



**HAL**  
open science

## Virtualisation de la qualité esthétique de produits bois

Jeremy Jover, Vincent Bombardier, André Thomas

► **To cite this version:**

Jeremy Jover, Vincent Bombardier, André Thomas. Virtualisation de la qualité esthétique de produits bois. 5e Journées Doctorales / Journées Nationales MACS, JD-JN-MACS 2013, Jul 2013, Strasbourg, France. pp.CDROM. hal-00840263

**HAL Id: hal-00840263**

**<https://hal.science/hal-00840263>**

Submitted on 7 Oct 2013

**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.

# Virtualisation de la qualité esthétique de produits bois

Jérémy JOVER<sup>1</sup>, Vincent BOMBARDIER<sup>1</sup>, André THOMAS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centre de Recherche en Automatique de Nancy,  
UMR 7039 – Université de Lorraine, CNRS  
Campus Sciences- BP 70239- 54506 Vandœuvre, France.  
*jeremy.jover@univ-lorraine.fr*

**Résumé**— Ce papier propose un processus de qualification de produits bois basé sur l’exploitation de leur représentation virtuelle (avant le sciage de la matière première). Dans un premier temps, la notion de qualité esthétique est définie ainsi que l’optimisation des billons pour en comprendre les enjeux. Ensuite sont présentés les processus de numérisation des pièces par tomographie RX et de débit virtuel de la matière utilisée pour obtenir les images exploitées ultérieurement dans l’estimation de la qualité esthétique. Puis nous détaillons les caractéristiques à extraire ainsi que les critères permettant de le faire. Après une description de la méthode utilisée, un exemple applicatif sur des données réelles provenant de scierie est explicité afin de montrer la faisabilité et l’intérêt de la démarche proposée pour la gestion de production en scierie ou dans d’autres industries à processus divergents.

**Mots-clés**— Produit virtuel, qualité produit, tomographie RX, fusion d’informations, nomenclatures divergentes.

## I. INTRODUCTION

Les processus divergents ont toujours présenté une difficulté pour la mise en œuvre de la traçabilité. La décomposition de la matière en plusieurs produits induit deux problèmes :

- le lien entre la matière première et la production est difficile à établir et à conserver tout au long du cycle de vie du produit,
- l’estimation des caractéristiques des produits créés ne peut se faire tant que le produit n’est pas physiquement présent.

Des solutions ont été proposées pour pallier à ces problèmes en particulier dans l’industrie alimentaire. Ces solutions sont basées sur le marquage et la documentation de lots [9]. Cependant une partie de l’information d’origine disparaît et l’identification unique des produits n’est plus assurée.

Ces problèmes concernent aussi l’industrie du bois. Il faut élaborer à partir d’un arbre des produits qui satisfieront les besoins des clients finaux [13] tout en conservant la trace de l’origine du produit [17]. Cela est rendu plus complexe par le fait que le bois est un matériau hétérogène. Structurellement, le bois est composé de fibres alignées suivant un axe. Il ne se comporte donc pas mécaniquement de la même manière suivant les différents axes (longitudinal, radial, tangentiel). Les couleurs du bois ne sont pas homogènes non plus, l’alternance des cerne, la présence de singularités ou d’attaques bactériennes (bleuissement) viennent rompre l’homogénéité du bois sain autant d’un point de vue mécanique qu’esthétique.

Dans les scieries, l’optimisation en vue d’avoir la meilleure adéquation entre le besoin client et la production de sciage est un problème difficile à résoudre. Il faut,

à partir d’une matière première dont on ne connaît pas précisément les caractéristiques internes, faire des produits qui doivent posséder les caractéristiques souhaitées par le client. D’un point de vue dimensionnel, cela s’avère réalisable, mais d’autres caractéristiques (i.e. la couleur) sont plus compliquées à estimer par le scieur et donc plus difficiles à qualifier.

Nos recherches s’intéressent à la réduction des pertes d’informations dans l’industrie du bois. Nous avons proposé une solution de marquage pour la conservation de l’origine des arbres [13]. Nous étudions ici la détermination des caractéristiques de produits bois avant sciage afin d’avoir la meilleure adéquation entre le besoin client et la détermination optimale des éléments de production. La démarche proposée vise à automatiser le processus de qualification (estimation de la qualité esthétique) habituellement réalisé par un opérateur (figure 1).

Dans cet article, nous présentons rapidement la notion de qualité esthétique du bois, l’optimisation des débits et notre problématique. Nous décrivons ensuite le système permettant d’obtenir les produits virtuels à analyser. Puis nous explicitons les critères permettant de les caractériser. Enfin nous décrivons la méthode proposée pour qualifier l’aspect d’un produit bois que nous illustrerons par un exemple sur des données réelles.

## II. PROCESSUS DE DÉTERMINATION DES ÉLÉMENTS DE PRODUCTION

### A. La qualité esthétique d’un produit bois

Les différents clients de la première transformation n’ont pas tous les mêmes besoins. Ainsi, la qualité peut être décomposée en trois catégories selon les besoins et les moyens mis en œuvre pour l’exprimer : la qualité dimensionnelle, la qualité mécanique et la qualité esthétique. La qualité dimensionnelle est une caractéristique facile à estimer. La qualité mécanique est plus subtile à évaluer. Le bois sain possède une certaine résistance mécanique. Mais la présence de singularités (nœuds, fentes, pourritures, ...) tend à modifier cette résistance et complique donc l’obtention d’une valeur juste et précise. Des méthodes existent pour mesurer cette résistance sur la grume alors que la pièce n’est pas encore usinée [11].

La qualité esthétique est plus difficile à évaluer. Sa détermination étant basée en partie sur l’estimation humaine, elle possède une part importante de subjectivité. Comme expliqué dans [4], le bois étant ”intrinsèquement flou”, les critères permettant de la caractériser sont diffi-

ciles à mesurer précisément. Par exemple la limite entre le bois sain et un nœud sain étant graduelle, la caractérisation du diamètre de ce type de singularité ne peut pas être précise. La couleur est un autre critère présentant une subjectivité de décision [5]. Un classement normatif de cette qualité esthétique est établi pour différentes utilisations [16]. Cette norme se base sur les mesures de différentes caractéristiques des singularités du bois pour établir le classement. Le contexte et les critères ayant permis de l'établir ont aujourd'hui évolué, elle tend donc à être désormais désuète. Elle nous servira donc seulement de base de réflexion.

### B. Optimisation de la matière

Afin d'utiliser au mieux la matière première, les scieurs optimisent les grumes afin d'avoir le meilleur rendement matière. Il faut estimer quel plan de coupe permet d'avoir le moins de pertes matières tout en sciant les produits nécessaires pour la réalisation des commandes. Pour cela, il faut scier des produits qui correspondent aux besoins pour chacune des catégories de qualité. Beaucoup de recherches apportent des réponses en prenant en compte les dimensions extérieures du billon [20]. L'opérateur (scieur de tête) estime également par expérience la qualité esthétique voire mécanique des futurs produits. Il tronçonne la grume en billons en fonction de cette estimation afin d'obtenir les billons les plus "rentables". Ces billons sont classés en fonction des caractéristiques des produits qu'il sera possible de faire ensuite. L'expert des opérateurs est capable d'estimer quels peuvent être les défauts dans le bois en fonction des données observables sur l'enveloppe. Ils arrivent à prévoir plus ou moins bien l'aspect et les qualités des produits finaux. Mais on comprend assez bien aussi que toutes les singularités ne sont pas visibles en surface et que celles qui le sont, ne donnent qu'une information incomplète sur ce qui est dans le bois.

Aujourd'hui beaucoup de scieurs ont un taux de déclassement après optimisation (erreur d'appréciation) de l'ordre de 20 % (pertes annuelle estimée à 15 millions d'euros pour l'un des leaders de la scierie française). Dans les scieries, une pièce est considérée comme déclassée quand ses caractéristiques ne correspondent pas au produit voulu. Il y a donc des pièces qui auront soit un classement supérieur (avec des caractéristiques plus intéressantes), soit un classement inférieur. Dans le cas du classement supérieur, le client n'est pas lésé mais cela représente une perte financière pour le scieur car le produit est vendu en dessous de ce qu'il devrait être. Dans le cas d'un classement inférieur, le scieur vend son produit plus cher pour une qualité inférieure et donc le client est lésé. Dans la plus part des cas, un produit non conforme au plan de production n'est pas vendu, il est mis en stock jusqu'à ce que le besoin soit enregistré par l'entreprise.

### C. Problématique

Notre but est de proposer un processus permettant d'estimer le plus tôt possible (avant sciage) la qualité esthétique d'un produit bois. Nous cherchons donc à mesurer les caractéristiques permettant de la définir pour des produits qui seront potentiellement obtenus dans une grume. Nous proposons d'utiliser un processus de numérisation

de la grume et de débit virtuel de cette représentation. Les produits analysés étant "virtuels", les données et les informations que nous possédons sont donc imparfaites. Les causes principales d'imperfection résiduelles tiennent dans la résolution du capteur, la variabilité de la matière et le manque de données pour certaines caractéristiques. De même la qualité esthétique est une notion subjective, augmentant encore l'incertitude. Ces imperfections nous conduisent à utiliser des mécanismes de décision capables de délivrer une réponse utilisable malgré l'incertitude, telles les intégrales de Choquet ou les opérateurs flous [8].

Dans la section suivante, nous décrivons rapidement le système permettant d'obtenir les produits virtuels à analyser.

## III. PROCESSUS DE NUMÉRISATION

Afin de prévoir les produits qui seront usinés dans une grume, nous utilisons un processus intégrant numérisation, débit virtuel et optimisation du rendement matière. Dans cette partie, nous présentons le processus général qui est décrit dans la figure 1.

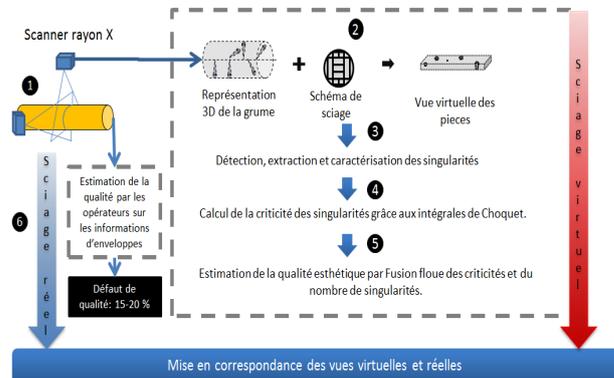


Fig. 1. Processus d'extraction et de valorisation des produits virtuels.

### A. Numérisation de la grume

L'introduction des techniques de contrôle non destructif a permis d'améliorer les gains financiers des entreprises de première transformation [12]. Il existe plusieurs types de capteurs permettant d'obtenir des informations sur la structure interne d'un bois rond (arbre, grume ou billon) [6]. L'IRM est utilisée pour déterminer les zones d'humidité du bois et comprendre les mécanismes de propagation de l'eau dans le bois [2]. Les micro-ondes se basent sur la transformation d'ondes lors de leur passage dans le bois, mais l'exploitation des signaux est une tâche ardue [14]. La méthode la plus utilisée reste la tomographie à rayons X qui permet une représentation de la densité du matériau. En effet, c'est une technique permettant d'obtenir une représentation en 3D d'un produit grâce à des prises successives d'images. Les singularités sont facilement observables car leur densité est différente de celle du bois sain. Pour autant, certaines conditions internes du matériau (humidité, compression, ...) peuvent influencer sur la densité et créer une difficulté.

La tomographie permet d'obtenir des images de la coupe radiale d'une grume. Les singularités sont détectées par traitement de l'image. Une segmentation adaptée permet d'isoler les parties dont les différences de caractéristiques

sont importantes par rapport à celles du bois (densité, présence d'eau) et ainsi de mettre en avant ces singularités. L'assemblage des images traitées permet de reconstituer en 3D des singularités [15]. Sur la figure 2, il est possible de voir un exemple de coupe radiale, obtenue avec un tomographe à rayon X, elle présente des noeuds (clairs) et une fente (foncée).

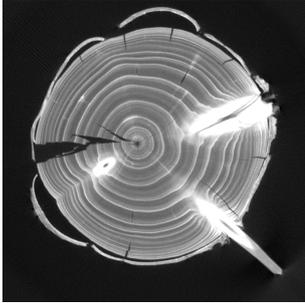


Fig. 2. Image tomographique d'une section de billon.

Avec la vue 3D de cette "grume virtuelle", il est donc possible de simuler informatiquement l'ensemble des opérations réalisées dans une scierie et ainsi représenter numériquement les futures pièces sciées dans cette grume. Pour l'étape suivante, nous utilisons cet empilement d'images pour réaliser le processus de sciage virtuel (point 1 de la figure 1).

### B. Virtualisation du processus de sciage

Dans les travaux existants sur le sciage virtuel [19], l'optimisation est faite manuellement par le scieur et le sciage virtuel ne sert qu'à apporter de l'information. Notre proposition vise à rendre l'optimisation entièrement automatique en évaluant la qualité du produit final sans intervention humaine.

Une fois la grume virtuelle obtenue, il faut réaliser virtuellement les sciages. La figure 3 décrit des plans de débit "standards" souvent utilisés dans les scieries. Suivant les besoins et la grume, un plan est choisi de manière à avoir la meilleure optimisation matière. Mais pour des pièces non standards (souvent de sections importantes), les scieurs optimisent les grumes suivant des plans spécifiques permettant de produire des pièces bien plus diversifiées.

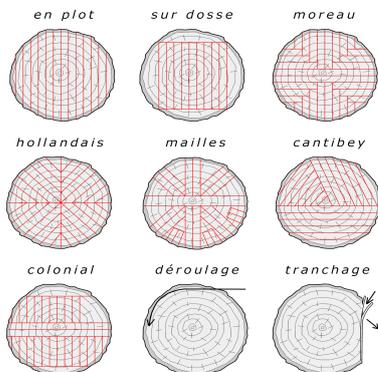


Fig. 3. Les plans de sciage typiques.

Via un logiciel ad-hoc, nous avons simulé le sciage virtuel d'une grume suivant un plan de débit quelconque afin d'obtenir des produits virtuels (point 2 de la figure 1). Les

images des pièces sont obtenues en exploitant la mesure de la densité du bois (voxel de la tomographie) au niveau du plan de coupe (figure 4). Nous obtenons des images en niveau de gris, à partir des quelles, il est possible d'extraire les singularités ainsi que leurs caractéristiques.

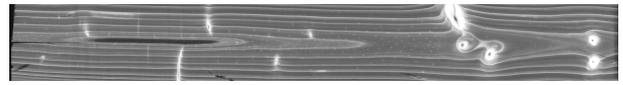


Fig. 4. Exemple d'une face d'un produit obtenue via le sciage virtuel.

## IV. PROCESSUS DE DÉTERMINATION DE LA QUALITÉ ESTHÉTIQUE

Dans l'industrie du bois, la qualité esthétique est une caractéristique importante pour le client. Les dessins du bois permettent de prendre en compte celle-ci afin de créer des éventuels appairages entre les différentes pièces constituant un produit fini et ainsi obtenir une homogénéité visuelle. Pour autant les singularités visibles en surface vont à l'encontre de l'objectif recherché car elles présentent des différences de couleurs.

Lorsque, sur une pièce, les singularités sont très visibles, le produit est dévalorisé esthétiquement. Il en est de même si une planche en présente de trop car l'harmonie du bois sain est perdue. Cependant une pièce de bois dont les singularités sont nombreuses mais petites et peu visibles sera esthétiquement au même niveau de qualité esthétique qu'une pièce qui possède peu de singularités mais de tailles importantes et marquées. L'évaluation de l'esthétisme d'une pièce de bois prend donc plusieurs paramètres en compte et peut conduire à estimer des cas différents dont la qualité esthétique est similaire. Une étude réalisée sur la modélisation de la qualité des bois ronds et des produits bois (esthétiquement, dimensionnellement, mécaniquement) à partir de l'analyse de connaissances expertes a mis en évidence une quarantaine de critères pertinents [1]. Sur ces 40 critères seulement la moitié correspond à la caractérisation de la qualité esthétique, et pour un type de produit, il est possible de n'utiliser qu'une dizaine de ces critères. Nous nous limiterons, pour cette étude, aux cinq critères les plus pertinents.

Dans la suite, nous proposons un processus de mesure de la qualité esthétique des produits bois sur la base d'images tomographiques dont sont extraits les critères utiles à la caractérisation des singularités détectées. Pour cela nous présentons tout d'abord les critères que nous avons retenus. Puis nous détaillons les calculs de la mesure de criticité d'une singularité. Pour tenir compte des imperfections de mesures de ces caractéristiques, nous utilisons l'intégrale de Choquet qui est un outil d'agrégation multicritère adapté à ce contexte. Nous obtenons ensuite une mesure de la qualité du produit en fusionnant les criticités des différentes singularités présentes. Le choix de l'opérateur de fusion est également adapté à ce cadre imprécis.

### A. Critère d'évaluation de l'esthétique

La qualité esthétique d'une pièce est liée aux singularités que l'on voit en surface. Plus une pièce sera marquée de singularités plus celle-ci sera dévalorisée. Nous avons donc sélectionné cinq critères permettant d'évaluer la qualité esthétique d'une planche (un propre au produit, 4

propres aux singularités), nous proposons pour chacun des critères une évaluation qui les régit selon les règles suivantes : il tend vers 1 lorsque la donnée tend vers la valeur idéale et vers 0 sinon. Il est donc compris entre [0,1].

1- Le **nombre de singularités** ( $NB_s$ ) sur le produit est propre au produit. C'est le critère prépondérant pour la détermination de la qualité esthétique. Plus il y aura de singularités, plus un produit sera déprécié, l'absence de singularités étant l'idéal. Le nombre de nœuds sur la planche fait très vite décroître sa qualité et tend à se stabiliser dès que le nombre atteint une valeur élevée. Nous utiliserons une décroissance exponentielle (1) pour avoir une estimation du critère nombre de singularités conforme à cette idée.

$$R_{nb} = 1.1^{-(NB_s)} \quad (1)$$

2- Le **rapport entre taille de la singularité** ( $T_s$ ) et **largeur de la face observée** ( $l$ ) (propre à la singularité) permet d'évaluer l'importance de la singularité sur la pièce. Plus une singularité sera petite plus la valeur du critère tend vers 1. Néanmoins, le jugement d'expert stipule qu'une singularité supérieure à 50 mm est considérée comme très critique. Ainsi ce critère est calculé par rapport à la largeur du produit si celui-ci est inférieur à 50 mm et par rapport à une singularité de 50 mm si la largeur est supérieure. Enfin si la singularité est supérieure à 50 mm le critère vaut 0.

$$\begin{cases} \text{si } l \leq 50\text{mm}, R_t = 1 - \frac{T_s}{l} \\ \text{si } l > 50\text{mm et } T_s \leq 50 \text{ mm}, R_t = 1 - \frac{T_s}{50} \\ \text{si } l > 50\text{mm et } T_s > 50 \text{ mm}, R_t = 0 \end{cases} \quad (2)$$

3- La **proximité de la singularité du bord** du produit (propre à la singularité) permet de savoir si une singularité sera simple ou non à enlever par des opérations de débit comme le dégauchissage ou le rabotage. Plus la singularité est proche d'un bord plus le critère tend vers 1. Afin d'avoir une estimation de cette proximité par rapport à chaque coté du produit, nous calculerons la distance entre le milieu de la largeur ( $l$ ) de la pièce et la position du centre de gravité de la singularité projeté sur cet axe ( $Y_s$ ).

$$R_y = \frac{|l/2 - Y_s|}{l/2} \quad (3)$$

4- La **proximité de la singularité du bout** du produit (propre à la singularité) traduit le fait qu'une singularité sera simple ou non à purger par des opérations de débit comme le tronçonnage. Plus la singularité est proche d'un bout, plus le critère tend vers 1. Afin d'avoir une estimation de cette proximité par rapport à chaque bout du produit, nous calculerons la distance entre le milieu de la longueur ( $L$ ) de la pièce et la position du centre de gravité de la singularité projeté sur cet axe ( $X_s$ ).

$$R_x = \frac{|L/2 - X_s|}{L/2} \quad (4)$$

5- Le **contraste** de la singularité (propre à la singularité) par rapport au bois sain est également pertinent dans l'expression de la qualité esthétique. Une face aura une meilleure perception esthétique lorsque les singularités sont faiblement contrastées. Donc plus le contraste est faible

plus la valeur du critère tend vers 1. Pour l'obtenir nous utilisons l'intensité moyenne des pixels de la singularités ( $I_s$ ) et celle du bois ( $I_b$ ).

$$R_c = 1 - \frac{|I_s - I_b|}{I_b} \quad (5)$$

### B. Calcul de la criticité des singularités

Afin de déterminer la criticité d'une singularité, nous utilisons l'intégrale de Choquet sur les critères propres aux singularités. L'intégrale de Choquet a été proposée par Gustave Choquet en 1954 [7]. Leur utilisation dans les méthodes de décisions multi-critère apparait dans les années 90 pour différentes utilisations [10]. Les problèmes similaires de classification sont souvent traités à l'aide des intégrales de Choquet [10]. Elle permet non seulement de prendre en compte l'importance de chaque critère de façon pondérée mais aussi l'interaction positive ou négative qui existent entre les critères. Le vecteur des capacités ( $mu$ ) définit l'ensemble de ces poids et interactions. Chaque critère est représenté par la valeur  $u_i$  qui doit être comprise entre 0 et 1 et qui doit tendre vers 1 lorsque le critère tend vers la valeur idéale. L'intégrale est calculée par l'équation (6).

$$C_\mu(u_1, \dots, u_n) = \sum_{i=1}^n (u_{\sigma_k} - u_{\sigma_{k-1}}) \mu(A_{\sigma_k}) \quad (6)$$

Où  $\sigma$  est la permutation d'indices telle que (classement croissant) :

$$\begin{aligned} 0 &= u_{\sigma_0} \leq u_{\sigma_1} \leq \dots \leq u_{\sigma_{n-1}} \leq u_{\sigma_n} \leq 1 \\ u_{\sigma_1} &= \text{Min}(u_i) \text{ et } u_{\sigma_n} = \text{Max}(u_i) \end{aligned} \quad (7)$$

et  $A_{\sigma_k} = \{g_{\sigma_k}, \dots, g_{\sigma_n}\}$  les caractéristiques non utilisées dans les étapes précédentes.

### C. Détermination de la classe esthétique des produits.

Maintenant que nous avons la criticité des singularités pour un produit, il nous faut une évaluation globale de la planche en fonction des singularités et de leur nombre. Pour des raisons de simplicité et parce que nous n'avons pas d'information a priori sur l'importance relative des critères et sur la façon de les prendre en compte, nous avons choisi de la calculer à partir d'une opération de fusion des différentes criticités. Néanmoins, au vu de l'incertitude qu'intègre ces criticités, nous avons opté pour un opérateur de fusion flou. Il existe différents opérateurs de fusion d'informations (notés F) qui sont classés en trois catégories [3] :

- les opérateurs sévères (pessimistes). L'opérateur est considéré ainsi s'il satisfait  $F(a, b) \leq \min(a, b)$ ,
- les opérateurs indulgents (optimistes). L'opérateur est considéré ainsi s'il satisfait  $F(a, b) \geq \max(a, b)$ ,
- les opérateurs prudents. L'opérateur est considéré ainsi s'il satisfait les conditions (8).

$$\begin{cases} a \leq F(a, b) \leq b \text{ si } a \leq b \\ b \leq F(a, b) \leq a \text{ si } b \leq a \end{cases} \quad (8)$$

Par rapport à la décision finale, nous souhaitons que l'impact de plusieurs singularités peu critiques soit le même qu'une singularité très critique. Les opérateurs prudents

paraissent les plus adaptés à notre besoin. Nous testons plusieurs opérateurs : un développé au sien de notre équipe par Perez-Oramas [18] et présenté en (9), mais aussi la moyenne géométrique, la moyenne arithmétique et l'opérateur de Hamacher (opérateur pessimiste) (10), avec comme informations à fusionner le nombre de singularités et les criticités des singularités.

$$F(a, b) = \min\left(1, \frac{\min(a, b)}{1 - \min(a, b)}\right) \quad (9)$$

$$F(a, b) = \frac{ab}{a + b - ab} \quad (10)$$

## V. MISE EN ŒUVRE DU CAS APPLICATIF

Pour mettre en évidence la faisabilité de notre proposition, nous avons calculé les caractéristiques des singularités détectées sur les images issues du sciage virtuel. L'exploitation de ces caractéristiques selon les calculs décrits précédemment nous permet d'obtenir une mesure de criticité de chaque singularité et ensuite une mesure de la qualité esthétique de chaque produit bois. Les produits bois sont ici des planches de résineux (Épicéa, sapin), dont la qualité a été évaluée par un opérateur sur des produits finis après application du plan de débit. Nous comparons notre mesure de qualité esthétique virtuelle avec la qualité fournie par l'opérateur.

Notre étude concerne plusieurs planches décrites dans le tableau II avec :

- le numéro de la pièce observée,
- le nombre de singularités observées ( $NB_s$ ),
- la largeur de la pièce ( $l$ ),
- la longueur de la pièce ( $L$ ),
- la taille de la singularité ( $T_s$ ),
- la position sur la longueur du centre de gravité de la singularité ( $X_s$ ),
- la position sur la largeur du centre de gravité de la singularité ( $Y_s$ ),
- l'intensité de la singularité ( $I_s$ ).
- la criticité ( $C_\mu$ ) de la singularité obtenue grâce à l'intégrale de Choquet (décrites dans le tableau I).

Toutes ces données sont ensuite transformées grâce aux équations 2, 3, 4 et 5 afin d'obtenir les critères d'évaluation de la criticité des singularités. Une fois l'intégrale de Choquet appliquée aux critères, nous obtenons les criticités marquées dans le tableau II en dernière colonne.

TABLE I  
VALEURS DES CAPACITÉS

paramètres	$\mu(A_{\sigma k})$	paramètres	$\mu(A_{\sigma k})$
$\{\emptyset\}$	0	$\{R_t\}$	0.25
$\{R_t, R_x\}$	0.5	$\{R_x\}$	0.25
$\{R_t, R_y\}$	0.5	$\{R_y\}$	0.2
$\{R_t, R_c\}$	0.5	$\{R_c\}$	0.25
$\{R_x, R_y\}$	0.5	$\{R_t, R_x, R_y\}$	0.75
$\{R_x, R_c\}$	0.5	$\{R_t, R_x, R_c\}$	0.75
$\{R_y, R_c\}$	0.5	$\{R_t, R_y, R_c\}$	0.75
$\{R_t, R_x, R_y, R_c\}$	1	$\{R_x, R_y, R_c\}$	0.75

Pour obtenir une mesure de la qualité esthétique, nous appliquons les opérateurs de fusion proposés précédemment

pour chaque planche sur la valeur du critère nombre de singularités et sur chaque autre criticité des singularités.

TABLE II  
CARACTÉRISTIQUES DES PLANCHES ET CRITICITÉS DES SINGULARITÉS

Pièce	$NB_s$	$l$	$L$	$T_s$	$X_s$	$Y_s$	$I_s$	$C_\mu$				
1	6	.05	1	15.7	682	45	65	.550				
				10.1	294	9	93	.603				
				7.7	586	19	154	.536				
				15.3	192	35	131	.617				
				19.4	783	9	142	.666				
				7.1	958	4	10	.665				
2	4	.08	1	21.9	121	10	30	.560				
				3.2	716	41	98	.507				
				10.8	469	57	132	.508				
				19.0	904	57	15	.475				
3	7	.10	1	1.9	432	41	48	.422				
				60.1	804	71	73	.352				
				45.1	278	37	76	.309				
				57.7	123	66	61	.335				
				7.3	186	9	76	.686				
				58.6	543	50	171	.310				
4	1	.10	1	32.0	966	57	160	.586				
				5	4	.10	1	42.6	65	77	123	.557
5	4	.10	1	30.8	156	23	57	.477				
				48.1	51	53	133	.432				
				49.0	326	98	141	.526				
				6	9	.08	1	40.4	418	10	167	.525
6	9	.08	1	36.9	697	31	2	.217				
				8.5	165	39	71	.491				
				5.8	277	49	149	.603				
				23.4	189	68	65	.552				
				15.6	772	17	78	.569				
				11.6	879	47	65	.519				
7	1	.05	1	18.5	862	45	163	.613				
				24.3	331	66	45	.433				
				7	1	.05	1	11.4	4	38	147	.773
				8	7	.05	1	13.1	813	38	77	.587
								3.3	412	18	125	.537
								10.4	800	9	104	.664
29.7	244	48	20					.468				
30.5	634	31	158					.476				
18.2	246	44	13					.488				
9	5	.10	1	14.2	761	13	66	.533				
				17.2	582	22	13	.368				
				54.7	112	66	158	.506				
				14.9	951	86	77	.682				
				30.5	771	84	67	.492				
				12.7	327	42	26	.370				
10	1	.10	1	13.3	694	51	32	.349				

## VI. ANALYSE DES RÉSULTATS

Le tableau III présente les résultats obtenus et le classement des pièces selon la valeur de la qualité fournie par les opérateurs (colonnes 2-5) ainsi que le classement donné par l'expert (colonne 1). Les classements obtenus à l'aide des différents opérateurs restent sensiblement les mêmes. Les pièces présentant peu de singularités mais critiques (ex :

planche 10) sont classées au même niveau que des planches avec beaucoup de singularités peu critiques (planche 1).

L'opérateur proposé par Perez-Oramas est un opérateur qui est indulgent lorsque les informations fusionnées sont supérieures à 0.5 et prudent sinon. Cette caractéristique pose le problème pour certains produits qui devraient être déclassés et qui ne le sont pas (produit 1).

L'opérateur de Hamacher, bien que pessimiste, fournit un classement se rapprochant du classement de l'expert. Cependant c'est dans la valeur fournie qu'il n'est pas en accord avec les autres car il déclasse très rapidement les pièces pour la moindre singularité. Il s'avère donc trop pessimiste par rapport à notre besoin.

Finalement c'est l'opérateur moyenne arithmétique qui se rapproche le plus du classement de l'expert. Cependant les valeurs des capacités utilisées pour pondérer les critères dans l'intégrale de Choquet reviennent à considérer que chaque critère a la même importance pour l'expression de la criticité. Il est, pour autant, évident que chacun ne participe pas de la même manière à la détermination de la qualité esthétique. Ainsi il est nécessaire d'évaluer l'impact de chacun de ces critères pour avoir une meilleure pondération et donc un meilleur classement.

TABLE III  
MESURE DE L'ESTHÉTIQUE DES PLANCHES

Exp.	Perez		Hamacher		Moy géo		Moy arit	
7	1	1	7	.718	7	.839	7	.841
4	4	1	4	.533	4	.730	4	.747
10	7	1	10	.337	10	.504	10	.629
1	2	.906	2	.017	2	.086	1	.600
2	8	.879	5	.016	5	.077	2	.547
9	5	.761	1	.006	1	.046	5	.535
8	9	.583	9	.005	9	.028	8	.533
5	10	.535	8	.002	8	.012	9	.507
6	3	.446	3	.000	3	.002	6	.495
3	6	.276	6	.000	6	.001	3	.413

## VII. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté une méthode nouvelle pour estimer la qualité esthétique d'un produit bois en utilisant des informations propres au produit et en particulier, ses singularités. Ceci constitue une première preuve de faisabilité de notre processus d'évaluation virtuelle des produits avant sciage. Les différents opérateurs testés fournissent des classements semblables pour la majorité des pièces. Les quelques écarts de classement peuvent provenir du paramétrage de l'intégrale de Choquet ou des opérateurs de fusion. Cependant, ils restent peu éloignés au vue de l'estimation de l'expert, ce qui nous permet de conclure à la crédibilité de la méthode proposée dont l'intérêt est indéniable pour l'amélioration du service client.

En termes de perspectives, nous avons l'intention de rajouter une dernière étape au processus présenté. Cette étape vise à prendre en compte les différentes informations du programme directeur de production (stocks, besoins, matières premières,...), afin de déterminer si le programme de coupe prévu est rentable. Elle permettra aussi de déterminer quelle sera la classe esthétique à attribuer

aux produits pour améliorer la productivité des scieries, pour limiter les stocks et améliorer le taux de service client.

## VIII. REMERCIMENT

Les auteurs tiennent à remercier le support financier du CPER 200-2013 "Structuration du Pôle de Compétitivité Fibres Grand Est", à travers les fonds locaux (Conseil Général des Vosges), régionaux (Région Lorraine), nationaux (DRRT and FNADT) et européens (FEDER).

## RÉFÉRENCES

- [1] Almecija B., Bombardier, V. et Charpentier, P. Modeling Quality Knowledge to Design Log Sorting System by X Rays Tomography. *Information Control Problems in Manufacturing*, vol. 14, pp. 1190-1195, 2012.
- [2] Almeida G., Perre P. et Leclerc S. NMR imaging of fluid pathways during drainage of softwood in a pressure membrane chamber. *International Journal of Multiphase Flow*, vol. 34, n°1, pp. 312-321, 2008.
- [3] Block I. Information combination operators for data fusion : A comparative review with classification. *Systems, Man and Cybernetics, Part A : Systems and Humans, IEEE Transactions on*, vol. 26, pp. 52-67, 1996.
- [4] Bombardier V., Mazaud C., Lhoste P. et Vogrig R. Contribution of fuzzy reasoning method to knowledge integration in a defect recognition system. *Computers in industry*, vol. 58, pp. 355-366, 2007.
- [5] Bombardier V., Schmitt E. et Charpentier P. A fuzzy sensor for color matching vision system, *Measurement*, vol. 42, pp. 189-201, 2009.
- [6] Bucur V. Techniques for high resolution imaging of wood structure : a review. *Measurement Science and Technology*, vol. 14, pp. 91-98, 2003.
- [7] Choquet G. Theory of capacities. *Annales de l'institut Fourier*, vol. 5, pp. 131-295, 1954.
- [8] Dubois D. et Prade H. On the use of aggregation operations in information fusion processes. *Fuzzy Sets and Systems*, 142, 143-161, 2004.
- [9] Dupuy, C. Analyse et conception d'outils pour la traçabilité de produits agroalimentaire afin d'optimiser la dispersion des lots de fabrication. thèse de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2004.
- [10] Grabisch, M. et Labreuche, C. A decade of application of the Choquet and Sugeno integrals in multi-criteria decision aid. *Annals of Operations Research*, vol 175, n°1, pp. 247-286, 2008.
- [11] Guillot J., Lanvin J. et Sandoz J. Classement structure du sapin/épicéa par réseaux neuronaux à partir des mesures sylvatest Colloque en Sciences et industries du bois, 1996.
- [12] Hodges D., Anderson W., McMillin C. et autre. The economic potential of CT scanners for hardwood sawmills. *Forest products journal*, vol. 40, n°1, pp. 65-69, 1990.
- [13] Jover J., Bombardier V. et Thomas A. Marquage du bois dans la masse : Intérêts et perspectives. Congrès international en génie industriel (CIGI-2012). St Sauveur, Canada, Octobre 2011.
- [14] Kaestner A. et Baath L. Microwave polarimetry based wood scanning. 12th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Sopron, Hongrie, 13-15 sept 2000.
- [15] Longuetaux F. Détection et analyse non destructive de caractéristiques internes de billons d'épicéa commun (*Picea abies* (L.) karst.) par tomographie à rayons X. Thèse de doctorat de l'Université AgroParisTech, 2005.
- [16] Norme Européenne NF-EN-1611. Bois sciés Classement d'aspect des bois résineux Partie 1 : Épicéas, sapins, pins et Douglas européens. AFNOR, 1999.
- [17] PEFC Standards 2002 :2010 : Chain of Custody of Forest Based Products, 2010.
- [18] Perez Oramas O. Contribution à une méthodologie d'intégration de connaissances pour le traitement d'images. Application à la détection de contours par règles linguistiques floues », Thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré, 2000.
- [19] Rinhofer A., Petutschnigg A. et Andreu J. Internal log scanning for optimizing breakdown. *Computers and electronics in agriculture*, vol. 41, pp. 7-21, 2003.
- [20] Todoroki C. et Rönnqvist M. Dynamic control of timber production at a sawmill with log sawing optimization. *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 17, pp. 79-89, 2002.