

Marquage du bois dans la masse : Intérêts et perspectives

JEREMY JOVER¹, ANDRE THOMAS¹, VINCENT BOMBARDIER¹

¹ CENTRE DE RECHERCHE EN AUTOMATIQUE DE NANCY CRAN-CNRS 7039
NANCY UNIVERSITE, FACULTE DES SCIENCES, BP 239
54506 VANDŒUVRE LES NANCY CEDEX, FRANCE
JEREMY. JOVER @CRAN.UHP-NANCY.FR

Résumé - Cet article présente les premiers travaux relatifs à un nouveau paradigme de « matière communicante ». Dans celui-ci, la matière envisagée est le matériau bois que l'on souhaite marquer dans la masse. A partir de cette hypothèse, nous étudions la pertinence d'un tel marquage sur la chaîne logistique du bois. Ainsi, nous abordons l'intérêt de conserver et d'utiliser les informations rattachées au matériau afin d'aider au pilotage de la chaîne logistique. Les échanges d'informations sont modélisés afin de faire apparaître les informations importantes et la façon dont elles peuvent être utilisées. Enfin nous montrons la nécessité de fusionner ces informations de marquage avec celles issues de différents types de capteurs pour que la traçabilité soit totale tout au long du cycle de vie. Afin de nous aider dans l'étude de cette pertinence, nous proposons un démonstrateur pour simuler cette matière marquée dans la masse.

Abstract – This article introduces first works on new «communicating material» paradigm. In this paper, the product aimed is the wood material that we envisage to mass marking. We would like to study the pertinence of a marking method like this in the wood supply chain. So we highlight the interest to keep and use the information attached to the wood material in order to pilot the wood industry supply chain. We model the information exchange so as to see which information is important and how they could be used. After we propose methods for strengthen the mass marking and have a total traceability in the first wood transformation. Finally to help us in the pertinence study, we proposed a mass marking material prototype.

Mots clés - système de traçabilité, industrie du bois, modélisation de flux d'informations décisionnelles, pilotage de chaîne logistique, marquage dans la masse de la matière, résonance quadrupolaire nucléaire.

Keywords – traceability system, wood industry, model of decisional information flux, supply chain piloting, mass marking material, nuclear quadrupole resonance.

1 INTRODUCTION

Afin d'améliorer la gestion des chaînes logistiques, la traçabilité des produits ne cesse de se développer pour devenir aujourd'hui un atout indispensable aux entreprises. L'une des parts importantes de la traçabilité est l'identification des produits par le marquage. Les technologies Auto-ID, en particulier la RFID (Radio Frequency Identification), se sont beaucoup démocratisées pour réaliser ce marquage. Les progrès de lecture/écriture de ces systèmes d'identification permettent aujourd'hui de lire plusieurs codes en même temps, à des distances de plusieurs mètres. De même la capacité de stockage de l'information a augmenté : d'une part, les puces RFID ont plus de mémoire (jusqu'à 512 Ko), d'autre part, on sait associer aux codes des puces une base de données dans laquelle ils sont référencés avec les informations qui leur sont relatives. Aujourd'hui des projets de recherches ont montré que les concepts de « produit communicant » et d'« auto identification » étaient pertinents [McFarlane et Sheffy, 2003]. Diverses tentatives de déploiement dans l'industrie et les services correspondants voient le jour. Par exemple, on utilise des tags RFID sur les kanbans pour les rendre « actifs » [Klein, 2008] afin que les étiquettes kanban aient la capacité de communiquer avec leur environnement pour mieux gérer les priorités entre les boucles kanbans.

Mais ce marquage des produits reste un marquage discret (avec un tag). Cette méthode est très pratique pour des produits finis mais elle implique que les pièces concernées ne soient plus découpées par la suite. L'idée est donc d'imaginer un nouveau paradigme dans lequel ce n'est plus le produit mais la matière qui devienne communicante. Grâce à cela, on pourrait alors la

scinder tout en conservant les informations associées à la matière. Des études ont déjà été menées sur les matériaux communicants, en particulier dans le textile [Kubler, 2011]. Elles ont montré tout l'intérêt de mettre en place ce paradigme ainsi que ses limites. Dans le cadre de ce nouveau paradigme, nous avons étudié la pertinence et la faisabilité d'une telle vision des choses dans l'industrie du bois à des fins d'optimisation du système logistique. Pour cela, nous l'avons modélisé dans son ensemble de celle-ci dans le but de connaître l'influence de la conservation de l'information. Parallèlement quelques essais prospectifs de marquage dans la masse ont été menés [Jover et al, 2010].

Dans une première partie nous faisons un bilan de la traçabilité dans l'industrie du bois. Ensuite nous modélisons les échanges d'informations dans les processus bois afin d'étudier l'utilité de ces informations pour piloter les flux. Puis nous fournissons des méthodes de traçabilité améliorant la gestion de la production. Enfin nous décrivons un premier démonstrateur qui nous permettra de pré-valider notre concept.

2 ETAT DE L'ART DE LA TRAÇABILITE DANS L'INDUSTRIE DU BOIS

2.1 L'importance de la traçabilité dans l'industrie du bois.

L'industrie bois a beau être l'une des plus vieilles industries, elle a tardivement pris conscience de l'intérêt des méthodes et outils relatifs à l'amélioration des processus. Par exemple, les méthodes de contrôle de la qualité comme le SPC ne sont apparues que récemment dans cette industrie [Maness, 1993], alors que l'industrie de l'armement l'adopte dès la seconde

guerre mondiale. Aujourd'hui la pensée évolue et on constate qu'il est important d'améliorer la productivité de la filière bois. L'industrie du bois cherche donc à mettre en place des systèmes de traçabilité de la matière. Plusieurs raisons sont mises en avant : l'augmentation du nombre d'exploitations sauvages du bois [Dyskstra et al, 2002], la nécessité d'améliorer l'utilisation du bois [Chiorescu et Grönlund, 2004] [Ginet et Golja, 2007] et la perte importante d'informations tout au long du cycle de vie du bois [Ginet et Golja, 2007]. Plusieurs actions ont été menées par les industriels pour améliorer la traçabilité des bois comme par exemple :

- La mise en place de certifications de provenance du bois telles que PEFC (Pan European Forest Certification) ou FSC (Forest Stewardship Council). Ces certifications ont pour objectifs d'assurer au client que le bois provient bien d'une forêt durablement gérée et que l'ensemble de la chaîne logistique respecte des règles de gestion précises.

- Le projet européen [indisputable Key, 2009], qui a cherché des voies d'amélioration de la traçabilité des bois et des méthodes de conservation de l'information.

2.2 La traçabilité pour la conservation de l'information

La traçabilité a deux objectifs principaux : l'un est de retrouver où sont situés les objets dans la chaîne logistique (tracking), l'autre de connaître les antécédents des produits (tracing).

La conservation des informations tout au long de la vie du bois est un réel problème dans la chaîne logistique du bois. Le projet [indisputable Key, 2009] a mis en évidence que cette filière est un enchaînement de pertes d'informations (figure 1). Les pertes les plus importantes sont en début de chaîne entre la forêt et le sciage. Il y a deux raisons à cela :

- les informations perdues (parcelle d'origine,...) sont compliquées à retrouver, car rien ne permet de les connaître précisément,

- la nomenclature divergente de débit des arbres (grume, puis billons puis produits bois) et le mélange de ces différentes parties entre les grandes étapes rend l'opération de conservation des informations compliquée.

La mise en place des certifications de provenance des bois est donc rendue difficile. Les recherches se sont donc beaucoup plus préoccupées des pertes en début de cycle de vie qu'en fin. Le projet Ikey a cherché des solutions palliatives à la perte d'informations entre la forêt et le tri des grumes. En revanche [Chiorescu et Grönlund, 2004] se concentrent plus sur la conservation entre le triage des grumes et le sciage.

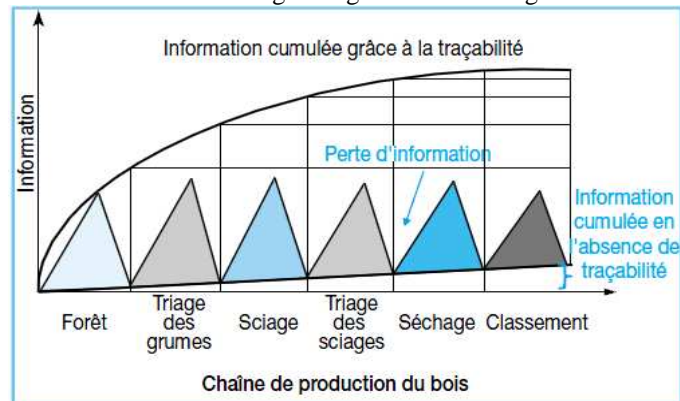


Figure 1. Schématisation de la perte d'informations sur la chaîne de production du bois (source : the Ikey Project)

2.3 Les méthodes de marquage du bois

Les méthodes utilisées jusqu'à aujourd'hui pour marquer les grumes sont décrites dans [Dyskstra et al, 2002]. Ces méthodes

ont beaucoup évolué avec le temps. Initialement archaïques (marques de peinture, martelage, ...), elles utilisent actuellement des codes à barres ou des puces RFID. Aujourd'hui, elles permettent d'identifier précisément les grumes entre la forêt et l'entrée en scierie. Elles sont aussi utilisées pour identifier facilement les billons avant le sciage de tête [Chiorescu et Grönlund, 2004]. Cependant, se servir de la RFID pour suivre les pièces de bois dans la suite du processus implique d'en utiliser une quantité considérable. De plus le coût qu'elles représentent n'est pas négligeable pour une scierie.

Afin de réduire les coûts, il est possible d'utiliser des méthodes d'identification biométrique qui utilisent les caractéristiques physiques des produits pour les identifier. Dans ce cadre, les chercheurs tentent de mettre en place de nouvelles méthodes d'identification et de traçabilité des bois. Des recherches utilisent les rayons-X pour identifier les billons [Flodin et al, 2007]. Les auteurs s'appuient sur les emplacements des nœuds pour reconnaître une grume parmi d'autres et donc obtenir une signature (figure 2). La difficulté d'une telle solution réside dans l'obligation d'avoir deux tomographes. Ce qui implique de très lourds investissements.

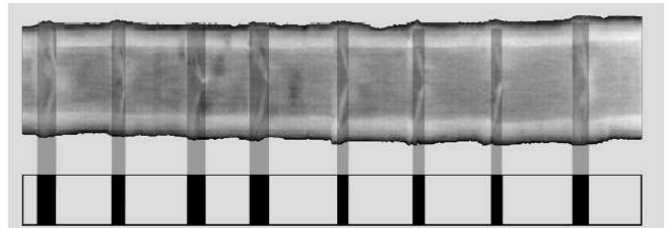


Figure 2. Méthode Fingerprint utilisée par [Flodin et al, 2007], pour identifier les grumes.

D'autres techniques biométriques ont été utilisées pour l'identification du bois. [Charpentier et Choffel, 2003] ont proposé une méthode pour laquelle la signature est obtenue par un signal émis par un capteur micro-onde. Ce signal est transformé lors de son passage à travers le bois par les « singularités » de celui-ci. Cependant, une telle méthode d'identification ne peut être obtenue que lorsque le morceau de bois est usiné et donc après l'étape de la scierie. Notons de plus qu'un changement morphologique (exemple un usinage) transforme la matière et donc le signal, limitant par la même l'intérêt du procédé.

Afin de retrouver les informations sur l'origine de l'arbre, l'utilisation de l'ADN a été envisagé [Deguilloux et al, 2004]. En effet, chaque arbre possède son propre ADN, ce qui permet d'avoir un unique identifiant. L'auteur cherche à adapter la méthode à l'industrie de la tonnellerie afin de certifier la provenance des chênes utilisés. Une telle identification reste compliquée à utiliser de façon industrielle : les méthodes de chromatographie de l'ADN sont beaucoup trop longues pour les vitesses nécessaires aux processus industriels [Dyskstra et al, 2002].

2.4 Problématique

Nous comprenons donc bien qu'un marquage dans la masse soit utile. Mais si l'on imagine un tel marquage, quelle en serait alors la pertinence d'un tel projet dans l'industrie du bois ? Quelle serait l'utilité de conserver les informations pour la chaîne logistique du bois ? Comment améliorer la traçabilité et la qualité dans l'industrie du bois ? La présente étude s'intéresse à répondre à ces questions.

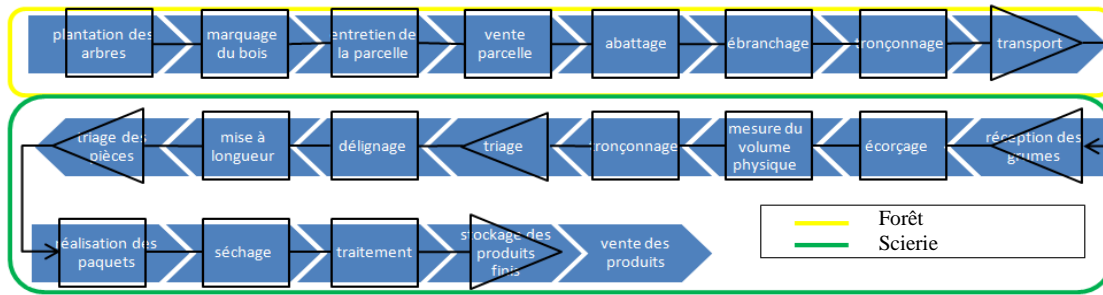


Figure 3. Schématisation de la chaîne logistique du bois.

3 MODELE D'INFORMATION DANS L'INDUSTRIE DU BOIS

Afin de mieux voir les échanges d'informations dans le processus industriel du bois, nous les avons modélisés. Grâce à cette modélisation nous avons pu identifier toutes les informations, comprendre comment les utiliser pour piloter la chaîne logistique et mettre en évidence comment utiliser le marquage dans la masse.

3.1 La modélisation des flux d'informations dans la chaîne logistique du bois

Peu de modèles existent sur les échanges d'informations dans la chaîne logistique du bois. Comme nous l'avons déjà dit, le projet [The Indisputable Key, 2009] montre que les pertes d'informations se situent entre les différentes étapes importantes de la chaîne logistique (Figure 1). C'est au début de la chaîne logistique que les pertes sont les plus importantes. Cependant, on ne sait pas quelles informations sont perdues et quels peuvent être leurs impacts sur le pilotage de la chaîne logistique. Il serait donc judicieux de savoir quand et comment les informations peuvent être récupérées et utilisées. Nous avons donc décomposé le début de la chaîne logistique du bois en trois métiers : la sylviculture, l'exploitation forestière et la scierie. Un processus métier est ensuite associé à chacun de ceux-ci, puis décomposé en activités.

Le premier point que l'on peut constater en mettant en parallèle la figure 1 et la figure 3, est qu'à chaque stock, les informations sont perdues. Entre la sylviculture et la scierie, l'information sur l'origine de l'arbre est perdue. En scierie, c'est lorsque l'on met les grumes, billons ou les produits bois en stock que les informations sont perdues. Ainsi la mise en place d'une identification semble essentielle pour mettre en relation la matière et ces informations pendant les périodes de stock.

Nous avons ensuite analysé chaque étape pour analyser les informations qui entrent et sortent de celle-ci. Divers documents permettent d'avoir une liste exhaustive des informations qui peuvent être extraites des différentes activités de la chaîne logistique [inventaire forestier national, 2010] [Pignard, 1993] [FCBA, 2001]. Un modèle de processus intégrant les différents échanges d'informations a été réalisé (annexe 1). Celui-ci décrit les différents endroits où sont générés et exploités ces différentes informations. Pour des objectifs de clarification, nous allons, dans un premier temps, étudier le modèle pour la partie sylviculture et exploitation forestière, puis dans un deuxième temps, pour la partie scierie

3.2 Etude du modèle pour les informations sortant de la sylviculture et de l'exploitation forestière

Ce modèle nous permet d'étudier l'intérêt de pouvoir conserver ces informations issues de la sylviculture et de l'exploitation forestière ainsi que les avantages qu'il en découle.

Les informations récupérées en début de chaîne servent à trois objectifs (annexe 1, cadre en pointillé) :

- certifier la provenance des arbres,
- permettre aux scieurs de choisir les arbres qu'ils désirent acheter.

- connaître le potentiel d'une parcelle si l'achat se fait (comme la plupart du temps en France) à la parcelle.

Rappelons qu'une entreprise ne peut apposer le logo de la certification PEFC (Pan European Forest Certification) que si elle peut certifier qu'au moins 70% de sa production vient de forêts certifiées PEFC. Si l'on imagine pouvoir marquer chaque arbre certifié PEFC, il serait possible à chaque instant de savoir si le morceau de bois usiné peut être certifié. On pourra donc vendre au client des produits certifiés à 100% plutôt que des produits qui ont une probabilité de 70% d'être réellement certifiable. Il sera donc possible, d'une part, de mieux gérer les certifications dans l'industrie du bois et, d'autre part, de vendre au client des lots de bois de qualités différentes. Ainsi on pourrait imaginer des primes pour les personnes qui utilisent du bois certifié.

De plus, un échange d'informations entre la sylviculture et les scieurs doit être mis en place pour permettre à ces derniers de choisir les arbres qui seront les plus proches de leur besoin. Un recensement des différents arbres présents dans certaines parcelles de forêt a déjà été mis en place: c'est l'inventaire forestier national. Il répertorie l'ensemble des arbres et leurs caractéristiques dans une base de données. Cependant, ce n'est qu'un inventaire, il ne permet pas aux scieurs de choisir leurs arbres « sur catalogue » mais bien d'estimer l'occupation des sols et la ressource bois sur pied. Il est alors évident que partager les informations d'une telle base de données peut avoir un grand intérêt économique.

La mise en place d'un marquage dans la masse des arbres permettrait d'avoir un identifiant propre à l'arbre, et d'y associer toutes les informations nécessaires. Notons cependant qu'il n'est sûrement pas pertinent que chaque arbre ait son propre identifiant mais plutôt que tous les arbres de la parcelle aient le même. Grâce à cette base d'échange de données, le scieur achètera ses arbres suivant ses besoins. Il ciblera mieux les parcelles à acheter et leur réel potentiel.

3.3 Etude du modèle pour les informations sortant de la scierie.

Le cadre en lignes pleines de l'annexe 1 montre les informations qui peuvent être extraites des grumes ou des billons, et qui ne servent qu'au scieur. Elles lui permettent de mieux choisir comment il va régler les machines et débiter usiner les billons. Bien que le code unique permette, comme nous l'avons dit ci-dessus, de certifier que la commande est complète et de confirmer l'origine des arbres, il apparaît qu'une fois les grumes scannées et débitées, ce code ne remplit plus sa fonction de « référence unique ». On comprend bien, à l'évidence, que si le code est unique pour un arbre et que l'arbre est débité, l'ensemble des « pièces enfants » auront le

même code. Il faut donc mettre en place un nouveau système d'identification qui permettrait de reconnaître de façon certaine les « pièces enfants ». Il est donc nécessaire de faire évoluer le code pour identifier ces « pièces enfants » tout en gardant l'information de provenance.

Par ailleurs, pour comprendre l'intérêt de l'identification, rappelons le processus de réalisation des commandes des scieurs. Ceux-ci ont principalement deux modes de fonctionnement pour les réaliser, même si pour la majorité des scieurs les deux modes se côtoient souvent :

- soit ils font de la fabrication à la demande. Cette stratégie est utilisée notamment pour réaliser des pièces très spécifiques de charpente, souvent de grosses sections. Dans ce cas l'optimisation de débit des grumes se fait selon les commandes clients. En effet, la première étape consiste à affecter un plan de coupe (longueur et débit), puis les grumes sont débitées en billons et stockées par classes de débits. Enfin, la troisième étape conduit à débiter les billons sur la base d'un plan de coupe affecté à tout le lot de billon. Ce faisant, les informations de départ sont ainsi perdues. Ceci conduit à ce que, la plupart du temps, le bois ne soit pas vendu à sa juste valeur. Pour autant, à ce jour peu de scieries ont la capacité de choisir les grumes en fonction des besoins clients. Les informations affectées à la matière permettraient d'avoir une meilleure adéquation entre les grumes en stock et l'ensemble des besoins du client.

- soit ils font de la fabrication sur stock. Dans ce cas l'objectif du scieur est de faire du reapprovisionnement de son stock. Il fabrique alors des produits standards qu'il débite selon des plans de coupe standards à partir de grumes qu'il essaie d'acheter à des diamètres standards. Cette méthode de production qui impose ainsi d'avoir une quantité importante de stock pour éviter d'être en rupture est pour autant très utilisée dans les scieries. Cependant, des audits ont pu montrer que de nombreuses pièces de bois sont oubliées et laissées à l'abandon, car les scieurs ne savent plus ce qu'ils ont en stock. Les informations de traçabilité permettraient de pallier à ces inconvénients

Dans les deux cas l'identification représente un avantage non négligeable.

[Pischedda, 2007] montre que, sans information de traçabilité, un bois avec des nœuds aura tendance à être déclassé visuellement alors que sa résistance mécanique pourrait amplement satisfaire une utilisation en charpente. Si on est capable d'associer des informations à la matière, il sera vendu en fonction de ses qualités internes et non sur une simple estimation de la qualité visuelle. En plus de cela, une traçabilité accrue permettra aux scieurs d'avoir une meilleure vision de leurs stocks ainsi que des commandes en réalisation. L'auteur explique, entre autre, qu'un gain de 10% est possible en améliorant la productivité et un gain de 10 à 20% est imaginable si l'on arrive à réduire les pertes qualitatives dues à des longues périodes de stock des produits.

En résumé, il s'avère nécessaire d'avoir un système d'identification en plus du marquage dans la masse pour avoir une traçabilité maximale. Il sera ainsi possible d'utiliser les informations relatives aux grumes jusqu'au bout. Dans la partie suivante, nous proposons des méthodes de tracking du produit dans le but d'améliorer la traçabilité de la chaîne de sciage.

4 LA TRAÇABILITE EN VUE D'AMELIORER LA GESTION.

Le marquage dans la masse semble donc très efficace pour le transport de l'information entre la sylviculture et la scierie, mais aussi pour améliorer la mise en place de certifications telles que PEFC. Cependant, lorsque l'on entre en scierie, il

n'est plus suffisant pour identifier de façon unique les pièces de bois produites. L'idée est donc d'imaginer un ensemble de techniques qui permettent de tracer les billons et les pièces en scierie. Des solutions ont déjà été trouvées pour identifier, grâce à la biométrie et au marquage RFID, les billons entre l'optimisation et le sciage de tête [Peterson, 2009] [Chiorescu et Grönlund, 2004] [Flodin et al, 2007].

Malgré cela, aucune méthode ne permet de vérifier que les produits usinés sont bien les produits prévus par l'optimisation. Nous proposons donc d'utiliser le marquage dans la masse comme « code racine » et donc d'enrichir ce code (noté $Crqn$) par des codes caractérisant l'état (code état) issus d'un couplage de techniques de vision interne des grumes et de vision externe des produits bois (noté Cg pour les grumes, Cb pour les billons, Cpl pour les planches). Nous posons comme hypothèse que le marquage dans la masse est possible. Le couplage des deux types de visions servant après le débit des billons, il est nécessaire de marquer chaque billon avec, par exemple, une puce RFID afin de transporter l'information pendant le stock de ceux-ci (Figure 4). On pose $f()$ une fonction permettant de fusionner nos codes. On peut donc identifier chaque objet de la chaîne logistique par un code objet unique noté CO_x avec x la liste des code états de l'objet jusqu'à son état actuel. On a donc pour une planche :

$$\exists ! CO_{rqn,g,b,k} = f(\{Crqn, Cg, Cb, Cpl_k\}).$$

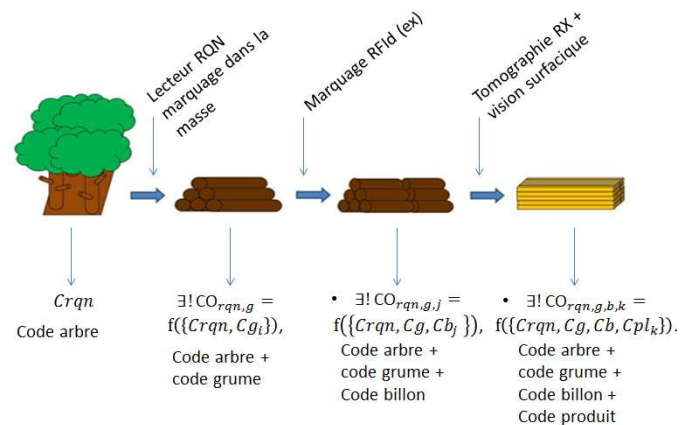


Figure 4. Techniques d'identification proposées tout au long de la chaîne logistique.

4.1 L'utilisation conjointe d'un scanner X et de caméras

La tomographie est déjà très utilisée pour détecter les singularités du bois telles que le cœur, les nœuds, la limite aubiers/duramen [Longuetaud, 2005]. Elle est aussi utilisée pour l'optimisation des débits des grumes en entrée de scierie afin de pouvoir tirer des billons le meilleur gain financier. Les scieries sont donc capables de déterminer pour une grume quels billons produire, mais aussi quelles pièces usiner dans ces billons (« sciage virtuel », « digitisation »). L'utilisation d'un scanner X permet d'avoir en plus la position des singularités sur chaque pièce. En couplant les deux, on peut ainsi obtenir une signature « surfacique » des pièces qui peut être retrouvée dans la suite du processus de production en utilisant des techniques de vision surfacique telles que des caméras. D'où l'idée de coupler vision interne pour les billons et vision externe pour les produits bois.

Afin de déterminer comment identifier les pièces de bois de façon sûre nous avons modélisé la façon dont un produit bois est caractérisé. Pour cela nous avons utilisé la modélisation Niam/Orm (Figure 5). Cette modélisation est utilisée pour modéliser les connaissances métiers en particulier dans le domaine de la vision [bombardier et al, 2007]. Cela nous permet de déterminer quelles caractéristiques doivent être

prises en compte pour avoir la signature surfacique du bois. Finalement nous avons déterminé que la signature surfacique utiliserait les dimensions des produits bois ainsi que la position, la taille et la dénomination des singularités qui sont uniques pour chaque pièce de bois. Donc le *Cpl* sera déterminé en fonction des caractéristiques citées ci-dessus

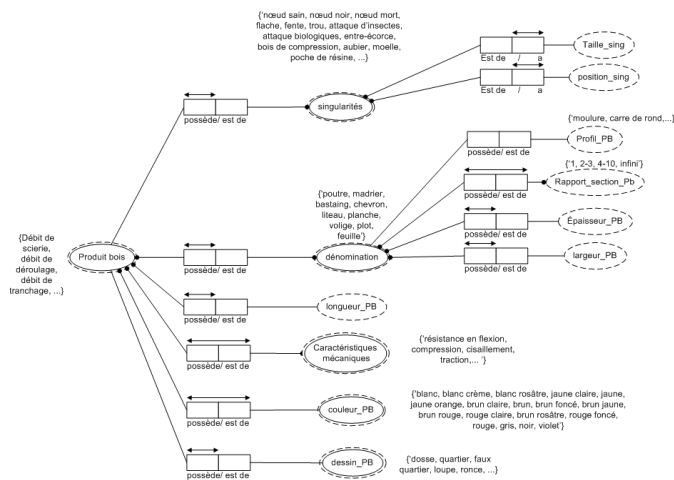


Figure 5. Modélisation Niam d'une pièce de bois et de ses caractéristiques.

4.2 Utilisation de l'identification pour la gestion de la production.

A ce stade de l'étude, nous pouvons poser comme hypothèse que chaque pièce de bois peut avoir son identifiant. Nous exposons maintenant le bénéfice à en tirer pour la gestion de la production ou de la logistique.

Comme décrit précédemment, les scieurs font face aux deux cas suivants :

- soit ils produisent « aveuglement » et font des stocks de tous les produits pour livrer rapidement,
- soit ils attendent que la pièce sorte du processus aléatoirement.

Le scanner, en plus de fournir l'optimisation, permet de connaître les pièces que l'on produit dans un billon ainsi que leur signature. La puce RFID offre la possibilité de transporter les informations relatives à ce billon mais aussi le cas échéant de déterminer, si le billon est prioritaire ou pas pour le débit. Enfin la vision permet de vérifier que les pièces produites dans ce billon sont bien celles prévues par le scanner. Ainsi il est possible, au cas où une pièce n'est pas celle qui était prévu, de renvoyer l'ordre de fabrication au PDP pour le ré inclure dans une boucle d'optimisation comme présenté dans la figure 6.

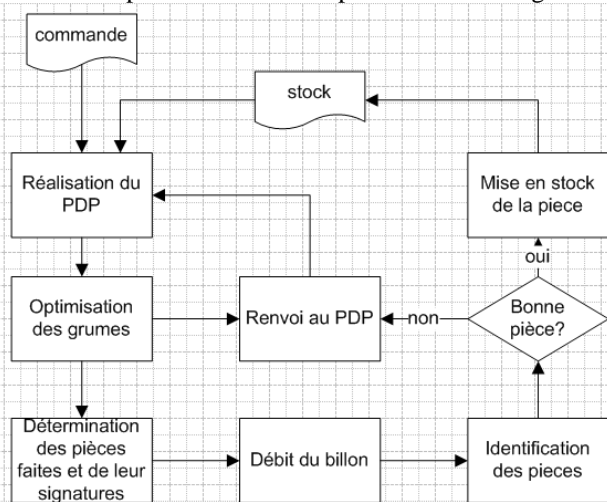


Figure 6 processus de traçabilité des pièces usinées dans les billons.

Pour conclure ce paragraphe nous pouvons dire que la mise en place du couplage tomographie/vision permet de mieux connaître les pièces que l'on usine et d'avoir une meilleure gestion de la production. Ajouté à cela, un marquage « intelligent » des billons permet de prévoir quand chaque billon doit être usiné.

5 NOS PREMIERS ESSAIS DE MARQUAGE DANS LA MASSE.

Nous ne détaillons pas dans le présent nos 1^{iers} résultats relatifs à l'identification par marquage du bois dans la masse [Jover, 2010]. Notons simplement que parmi les modes d'identification moléculaires que sont la résonance magnétique nucléaire (RMN), la résonance paramagnétique électrique (RPE) et la résonance quadrupolaire nucléaire (RQN), les deux premières imposent que l'échantillon à identifier soit placé dans un champ magnétique statique créé par une bobine supraconductrice, matériel non portable. Seule la RQN est potentiellement intéressante car elle ne nécessite pas d'aimant pour avoir une identification des molécules.

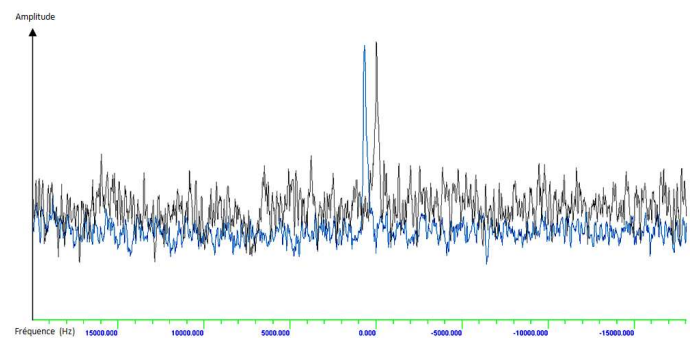


Figure 7. Courbe de réponse du nitrite de sodium à 4,64MHz. Spectre bleu : NaNO₂, spectre référence (8 scans). Spectre noir : bois imprégné par du NaNO₂ (16384 scans)

La figure 7 montre les spectres de réponses du nitrite de sodium l'un pur l'autre imprégné dans du bois. On voit bien apparaître le spectre du nitrite dans le bois imprégné ce qui nous laisse envisager une suite possible à ces essais de marquage dans la masse. Sur la base de ces résultats encourageant nous avons donc posé comme hypothèse que cette identification massive était possible et exploitable dans les processus logistiques.

6 LE PROTOTYPE DE DEMONSTRATEUR.

6.1 Conception du prototype

L'idée du marquage dans la masse est d'avoir en tout point de la matière un marqueur qui nous permette de retrouver les informations rattachées à cette marque. [Kubler, 2011] décrit un prototype de textile communicant ainsi que l'architecture informatique qui lui est rattaché. Dans notre cas, les informations que l'on peut avoir sont, par exemple, l'origine de l'arbre (parcelle d'origine, agent d'exploitation,...).

A partir de l'hypothèse posée sur la possibilité de marquage dans la masse du bois, nous nous sommes proposé de mettre en place un démonstrateur nous permettant de matérialiser une grume marquée dans la masse entrant en scierie pour connaître les différentes problématiques de recherche qui en découlent, tout en simulant les différentes opérations de débit mises en œuvre sur le bois sans pour autant avoir à fabriquer un nouveau prototype pour chaque essai.

Le démonstrateur est constitué d'un ensemble de petites pièces parallélépipédiques de bois assemblées de telle manière à simuler un ensemble de pièces provenant d'un débit de grume. Chacune des pièces élémentaires est taguée et assemblée aux

autres grâce à des aimants (Figure 8). Dans ce « tronc d'arbre simulé » un grand nombre de tags sont ainsi disséminés nous permettant donc de nous approcher de la projection souhaitée.

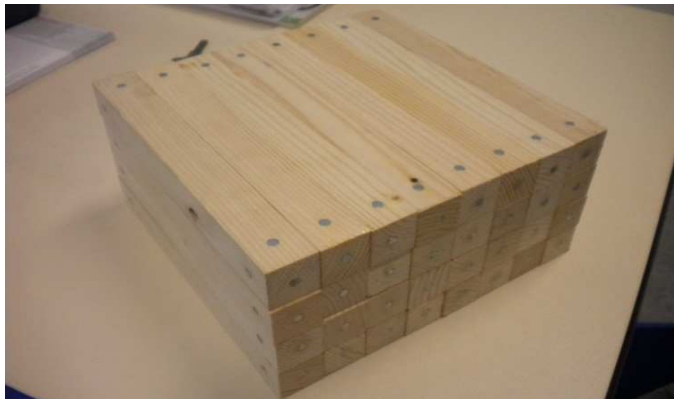


Figure 8. Un morceau du démonstrateur.

Nous nous sommes appuyés sur une modélisation d'un système d'informations intégrant la traçabilité [Fuentelba, 2005] pour développer le modèle UML de l'ensemble du simulateur (figure 9). Cette figure montre comment la partie prise de décision a été implémentée.

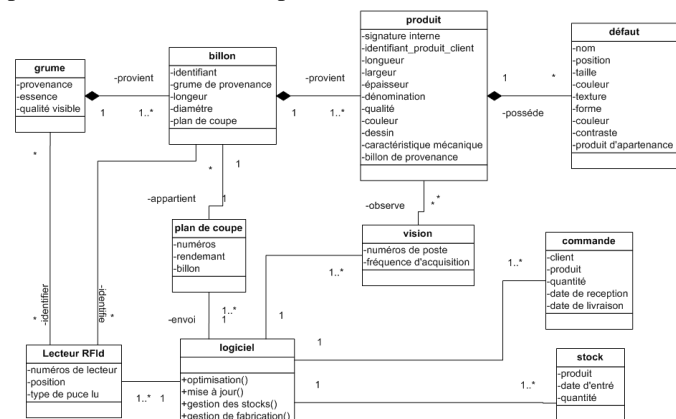


Figure 9. Diagramme UML du simulateur de matière marquée dans la masse.

6.2 Analyse et perspectives.

Aucune des méthodes d'identification existantes, présentées dans la section 2.3, ne permet de suivre les pièces avant et après le débit des grumes. C'est pour cela que, en plus d'introduire le concept de matière marquée dans la masse, nous désirons étudier comment identifier et tracer les « produits enfants » avant et après usinage.

Plusieurs articles proposent des algorithmes de détection des défauts en utilisant la vision interne [Longuetaud, 2005] ou en utilisant la vision surfacique [Funck, 2003] [Schmitt, 2007]. D'autres montrent qu'il est possible d'identifier [Chiorescu and Grönlund, 2003] ou d'optimiser les grumes [Bhandarkar, 2008] avec les rayons X. Mais aucun ne met en évidence la possibilité d'utiliser ces singularités pour obtenir une signature surfacique des produits. Elle pourrait être déterminée avant débit de la grume en utilisant l'optimisation et la détection des défauts au rayon-X et après débit en détectant, via la vision, les défauts. Nous souhaitons mettre en avant la possibilité d'identifier les produits avant et après qu'ils ne soient usinés. Avec le prototype, il sera possible de scanner la grume, d'optimiser ses plans de débit et d'avoir les pièces qui vont être produites ainsi que leurs défauts visibles. Il nous suffira ensuite de le désassembler selon le plan de coupe pour voir si les résultats sont justes. Il nous servira donc de système d'évaluation avant de faire les essais en réel. De plus, nous

pourrons affecter de l'information à une pièce et donc développer des modèles de fractionnement de l'information sur une pièce appartenant à un tout. Le prototype nous permettra les évaluer dans des simulations concrètes.

[Maness, 1998] montre la nécessité de mise en place des méthodes et des outils relatifs à l'amélioration de la qualité et de la production. Le programme associé au simulateur intégrera des boucles de rétroaction afin de vérifier que toutes les pièces prévues au PDP sont bien présentes dans l'optimisation et que les pièces identifiées par les caméras après l'usinage sont bien celles prévues par l'optimisation. Grâce à cela il sera possible d'améliorer les temps de réaction du système lorsque les pièces produites ne sont pas les bonnes. Pour finir, [Assens, 2003] montre la nécessité de mettre en place des réseaux d'entreprises. Cela implique entre autre de mettre en place une sémantique commune entre les différents acteurs de la chaîne logistique afin qu'ils se comprennent. Notre simulateur offrira la possibilité d'avoir, pour un produit fini, un code d'identification spécifique au corps de métier client. Afin d'avoir des codes pertinents, nous nous baserons sur des modélisations, que nous avons faites, représentant la manière de voir les produits par le client (figure 10).

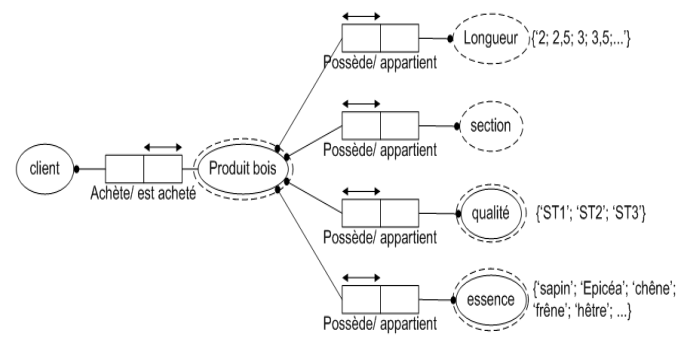


Figure 10: modélisation du produit fini du point de vue client (cas d'un charpentier).

Finalement nous pourrions traiter quatre problématiques avec ce prototype :

- une problématique d'identification des produits bois en utilisant la fusion de la technologie RX et de la technologie vision surfacique,
- une problématique d'affectation d'informations à des pièces et donc de fractionnement de l'information sur une pièce appartenant à un tout,
- une problématique de gestion de production et d'amélioration de la qualité avec la mise en place de boucles de rétroaction sur le PDP en utilisant l'optimisation et la vision et,
- une problématique concernant la nécessité d'avoir entre les acteurs de la chaîne logistique, une sémantique commune.

7 CONCLUSION

Au terme de cette pré-étude nous avons pu montrer qu'il est donc important pour l'industrie du bois de mettre en place une méthode de traçabilité continue. Les informations extraites de la chaîne logistique ont une utilité pour l'ensemble des acteurs. Les scieurs pourront choisir les parcelles à acheter en fonction de leurs besoins. Ils pourront aussi gérer mieux la réalisation de leurs commandes, suivre plus précisément leurs stocks et améliorer leur productivité. En retour les sylviculteurs auront une meilleure estimation de la consommation des arbres abattus.

Mais la traçabilité nécessite une méthode d'identification fiable en complément du marquage dans la masse. Cette méthode peut utiliser des systèmes déjà mis en place dans l'industrie du bois comme la vision qui est utilisée pour réaliser le classement du bois.

Enfin, bien que le marquage dans la masse ne soit pas encore une réalité nous pensons que l'utilisation de notre démonstrateur permettra de traiter la majorité des verrous scientifiques à surmonter.

Nos perspectives de recherche suivent alors deux domaines de recherche, la physique quantique et l'automatique. D'une part, avec l'aide un spécialiste du domaine de la physique quantique, nous nous attelons au développement du marquage dans la masse en utilisant la RQN.

D'autre part, nous aurons à traiter, dans le domaine de l'automatique, l'affectation d'identifiants générés en fonction des propriétés physiques du bois en complément d'un marquage dans la matière. Ceci induira donc une problématique de fusion de données. Puis un souci d'affectation d'information à certaines parties de la matière induira une problématique de fractionnement de l'information sur une pièce appartenant à un tout. Enfin dans un souci d'amélioration de la production, nos recherche s'intéresseront à l'exploitation des données et donc à des problèmes de modèle d'optimisation de prise de décision.

8 REMERCIEMENTS

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)

9 REFERENCES

Assens, C (2003). Le réseau d'entreprise : vers une synthèse des connaissances. *Le management international*. 7(4) pp. 50-59.

Bhandarkar, S.M., Luo, X., Daniels, R.F. and Tollner E.W. (2008) Automated Planning and Optimization of Lumber Production Using Machine Vision and Computed Tomography, *IEEE transactions on automation science and engineering*, 5(4), pp. 677-695.

Bombardier V., Mazaud C., Lhoste P., Vogrig R., (2007). Contribution of Fuzzy Reasoning Method to knowledge Integration in a wood defect Recognition System , *Computers in Industry Journal*, 58(4), pp 355–366

Charpentier, P. and Choffel, D., (2003). The feasibility of intrinsic signature identification for the traceability of pieces of wood, *Forest Products Journal*, 53(9), pp. 40-46,

Chiorescu, S., and Grönlund, A., (2004) The Fingerprint Method: Using Over-bark and Underbark Log Measurement Data Generated by Three-dimensional Log Scanners in Combination with Radiofrequency Identification Tags to Achieve Traceability in the Log Yard at the Sawmill, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19 (4), pp.374 -383.

Deguilloux, M.F., Pemonge, M.H., and Petit, R. J. (2004) DNA-based control of oak wood geographic origin in the context of the cooperage industry, *Annals of Forest Science* 61(1), pp.97–104,

Dykstra, D.P., Kuru, G., Taylor, R., Nussbaum, R., Magrath, W., and Story, J., (2002) Technologies for wood tracking: Verifying and Monitoring the Chain of Custody and Legal Compliance in the Timber Industry, *World Bank / WWF Alliance for Forest Conservation and Sustainable Use*.

FCBA (2001) (Institut technologique Forêt, Cellulose, Bois, Ameublement) Manuel de scierie : techniques et matériels, FCBA.

Flodin J., Oja J., Grönlund A., (2007). Fingerprint traceability of sawn products using x-ray log scanning and sawn timber surface scanning. *Proceedings of COST E53-Quality control for wood and wood products*. Warsaw. Pologne, 15-17 Octobre.

Fuentealba, C (2005) approche biométrique pour l'identification automatique des produits bois. *Thèse de l'université Henry POINCARÉ*, pp109-137

Funck, J.W., Zhong, Y., Butler, D.A., Brunner, C.C., Forrer, J.B., (2003) image segmentation algorithms applied to wood defect detection, *computers and electronics in agriculture*, 41(1), pp157-179

Ginet, C., and Golja, R., (2007) Traçabilité et échanges électroniques pour la filière forêt-bois-papier. *Fiche information-forêt n°750 d'Afocel*.

The Indisputable Key. (2009 www.indisputablekey.com , European project.

Inventaire Forestier National (2010). Documentation relative aux données brutes « arbre », *Campagne 2008*,

Jover J., Thomas A., Leban JM., Canet D., (2010) Pertinence of new communicating material paradigm: A first step towards wood mass marking. *New Achievements in Material and Environmental Science – Names'10*, Nancy, France, 27-29 Octobre.

Klein, T., (2008) Le kanban actif pour assurer l'interopérabilité décisionnelle centralisé/distribué. Application à un industriel de l'ameublement. Thèse de l'université henry Poincaré, 10 novembre.

Kubler, S., Derigent, W., Thomas, A., Rondeau, E., (2011) Prototyping of a communicating textile. *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management - IESM 2011*, Metz, France, 25-27 Mai.

Longuetaud F., (2005) Détection et analyse non destructive de caractéristiques internes de billons d'épicéa commun ((L.) Karst.) par tomographie à rayons X. thèse de l'université Henry Poincaré, 31 octobre.

Maness T., (1993) Real-time quality control system for automated lumber mills. *Forest Product society*, 43(1), pp. 17-22.

McFarlane D., Sheffi Y., (2002). The impact of automatic identification on supply chain operations. *International Journal of Logistics Management*, 14 (1), pp.1 - 17

Peterson M.G., the potential of using log biometrics to track sawmill flow, thèse de l'Oregon state university, 15 December.

Pignard, G. (1993) La base de données dendrométriques de l'inventaire forestier national. *Revue forestière française*, XLV, n° spécial,

Pischedda, D., (2007) La traçabilité : une des clefs incontournables pour l'avenir, *CTBA info*, 114 (1) , pp.2-7.

Schmitt, E., (2007) Contribution au Système d'Information d'un Produit « Bois ». Appariement automatique de pièces de bois selon des critères de couleur et de texture, *Thèse de l'université henry POINCARÉ*.

10 ANNEXES

Annexe 1: Diagramme d'échange d'informations dans la chaîne logistique du bois via l'utilisation de la base de données objet bois.

