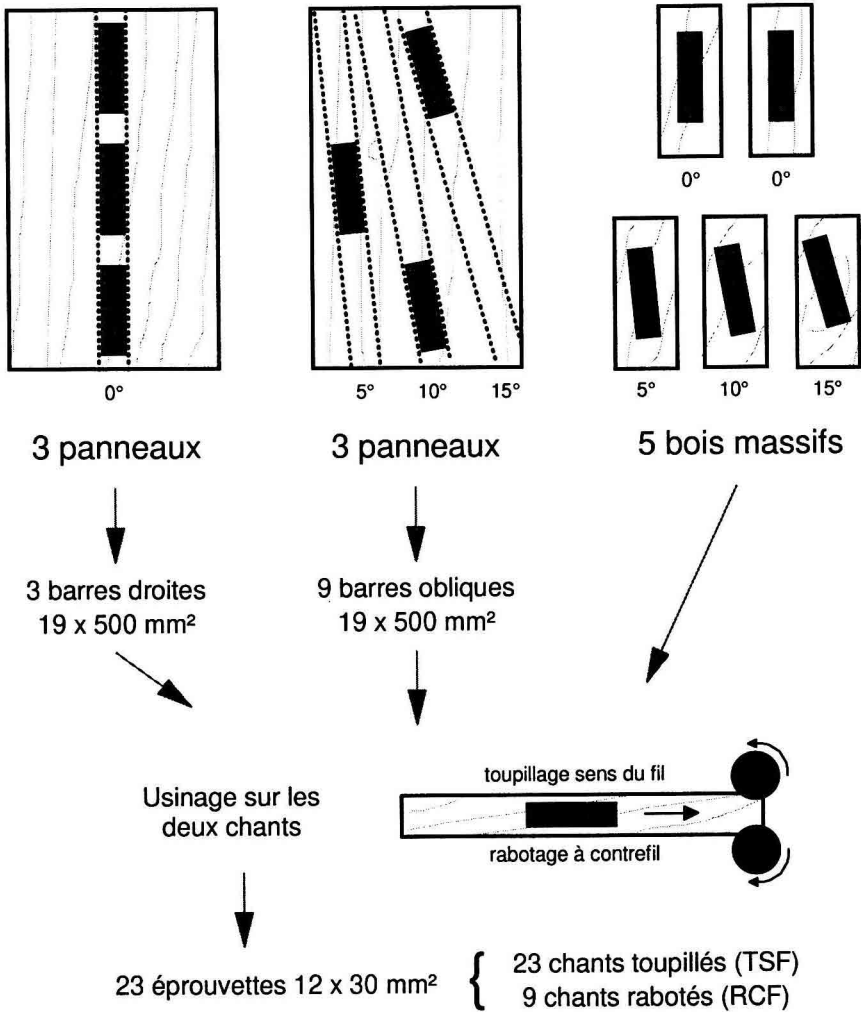


Figure 1. Découpe des éprouvettes et sélection des 32 chants usinés.

Tableau I. Nombre de chants conservés par classe d'angle du fil et d'usinage.

		Angle du fil			
		0°	5°	10°	15°
18 chants LVL	18 touillés sens du fil	9	3	3	3
	6 rabotés à contrefil	-	2	2	2
5 chants massifs	5 touillés sens du fil	2	1	1	1
	3 rabotés à contrefil	-	1	1	1

chants est la moyenne des notes obtenues par les 16 personnes qui ont effectué le test.

La deuxième méthode (PALPO) utilise un palpeur mécanique constitué d'un stylet qui se déplace sur le chant des pièces, parallèlement aux plis (cet appareil a été conçu par J.R. Perrin et réalisé par J. Perrin à l'Inra de Nancy). La pointe du stylet est constituée d'une bille de 1 mm de diamètre. Pour ces mesures, la prise de données s'effectue tous les 0,25 mm sur une longueur totale de 88 mm et sur chaque pli. Nous obtenons ainsi 352 points par pli, à partir desquels peut être tracé un profil brut. Pour éliminer les ondulations (de fréquence plus basse), on soustrait au profil brut un profil lissé par moyennes flottantes de 40 mesures (soit 1 cm de longueur). Le profil obtenu permet de calculer la profondeur moyenne de rugosité R_z suivant la norme E 05-15 (Afnor, 1984) ; ce critère est couramment employé pour caractériser l'état de surface du bois : le profil étant divisé en sept sections égales, cet indice est la moyenne des amplitudes maximales sur les cinq sections centrales (figure 2). Le critère R_zP que nous utilisons pour caractériser l'ensemble de la surface est la moyenne des R_z calculés sur chaque pli.

La dernière méthode utilisée (VISO) est un banc de rugosimétrie par vision laser, mis au point au CRITT-Bois d'Épinal [1]. La méthode consiste en un balayage de la surface parallèlement aux plis, par un rayon laser rasant : les creux sont alors ombrés et les pics éclairés. Une caméra matricielle couplée à un ordinateur permet alors d'analyser les niveaux de gris de la surface.

Cette méthode a déjà permis de mesurer la rugosité de chants usinés de MDF [11]. Ce pro-

céde a aussi été utilisé par Faust [3] et Korlak [7]. L'écartement entre les lignes de balayage a été ici fixé à 2 mm de façon à ce que, comme dans la mesure PALPO, chaque pli du panneau soit intégré dans la mesure. Deux passages sont effectués sur chaque chant avec deux luminosités (85 et 115). L'écart type de rugosité de la surface, $EtrV$, est calculé pour une luminosité de 100.

Remarques : Les unités des mesures VISO, PALPO et TACTO ne sont en aucun cas comparables entre elles. Seuls les différences relatives entre éprouvettes peuvent être comparées. Nous utiliserons pour cela les coefficients de régression entre les notes de rugosité TACTO et les différents critères calculés sur les profils VISO et PALPO. L'exploitation de ces coefficients ne doit pas être poussée au-delà de cette comparaison car leur signification statistique est réduite en raison du mode de calcul des notes TACTO : cette variable peut être considérée comme continue mais sa distribution est loin d'être normale et se cantonne dans l'intervalle [0,2].

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Comparaison entre les rugosités obtenues par les trois méthodes de mesure

Le tableau II présente les coefficients de régression entre les mesures TACTO, PALPO et VISO obtenus sur l'ensemble

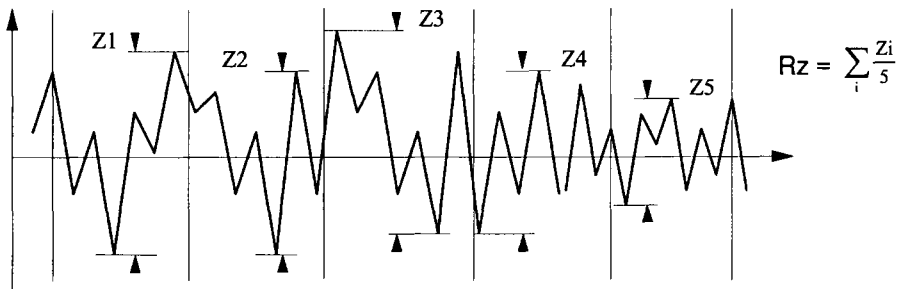


Figure 2. Principe de calcul de R_zP . La rugosité R_z du profil est la moyenne des Z_i . La rugosité de la surface R_zP est la moyenne des R_z .

Tableau II. Coefficients de régression linéaire entre les mesures effectuées par les trois méthodes TACTO, PALPO (critère RzP) et VISO (critère EtrV) pour différents sous-échantillons. La signification des R^2 est exprimée par *** pour un F significatif à 0,1 %, ** pour 1 %, * pour 5 %, NS pour non significatif.

Sous-échantillon	Ensemble des éprouvettes		Touillage dans le sens du fil (TSF)		Rabotage à contre-fil (RCF)	
	32 LVL + massif	24 LVL	23 LVL + massif	18 LVL	9 LVL + massif	6 LVL
degrés de liberté	30	22	21	16	7	4
TACTO / PALPO	0.15 *	0.06 NS	0.35 **	0.18 NS	0.89 ***	0.84 *
TACTO / VISO	0.25 **	0.07 NS	0.37 **	0.15 NS	0.92 ***	0.43 NS
PALPO / VISO	0.88 ***	0.90 ***	0.68 ***	0.53 ***	0.92 ***	0.28 NS

des éprouvettes et sur plusieurs sous-échantillons.

Les deux méthodes de mesures par palpé mécanique (PALPO) et par analyse d'images (VISO) sont fortement corrélées entre elles. Le coefficient de régression calculé sur les 24 chants de LVL (R^2 (RzP/EtrV) = 0.90) est par ailleurs comparable à celui qu'avait trouvé Faust, 1987 sur 60 surfaces de 3-plis constitués de placages déroulés de pin ($R^2 = 0.88$).

En revanche, les deux méthodes objectives ne donnent pas le même résultat que la note TACTO : sur l'échantillon total de 32 chants les corrélations TACTO = f (PALPO et VISO) sont peu significatives, malgré la présence du bois massif qui a pour effet d'améliorer les corrélations en élargissant la gamme de variabilité. Le critère EtrV semble plus proche du classement tactile que RzP.

Le tableau II montre par ailleurs que les chants touillés obtiennent des coefficients de régression entre TACTO et les méthodes objectives moins significatifs que les chants rabotés.

La cohérence des différentes méthodes avec le mode d'usinage et la variation de

l'angle du fil peut être analysée sur la figure 3 : les trois méthodes sont unanimes pour donner une rugosité supérieure lorsque l'angle du fil augmente, quel que soit le mode d'usinage. Ces résultats corroborent ceux obtenus par Kamata et Kanauchi [6] sur des échantillons de chêne massif. Toutefois, le toucher humain ressent plus fortement cette variation de l'angle du fil, et ce pour les deux usinages, que les deux méthodes objectives.

La principale différence entre la méthode tactile et les deux méthodes objectives concerne le classement des deux usinages, comme nous pouvons l'apercevoir sur les figures 3 et 4. La différence de rugosité tactile entre les chants rabotés et touillés est largement inférieure à celle enregistrée par PALPO et VISO.

L'examen des surfaces (figure 5) permet de formuler des hypothèses pour expliquer que la méthode PALPO discrimine mal les deux usinages :

– au regard, le chant touillé paraît lisse alors que le toucher serait sensible à des microcristes provoquées par les parois de vaisseaux ; ces arêtes seraient d'autant

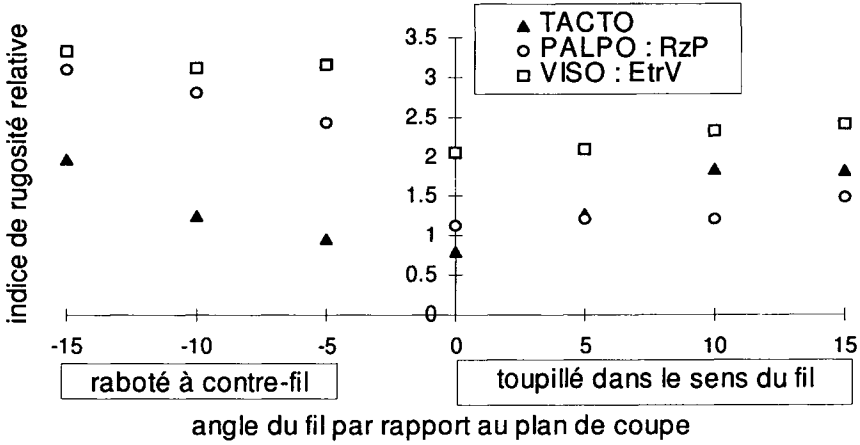


Figure 3. Influence de l'angle du fil par rapport au plan de coupe sur la qualité du chant usiné. Chants rabotés et toupillés à 10 m/min. Les mesures de rugosité obtenues pour l'angle de 0° correspondent à des chants toupillés.

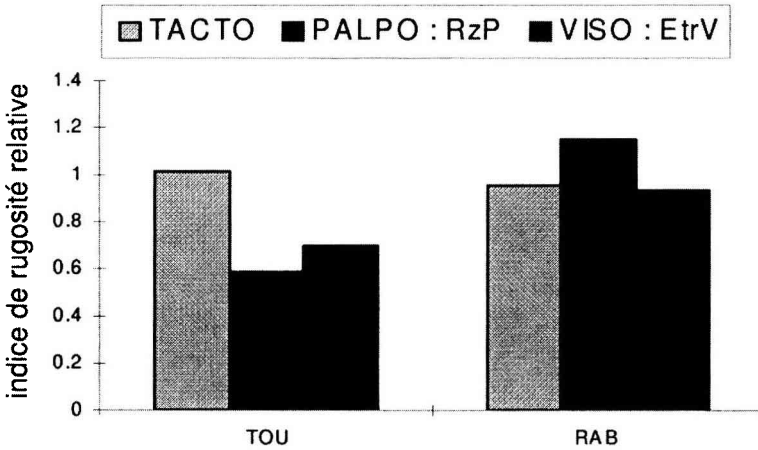


Figure 4. Comparaison des rugosités moyennes des chants rabotés (RAB) et toupillés (TOU) sur les 32 chants.

plus aiguës que l'angle du fil est important ;

- le chant raboté offre un aspect grossier, parsemé de « trous » qui correspon-

dent vraisemblablement à des éclats provoqués à la fois par l'usure de l'outil et par le sens d'usinage à contre-fil. Ces éclats d'usinage, aux arêtes émoussées, engendreraient une surface peu rugueuse


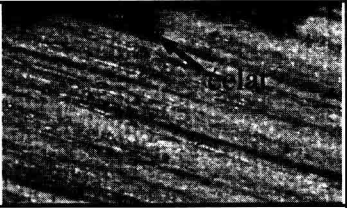
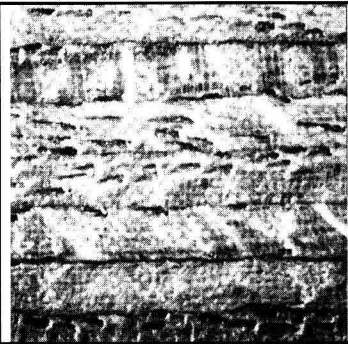
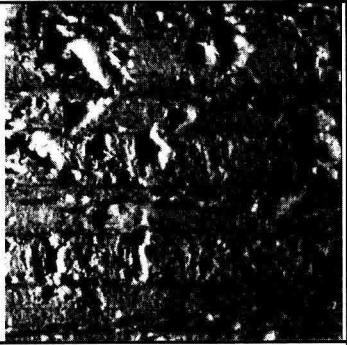
usinage	touillage dans le sens du fil	rabotage à contre-fil
<i>coupe</i> (x 15)		
<i>vue de dessus</i> (x 15)		
Rugosité TACTO	moyenne (sensation de rugosité provoquée par les arêtes vives)	moyenne (surface lisse mais irrégulière)
Rugosité PALPO-VISO	faible	forte

Figure 5. Différences de perception tactile et objective de deux profils obtenus par touillage et rabotage.

au toucher mais moins homogène que celle d'un chant toupillé.

Les deux types de défauts – vaisseaux en relief, éclats d'usinage en creux – devraient apparaître sur les profils de surface obtenus par palpation mécanique¹. Pour le vérifier, la *figure 7* permet de comparer visuellement les profils bruts Tacto des 4

¹ Cette analyse n'a pu être effectuée sur les profils de niveaux de gris obtenus par la méthode VISO pour laquelle nous ne disposons pas des données de bases.

échantillons A1, A2, B1 et B2 identifiés sur la *figure 6* :

– Le chant B1 a tactilement la même rugosité que le chant B2 mais sa rugosité PALPO est pratiquement trois fois plus faible. Le profil de B2 présente des vallées très profondes, correspondant probablement aux éclats d'usinage, qui n'apparaissent pas sur B1. Mis à part ces gros défauts, les amplitudes des irrégularités sont globalement équivalentes sur les deux profils, ce qui explique que leur classement TACTO soit identique.

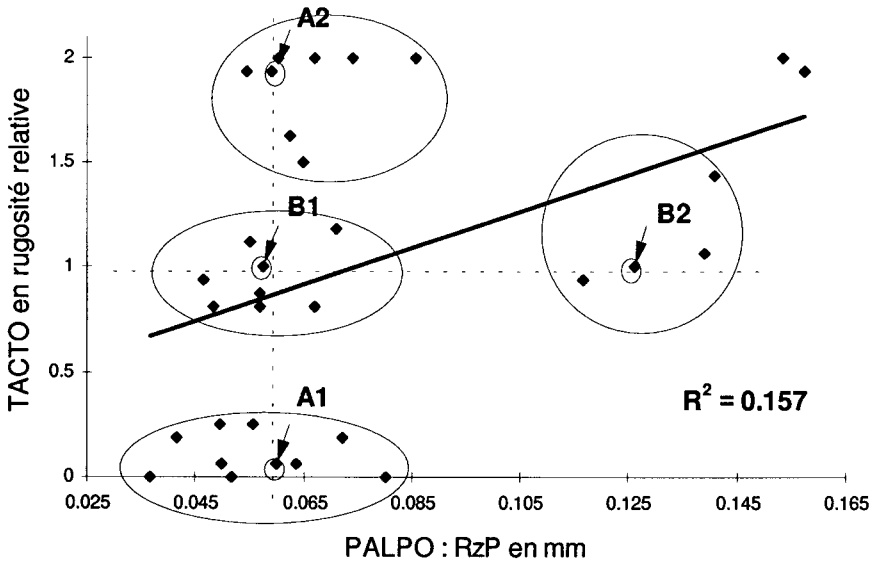


Figure 6. Relation entre TACTO et le critère RzP de PALPO sur l'échantillon total (32 chants).

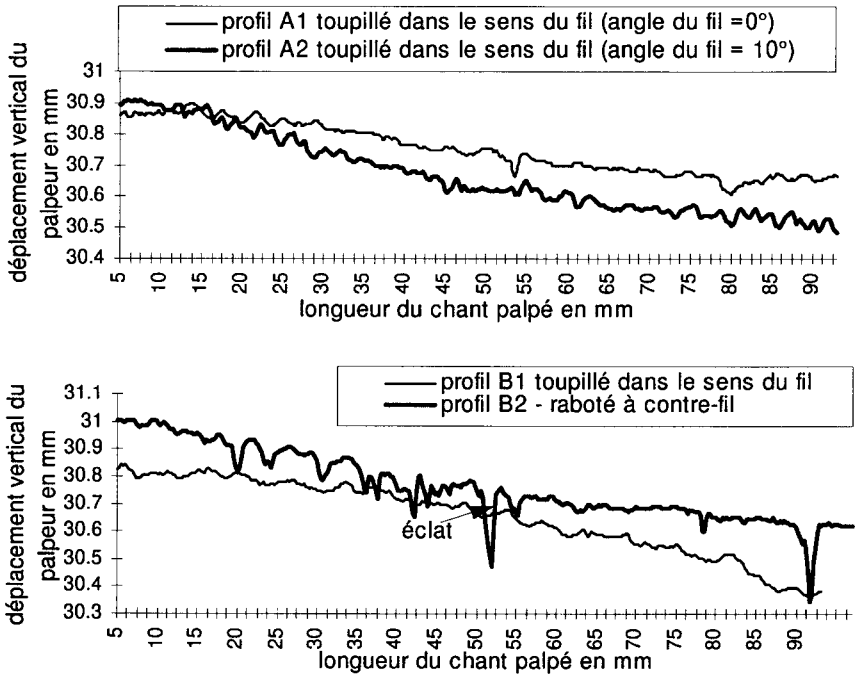


Figure 7. Profils de surface bruts obtenus par palpage sur les plis des chants A1, A2, B1 et B2, visibles dans la figure 6.

– Les chants A1 et A2 ont le même classement PALPO mais différent tactiquement. Les défauts de surface sont ici de tailles comparables mais A2 possède des irrégularités plus nombreuses que A1. Cette caractéristique influence bien plus la sensation tactile que le critère RzP de PALPO qui est surtout affecté par l'amplitude des pics et des vallées et non par leur fréquence (par ailleurs, cette observation explique peut être que l'écart-type EtrV de la méthode VISO, qui intègre à la fois l'amplitude et la fréquence, soit un peu mieux corrélé que RzP avec la note tactile).

3.2. Proposition de nouveaux critères de rugosité

La conclusion des observations précédentes semble être que, pour améliorer la concordance entre la rugosité obtenue par palpation et l'appréciation tactile, il serait utile d'une part de distinguer les pics des vallées et d'autre part de quantifier leur fréquence.

La méthode la plus simple pour mettre en évidence les pics et les vallées consiste à décomposer le critère RzP en deux critères représentatifs pour l'un, des pics ; pour l'autre, des vallées. Ainsi, Gouttebel et Sauvignet [5] avaient adopté pour caractériser le toucher humain la hauteur des pics les plus élevés par rapport à la ligne moyenne du profil de rugosité.

Le profil de rugosité étant, comme dans le calcul de RzP, divisé en sept parties égales dont les deux extrêmes sont éliminées pour éviter les problèmes de bords, deux critères ont ainsi été définis (*figure 8*) :

DPm : distance entre les pics et la ligne moyenne ;

DVm : distance entre les vallées et la ligne moyenne.

On notera que la somme de DPm et DVm est égale à RzP.

Pour calculer la fréquence des défauts de surface il faut employer une méthode différente, permettant d'isoler les pics et les vallées. La convention arbitraire que nous avons adoptée (*figure 9*) se base sur les deux droites (Rs et Ri) délimitant les limites supérieures et inférieures à 5 % de la variabilité du profil. On considère que tous les points d'altitude supérieure à Rs appartiennent à des pics, deux pics étant séparés par au moins un point d'altitude inférieure à Rs/2.

Cette méthode nous a permis de calculer quatre critères donnant à nouveau la hauteur des pics et vallées, et surtout leur fréquence :

HPic : hauteur moyenne des pics ;

HVal : profondeur moyenne des vallées ;

NPic : nombre de pics par mm ;

NVal : nombre de vallées par mm.

Pour synthétiser l'amplitude et la fréquence des défauts nous utiliserons également les deux critères suivants :

NHPic = NPic * HPic ;

NHVal = NVal * HVal.

3.3. Relations entre la note de rugosité tactile et les critères proposés

Afin de tester la pertinence de ces nouveaux critères, une régression progressive TACTO = f (DPm, DVm, HPic, NPic, RzP) a été calculée sur la totalité de l'échantillon, soit 32 surfaces.

Le critère DPm (*tableau III*) explique pour une grande part la corrélation entre TACTO et PALPO (R^2 partiel = 0,39). La fréquence des pics (NPic) constitue la deuxième variable rentrant en compte (R^2 partiel = 0,15).

Comme on pouvait s'y attendre avec les observations précédentes, les critères liés aux vallées (DVm, HVal et NVal)

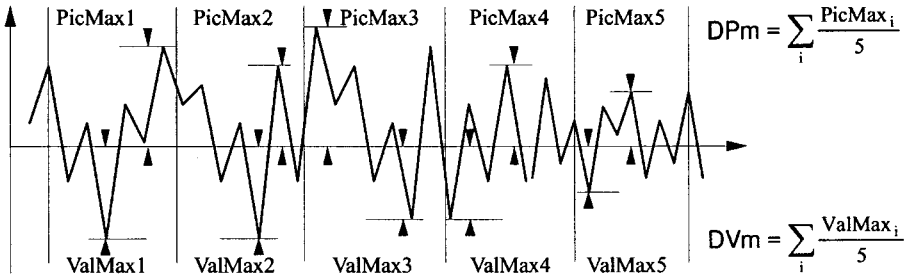


Figure 8. Principe de calcul des critères DPm et DVm.

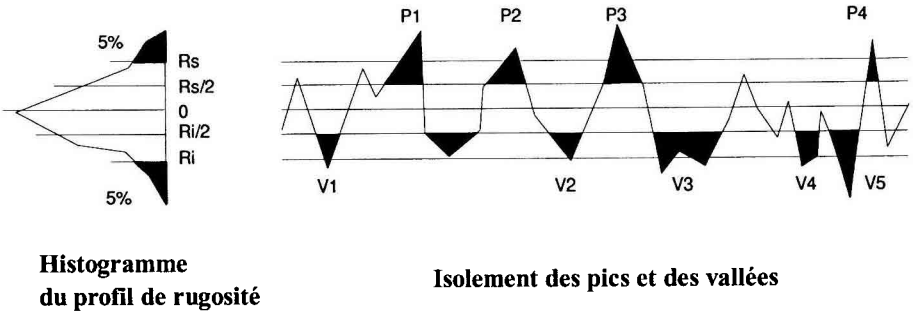


Figure 9. Principe de calcul des critères HPic, NPic, HVal et NVal.

n'apportent que très peu de signification au modèle. On note d'autre part que parmi les critères décrivant la hauteur des pics et des vallées, les critères DPm et DVm (dont le calcul est basé sur celui de RzP) sont plus efficaces que HPic et HVal. Il existe néanmoins une très forte corrélation entre DPm et HPic d'une part, DVm et HVal d'autre part.

Cette première analyse portait sur l'échantillon complet, incluant les éprouvettes rabotées et toupillées ainsi que les éprouvettes de chêne massif. Des régressions linéaires distinctes menées sur chaque sous échantillon (tableau IV) nous permettent d'affiner ces conclusions :

– les coefficients de régressions obtenus avec les nouveaux critères sont globalement supérieurs à ceux obtenus avec RzP (tableau II) ;

Tableau III. Régression progressive TACTO = f (DPm, DVm, HPic, NPic, RzP) effectuée sur les 32 chants.

Variable entrée dans le modèle	R ² partiel	R ² du modèle
DPm	0.396	0.396
NPic	0.156	0.552
DVm	0.030	0.582
RzP	0.028	0.610
HPic	0.014	0.624

– le critère le plus efficace est NHPic, qui permet globalement d'améliorer toutes les corrélations, mises à part celles concernant les chants rabotés. Pour ces dernières, DVm est le critère le plus intéressant bien qu'il ne permette pas d'améliorer la corrélation par rapport à RzP ;

– le R^2 de TACTO = f (DVm) est supérieur à celui de TACTO = f (DPm) pour les chants de LVL rabotés à contre-fil

dont la forte rugosité tactile peut être attribuée aux vallées causées par les éclats d'usinage,

– le R^2 de TACTO = f (DPm) est supérieur à celui de TACTO = f (DVm) pour les chants toupillés de LVL dans le sens du fil dont la rugosité tactile dépend surtout des pics.

Si l'on reprend la relation entre TACTO et PALPO de la *figure 6* en remplaçant

Tableau IV. Coefficients de régression linéaire obtenus entre TACTO et PALPO avec les critères DPm, DVm, NHPic, NHVal, NPic, HPic, NVal et HVal sur l'échantillon total et les sous-échantillons. La signification des R^2 est exprimée par *** pour un F significatif à 0,1 %, ** pour 1 %, * pour 5 %, NS pour non significatif.

Sous-échantillon	Ensemble des éprouvettes		Toupillage dans le sens du fil (TSF)		Rabotage à contre-fil (RCF)	
	32 LVL + massif	24 LVL	23 LVL + massif	18 LVL	9 LVL + massif	6 LVL
ddl	30	22	21	16	7	4
DPm	0.39 ***	0.19 *	0.48 ***	0.31 *	0.79 **	0.24 NS
NHPic	0.48 ***	0.26 *	0.52 ***	0.34 *	0.78 **	0.18 NS
HPic	0.24 **	0.08 NS	0.36 **	0.22 NS	0.67 **	0.007 NS
NPic	0.21 **	0.19 *	0.24 *	0.17 NS	0.27 NS	0.27 NS
DVm	0.10 NS	0.04 NS	0.21 *	0.05 NS	0.88 ***	0.82 *
NVal	0.13 *	0.06 NS	0.33 **	0.14 NS	0.85 ***	0.66 *
HVal	0.10 NS	0.03 NS	0.14 NS	0.03 NS	0.86 ***	0.63 *
NHVal	0.15 *	0.09 NS	0.20 *	0.06 NS	0.07 NS	0.44 NS

Tableau V. Moyennes de rugosité relative obtenues pour chaque nuage de points (autour des chants A1, A2, B1 et B2 observables sur les *figures 6* et *10*) par TACTO et différents critères PALPO.

Critère	TACTO	RzP	DPm	DVm	NPic	HPic	NHPic	NVal	HVal	NHVal
A1	0.20	2.62	1.06	1.55	3.22	1.19	0.07	3.17	1.63	0.11
A2	1.87	3.3	1.56	1.78	4.16	1.61	0.13	3.95	1.85	0.14
B1	0.84	2.99	1.24	1.75	3.36	1.31	0.09	3.48	1.77	0.12
B2	1.11	6.54	1.94	4.56	3.23	2.42	0.15	3.79	4.84	0.37

RzP par NHPic (figure 10), on constate que les chants A1 et A2, auparavant alignés verticalement avec le critère RzP, se sont sensiblement rapprochés de la droite de régression ainsi que les nuages de points correspondants. Le rapprochement entre B1 et B2 est également positif bien que la rugosité de B2 reste largement surévaluée par PALPO.

La comparaison des moyennes TACTO et PALPO des nuages de points correspondants à la figure 6 (A1, A2, B1 et B2), présentées dans le tableau V, démontre encore que la sensation tactile est très sensible aux pics puisque la différence de rugosité entre A1 et A2 est expliquée par les critères NPic, HPic, DPM et surtout NHPic. D'autre part, la différence de rugosité entre B1 et B2, non perceptible par TACTO qui leur donne sensiblement la même note, s'explique surtout par tous les critères décrivant les vallées DVM, HVal et NHVal ainsi que RzP (qui est ici très

lié à DVM puisque DPM est à peu près constant).

IV. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les différentes modalités de confection et d'usinage sur chant d'éprouvettes de LVL testées dans cette étude ont permis d'obtenir une gamme de rugosité importante, qui peut être appréciée aussi bien tactilement (méthode TACTO) qu'avec des mesures objectives obtenues par palpé (PALPO) ou analyse d'images (VISO).

Les critères de rugosité classiques calculés avec les deux méthodes objectives (RzP pour PALPO et EtrV pour VISO) donnent des résultats sensiblement identiques. Ces critères sont en revanche mal corrélés avec la note moyenne de rugosité tactile (TACTO).

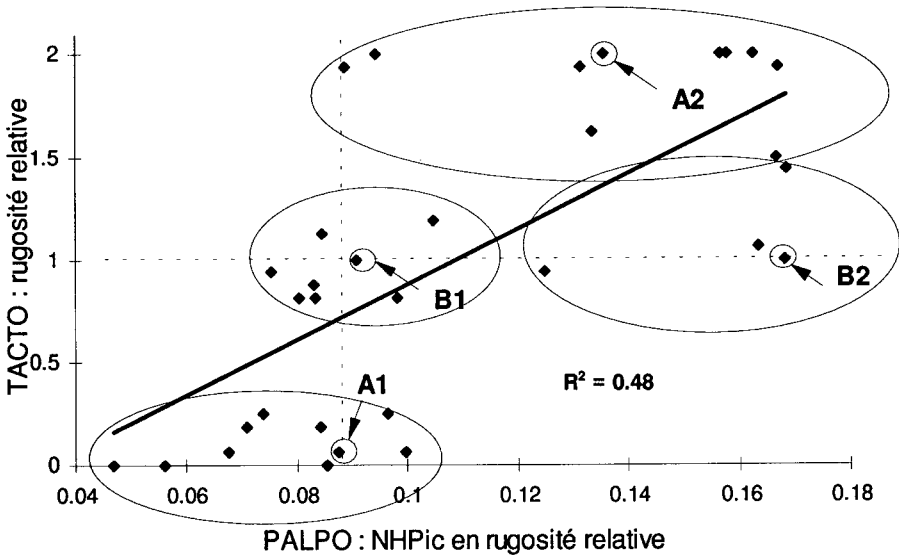


Figure 10. Relation entre TACTO et le critère NHPic de PALPO sur l'échantillon total (32 chants).

L'analyse des classements obtenus montre que, à direction de coupe égale, les trois méthodes s'accordent pour classer les éprouvettes d'autant plus rugueuses que l'angle du fil est important, mais que les résultats divergent pour les deux types d'usinage pratiqués : les méthodes objectives classent les chants rabotés à contre-fil plus rugueux que les chants toupillés dans le sens du fil, alors que la note de rugosité tactile est indépendante de la direction et du mode d'usinage.

L'observation des éprouvettes et des profils de rugosité montre que les surfaces rabotées (à contre-fil et avec un outil plus émoussé que sur la fraiseuse) présentent des éclats qui conduisent à leur déclassement par les méthodes objectives alors que ces dépressions sont peu perceptibles au toucher. Le sens tactile semble plutôt influencé par l'anatomie, en l'occurrence par les vaisseaux qui offrent des arêtes aiguës d'autant plus vives que l'angle du fil augmente.

Ces observations nous ont amené à proposer de nouveaux critères calculés sur les profils obtenus par palpation mécanique qui permettent de distinguer les vallées (éclats) des pics de surface et de quantifier leur fréquence.

La hauteur et la fréquence des pics, synthétisées par leur produit NHPic, permettent ainsi d'obtenir un classement des surfaces beaucoup plus proche de la sensation tactile, particulièrement sensible à l'angle du fil. Il reste néanmoins possible de classer les éprouvettes selon le type d'usinage pratiqué (rabotage à contre-fil ou toupillage dans le sens du fil) en se basant sur la hauteur et la fréquence des vallées.

Dans la perspective d'évaluer et d'améliorer la qualité du LVL de chêne destiné à la menuiserie, l'appréciation au toucher par l'utilisateur est déterminante ; pour d'autres applications, comme l'ébénisterie, la sensation visuelle aurait beaucoup plus d'importance. La quantification distincte des pics et des vallées que nous avons

effectuée permettrait probablement de trouver une combinaison appropriée des critères permettant d'approcher l'appréciation visuelle ou visio-tactile. Sous réserve de bien définir les caractéristiques du profil requises, on pourrait envisager d'étendre cette méthode à d'autres types de rugosité déterminant par exemple l'aptitude d'une surface au collage ou à la finition.

L'acquisition des profils de surface par palpation mécanique reste néanmoins une technique trop lente pour être mise en oeuvre sur un nombre de pièces important. Les bonnes relations obtenues entre les critères conventionnels calculés sur les profils obtenus optiquement et par palpation nous encourageant à transposer ces nouveaux critères à une méthode optique, plus apte industriellement à qualifier des surfaces de bois.

RÉFÉRENCES

- [1] Duchanois G., Eisen P., Gross P., Triboulot P., Contrôle qualité et états de surface du bois ; Toposurf et topovise, outils complémentaires de mesure de qualité de surface, 4^e colloque sciences et industries du bois, Nancy, thème 1 pp. 339-344, 1996.
- [2] Eymard T., Caractérisation des états de surface bois par l'analyse du frottement, DEA Sciences du Bois, Université de Nancy 1, 1993.
- [3] Faust T., Real time measurement of veneer surface roughness by image analysis, For. Prod. J. 37 (6) (1987) 34-40.
- [4] Galley C., Influence de l'état de surface géométrique du bois sur son aptitude à l'emploi en menuiserie et ameublement ; Rapport bibliographique de DEA sciences du bois ; ENGRF Inra ; document équipe de recherche sur la qualité des bois Inra, 1996.
- [5] Gouttebel O., Sauvignet E., États de surface du bois massif ; Rapport principal, projet de fin d'études Ensam, 1994.
- [6] Kamata H., Kanauchi T., Analysis of machined surfaces with digital image processing 1. Effect of grain angle in numerical control router machining, Mokusei Gakkaishi 39 (11) (1993) 1253-1258.
- [7] Korlak M., Vergleich von berührend und berührungslos messenden Verfahren zur Cha-

- rakterisierung der Oberflächengeometrien von Holzwerkstoffen, Fachhochschule Rosenheim, Diplomarbeit, 1994.
- [8] Marchal R., Valorisation par tranchage et déroulage des bois de Chênes méditerranéens, thèse d'INPL en sciences du bois, 294 p, 1983.
- [9] Marchal R., Mothe F., Negri M., Rochot A., Perré P., Production of quality wood from broadleaves ; Rapport final du contrat EC AIR 1 CT 92-0608 pour la tâche 5 'Industrial Development', février 1996, 93 p, 2ann.
- [10] Mothe F., Essai et comparaison de trois méthodes de classement de surface de bois massif pour leur rugosité : méthodes pneumatique et sensorielle, Ann Sci For 42 (4) (1985) 435-452.
- [11] Triboulot P., Sales C., Zerizer A., Martin P., Correlation of Fracture Toughness of Bonded Joints with Quality (Roughness) of Knife-Planed MDF Surfaces ; Holzforschung 49 (5) (1995) 465-470.
- [12] Afnor, Norme expérimentale E 05-015, États de surface des produits ; Prescriptions 1 : Généralités, terminologie, définitions ; association française de normalisation, sept 1984, 22 p.