



**HAL**  
open science

# Modélisation de connaissances métier pour l'intégration d'un système de tri qualité en scierie par tomographie X

Benjamin Almecija, Vincent Bombardier, Patrick Charpentier

## ► To cite this version:

Benjamin Almecija, Vincent Bombardier, Patrick Charpentier. Modélisation de connaissances métier pour l'intégration d'un système de tri qualité en scierie par tomographie X. 9e Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et Simulation, MOSIM'12, Jun 2012, Bordeaux, France. pp.CDROM. hal-00759039

**HAL Id: hal-00759039**

**<https://hal.science/hal-00759039>**

Submitted on 29 Nov 2012

**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.

## MODELISATION DE CONNAISSANCES METIER POUR L'INTEGRATION D'UN SYSTEME DE TRI QUALITE EN SCIERIE PAR TOMOGRAPHIE X

**Benjamin B. ALMECIJA, Vincent BOMBARDIER**

CRAN- UMR 7039  
Fac des Sciences - 1er cycle  
Bd des Aiguillettes - BP 239  
54506 Vandoeuvre les Nancy  
[benjamin.almecija@cran.uhp-nancy.fr](mailto:benjamin.almecija@cran.uhp-nancy.fr)  
[vincent.bombardier@cran.uhp-nancy.fr](mailto:vincent.bombardier@cran.uhp-nancy.fr)

**Patrick CHARPENTIER**

CRAN- UMR 7039  
Fac des Sciences - 1er cycle  
Bd des Aiguillettes - BP 239  
54506 Vandoeuvre les Nancy  
[patrick.charpentier@cran.uhp-nancy.fr](mailto:patrick.charpentier@cran.uhp-nancy.fr)

**RESUME :** *L'objectif de cette étude est de mettre en avant l'apport de la modélisation dans l'intégration des connaissances métier dans un système automatisé. L'étude est développée par le biais d'exemples concrets basés sur la réalité industrielle d'une scierie française. Le cas modélisé dans cette scierie est l'analyse qualitative des bois ronds et des bois sciés sur la base des savoirs faire des opérateurs de production. La méthode de modélisation sélectionnée, la méthode NIAM-ORM, permet d'établir simplement les liens existants ou manquants entre les différents niveaux de qualités mais aussi d'extraire et d'intégrer une ou plusieurs méthodes de décision basées sur la connaissance des experts de l'entreprise.*

**MOTS-CLES :** *Contrôle qualité, Scanner à rayons X, Modélisation de connaissance, NIAM-ORM.*

### 1 INTRODUCTION

Le métier de scieur a évolué depuis sa création. Il cherche à valoriser au mieux, non seulement en termes de rendement matière, mais également en terme qualitatif, les ressources dont il peut disposer. Pour ce faire, il s'approvisionne en grumes (arbres ébranchés) qu'il valorise en billons, eux mêmes sciés en produits finis afin de répondre aux diverses exigences de sa clientèle.

L'évolution du métier touche également les méthodes de gestion forestière. Ces méthodes peuvent différer en fonction des us d'un pays, des peuplements historiques de son territoire, des directions prises par l'ensemble de la filière lors d'événements majeurs (tempête, crise, ...). En France, l'approvisionnement des scieries est hétérogène de part la diversité des diamètres, des longueurs, et des essences des grumes, mais également de part la matière elle-même. En effet, le bois est une matière vivante hétérogène de par (1) son patrimoine génétique (d'une essence à l'autre), (2) sa situation géographique de sylviculture, (3) sa situation stationnelle (sol et ensoleillement de l'arbre) et (4) la zone de l'arbre considérée (de la bille de pied au houppier). A cette hétérogénéité naturelle s'ajoute les événements extérieurs, tels que les attaques d'insectes, les tempêtes, les élagages, les attaques fongiques ou les dégâts de gibier, qui affectent le comportement de l'arbre, sa structure et donc sa qualité. Les scieries françaises tentent donc d'utiliser au mieux cet approvisionnement en portant un soin particulier à l'entière valorisation de la grume.

Les scieries françaises ont ainsi en entrée de leur processus de fabrication une matière intrinsèquement hétérogène et un approvisionnement hétérogène en diamètre,

longueur et qualité. En sortie de fabrication, les scieries font face à des clients qui, à l'inverse, souhaitent obtenir des produits homogènes entre eux, et d'un colis à l'autre, sans regard sur leur provenance (hormis pour des aspects certifications PEFC, FSC). Pour répondre à ces contraintes, les scieries mettent en place des systèmes de tri qualité à un ou plusieurs niveaux de leur chaîne de production. Dans le cas de la scierie étudiée, cette chaîne est représentée par le schéma bloc Fig. 1 dans laquelle le bloc « Parc à grumes » est détaillé.

L'étude présentée dans cet article concerne exclusivement l'analyse qualitative des grumes nécessaire à l'optimisation et à la valorisation des grumes en billons. Cependant, une telle analyse débute nécessairement par l'obtention d'informations pertinentes permettant de définir les caractéristiques des bois : la définition des données fournies par le module d'acquisition est intégrée à cette étude. Outre les méthodes de sciage, l'analyse qualitative des bois (à tous les niveaux) est le cœur de métier d'un scieur et c'est le premier facteur de fidélisation de ses clients. De ce fait, les moyens physiques nécessaires à cette analyse seront abordés sous la forme d'un état de l'art et les résultats ne seront exploités que partiellement dans les sections suivantes dans le seul but d'expliquer le raisonnement tenu et les conclusions obtenues.

Au delà des spécificités de l'approvisionnement national, les scieries françaises, comme toutes les industries, mettent en place des systèmes d'amélioration permanente de leur qualité. L'approvisionnement en grume hétérogène et les améliorations que la scierie ciblée souhaite réaliser l'ont conduite à la création d'un parc à grumes automatisé. Outre les mécanisations qui permettent la flexibilité nécessaire à l'approvisionnement, le parc est équipé d'un système de vision multi-capteurs permettant une mesure

des propriétés internes et externes du bois à des vitesses compatibles avec les processus de production.

La qualité des bois ronds, habituellement décrite par des singularités (et leurs critères associés) visibles sur l'enveloppe de la grume, peut donc être définie par des critères mesurés à l'intérieur de la matière. Il est ainsi possible de se rapprocher plus précisément de la qualité des sciages qui sont issus de la grume. Il est à noter que la qualité des sciages est basée sur des singularités visibles sur les quatre faces d'un sciage.

L'objectif de ce papier est de présenter les moyens mis en œuvre pour exploiter les informations fournies par le système de vision, de la définition des critères de l'analyse qualitative des bois aux moyens envisagés pour leur manipulation dans le système décisionnel « Qualité ». Pour cela, la section 2 présente le système étudié, la section 3 développe la méthode d'analyse déployée pour la modélisation « Qualité » et la section 4 explicite les premiers résultats obtenus.

## 2 LE SYSTEME D'ACQUISITION DE DONNEES

Depuis plus d'une vingtaine d'années, les industries du bois intègrent les systèmes de contrôle sans contact dans leur processus de production. Les performances de ces systèmes permettent de remplacer ou d'aider les hommes dans leurs décisions. Ils procurent une meilleure fiabilité, une meilleure répétabilité, un meilleur taux de précision et/ou des cadences plus élevées [Buehlmann U., 2002]. D'autre part, ces systèmes donnent accès à des informations que l'œil humain ne peut pas fournir. Ainsi, des vues microscopiques ou internes de la matière sont possibles par des moyens non destructifs et rapides.

De nombreux systèmes de contrôle sans contact sont présentés dans la littérature. Les résultats des études sont attribués à l'entité « capteur et traitements de haut niveau », *i.e.*, l'acquisition de l'image et les traitements faits pour extraire les informations pertinentes. Un système de vision est ainsi caractérisé par l'ensemble capteur/traitements de haut niveau. Dans le domaine du bois, matériau naturel hétérogène, les objectifs peuvent nécessiter des analyses précises comme une mesure de dimension ou bien incertaines comme une mesure de couleur. Les systèmes doivent ainsi s'adapter aux objectifs particuliers. Les capteurs sont principalement liés à des analyses d'aspect pour les industries de l'ameublement, de l'ébénisterie ou du lamellé-collé (couleur du bois) mais aussi à des analyses structurelles pour les industries du bâtiment.

A titre d'exemple, la texture du bois est mesurable avec une caméra associée à un laser par le biais de la réflectance. Les systèmes de vision utilisant de tels capteurs ont d'excellentes performances pour des analyses de surface, tant en cadence qu'en taux de reconnaissance. Sur des sciages, il est possible de détecter, localiser et mesurer précisément des singularités telles que les

nœuds noirs, les nœuds blancs, les poches de résine, les bois de compression, les bois colorés bleus, les bois résinés ou les flaches [Deng J.D., 2007 ; Bombardier V., 2007]. Les résultats obtenus pour de l'analyse de surface avec les caméras sont équivalents à ceux obtenus avec des scanners à rayons X. De plus et toujours pour ce type d'analyse, les caméras permettent de visualiser les colorations qu'aucun autre capteur ne peut voir. Ces propriétés sont également utilisées dans des applications de classification couleur du produit bois [Faria J., 2008 ; Bombardier V., 2009].

Les analyses d'aspect sont également, comme déjà évoqué, réalisées par des scanners à rayons X mais ils sont principalement utilisés pour l'analyse de structure. La pénétration des rayons X permet de visualiser des singularités internes du bois. La résolution de ces capteurs, utilisés industriellement pour des cadences de 2 à 3 mètres par secondes, ne permet pas de localiser et mesurer précisément les nœuds ou toute autre singularité. Cependant, des études portées sur les algorithmes montrent que la détection, la localisation et la quantification des nœuds d'un billon sont possibles et fiables avec une résolution suffisante [Longuetaud F., 2004 & 2005 ; Entacher K., 2007a & 2008 ; Oh J.K., 2009]. Les récents progrès techniques réalisés sur les scanners à rayons X ont orienté les recherches scientifiques vers le domaine du traitement de l'image. En effet, les scanners offrent de nos jours une résolution convenable pour la reconnaissance de singularités, mais tous ne sont pas industrialisables car les vitesses d'acquisition d'image sont encore trop lentes au regard des cadences de production.

L'analyse de structure trouve la plupart de ses applications grâce à la reconstruction d'image en deux ou trois dimensions qui permet d'obtenir une information supplémentaire : la forme. Cette information joue un rôle essentiel pour la détection des singularités et leur identification (labellisation). La reconstruction se base sur la densité dans le cas de l'imagerie par rayons X.

L'analyse de structure vise donc la détection de singularités internes du bois qui est rendue possible avec les scanners à rayons X et à rayons Gamma. Les scanners à rayons X sont apparus comme les plus prometteurs dans les études préliminaires, la plupart des recherches se sont alors tournées vers ce type de scanner [Oja J., 2003 ; Longuetaud F., 2005 & 2007 ; Entacher K., 2007a & 2007b]. Il existe 3 principaux types de scanner à rayons X dans la littérature : les 2D, les 4D et les CT (Computed Tomographie). Les 2D et 4D sont composés respectivement de deux sources de rayons X à 90° et quatre sources à 36°. Ces scanners proposent ainsi deux (2D) ou quatre (4D) images en deux dimensions pour l'analyse. Les CT permettent d'acquérir plusieurs vues projetées par rotation de la source ou de la pièce (jusqu'à 720 images de nos jours). Les vues projetées sont ensuite combinées pour reconstruire la pièce en trois dimensions. Les scanners 2D et 4D sont ceux qui sont principalement utilisés dans l'industrie du bois car les temps de calcul sont courts. Depuis peu, les scanners CT font aussi leur

apparition dans l'industrie grâce aux améliorations réalisées sur les algorithmes de reconstruction. Les résultats de détection dépendent principalement des algorithmes de détection car la résolution des scanners est désormais suffisante. Une fois les singularités du bois détectées, l'analyse structurale peut être poussée un peu plus loin par la corrélation des singularités avec la qualité des bois [Wei Q., 2009] ou la résistance du bois [Brännström M., 2007].

Les systèmes multi-capteurs (qui combinent plusieurs types de capteurs) permettent de tirer partie des avantages de chaque capteur et d'en limiter les effets négatifs [Hagman O., 1997]. Il est possible d'améliorer nettement les taux de détection et de reconnaissance en associant les bons capteurs, cependant cette combinaison pose de nouveaux problèmes scientifiques concernant la fusion de données hétérogènes [Dubois D., 2004].

Les systèmes de vision sont capables de fournir des informations fiables aux modules suivants [Flunck J.W., 2003 ; Rojas G., 2006]. Ainsi, l'enjeu industriel n'est plus seulement d'obtenir l'information mais aussi de définir quelles sont les informations pertinentes face aux objectifs et comment les utiliser pour automatiser des opérations jusqu'ici faites par des hommes et fondées sur leur expérience. La réponse à ces deux enjeux est donnée et intégrée par le module d'*analyse qualitative* (cf Fig. 1). Ce module doit donc être le porteur de la connaissance métier détenue par l'entreprise nécessaire au paramétrage et à l'intégration du système de vision. Une autre difficulté consiste en la prise en compte de cette connaissance et de sa traduction dans le système de contrôle qualité. Ceci implique la mise en relation de plusieurs experts ayant des compétences dans des domaines très différents (experts de la qualité des bois, experts en programmation informatique, experts en optimisation,...). Il est ainsi nécessaire que tous les acteurs de l'étude aient la même compréhension du système pour être en mesure d'atteindre leurs objectifs. La modélisation de la connaissance sur la qualité des bois aux différents stades de la production s'impose logiquement avant toutes autres actions. Elle pourra aboutir à l'élaboration d'une ontologie métier pour permettre la collaboration des différents acteurs implémentant le système de vision dans la ligne de production.

L'obtention des différents modèles de qualité de l'entreprise permet (1) d'établir les liens entre les différents niveaux de la qualité ; (2) de spécifier les qualités utilisées réellement ou envisagées à l'avenir ; (3) de définir les informations d'entrée de l'analyse qualitative dans le nouveau système ; (4) de sélectionner un système de décision informatique adapté et (5) de paramétrer ce système décisionnel.

### 3 LA MODELISATION DE CONNAISSANCE

Afin de capitaliser les connaissances métiers des scieurs utiles à l'élaboration du système de contrôle, nous nous appuyons sur la méthode Natural language Information Analysis Method (NIAM) [Blaise J.C., 2003]. Elle présente l'avantage de permettre une modélisation à partir de connaissances exprimées en langage naturel. Après avoir présenté les principes généraux de modélisation de connaissance et les méthodes existantes, nous décrivons la méthode NIAM dans cette section. L'application de cette méthode à notre cas d'étude est détaillée dans la section 4.

#### 3.1 Principes de modélisations

Les difficultés principales lors de la conception d'un modèle sont l'acquisition de l'information (plutôt dans le domaine de l'implicite) et le fait que les informations soient détenues entre plusieurs experts (fusionner l'ensemble pour répondre à l'objectif final). La réalisation d'un système utilisant des connaissances s'effectue par l'intermédiaire de trois processus qui permettent de passer d'une connaissance implicite informelle à une connaissance explicite formelle exploitable par l'ensemble des acteurs. Ces trois processus sont : (1) l'acquisition de la connaissance ; (2) la formalisation de la connaissance et (3) l'exploitation de la connaissance formalisée (cf. Fig. 2). Ce papier se consacre principalement au couple acquisition/formalisation de la connaissance mais exprime des voies possibles pour l'exploitation de la connaissance pour de futurs travaux (cf. Discussion and conclusion).

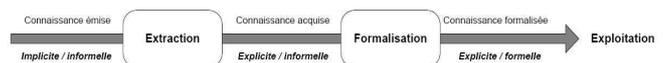


Fig. 2. Processus pour la conception d'un système utilisant des connaissances

#### 3.1.1 Acquisition de connaissance

La connaissance de l'expert est implicite pour celui-ci, i.e., lorsqu'il l'exprime, les termes qu'il emploie sont ambigus ou font référence à une connaissance non connue de tous. La transmission de l'information dans le domaine industriel est principalement le langage naturel. Ce langage est quasi-parfait entre les humains selon [Andrade J., 2006] mais il montre ses limites dans certaines situations. Plusieurs sources peuvent ainsi fausser la connaissance émise : (1) la nature même du langage qui peut être ambigu en fonction de la complexité ou de la spécificité des domaines d'expertises ; ou (2) l'utilisation de moyens détournés pour exprimer sa connaissance (synonymes, concepts voisins, niveaux intermédiaires d'abstraction) qui mène à une approximation de la connaissance.

On distingue communément deux approches pour acquérir la connaissance : les approches manuelles (ou cognitives) et les approches automatisées basées sur le génie logiciel. Les approches cognitives impliquent l'utilisation de techniques d'entretien issues de travaux en psychologie. Parmi ces méthodes, nous pouvons citer : les interviews, l'analyse de protocoles verbaux par enregistrement de l'expert lors de la résolution du problème à voix haute, l'observation directe, l'utilisation d'un questionnaire, le brainwriting. Les approches automatisées ont pour but de mettre à jour une connaissance significative à partir d'une importante base de données. Dans cette étude, les méthodes cognitives sont plus utilisées bien que l'approche automatisée a permis de confirmer et d'améliorer la compréhension.

### 3.1.2 Formalisation des connaissances

Le but de cette étape est de transformer la connaissance explicite informelle en connaissance explicite formelle. Trois approches peuvent être utilisées pour modéliser de manière structurée la connaissance : l'approche ascendante, l'approche descendante et l'approche mixte.

Ces trois approches s'utilisent et se matérialisent différemment en fonction de la connaissance à formaliser mais aussi en fonction des connaissances que possède le cognitif. Dans le cadre de notre étude, l'approche ascendante implique que le cognitif recueille le maximum d'informations sans guider ou influencer l'expert du domaine propriétaire de la connaissance. Le modèle est alors construit pas à pas par raffinement successif d'informations. D'autre part, l'approche descendante focalise le cognitif sur la définition du modèle final afin de filtrer les connaissances acquises et de guider efficacement le processus d'acquisition ; elle nécessite que le cognitif ait des connaissances sur le système expertisé. L'approche mixte combine la méthode ascendante dans un premier temps, et la méthode descendante ensuite dans une même formalisation. La méthode mixte est déployée dans cette étude.

La construction de modèles repose sur l'acquisition et la formalisation des connaissances. Dans le domaine de la modélisation nous intéressent, la modélisation conceptuelle utilise le langage naturel sous différentes formes. Selon [van der Vos B., 1997], la plus utilisée consiste en l'analyse de la structure de documents afin de reconnaître les entités et les relations composant celui-ci. Une autre forme consiste à utiliser le domaine de la linguistique pour construire un modèle conceptuel et ainsi s'assurer que le contenu du modèle est bien dirigé par les spécifications en langage naturel. Enfin, le meilleur moyen de communiquer reste le langage naturel car, dans notre cas, il est le seul langage compréhensible par tous les acteurs impliqués dans la construction du système : le langage naturel est un facteur indispensable à notre cas d'étude.

La littérature propose plusieurs méthodes de formalisation utilisant le langage naturel, nous les citerons de ma-

nière non exhaustive et sans les détailler : Natural language Information Analysis Method (NIAM) plus connue sous le nom de son formalisme dérivé ORM (Object Role Modeling) [Blaise J.C., 2003] ; Conceptual Graphs (CG) [Dibie-Barthélemy J., 2006], Object Conceptual Prototyping Language (OCPL) [James A.E., 2000]. Au delà de la littérature scientifique, de plus en plus d'outils informatiques voient le jour pour acquérir des informations propres à un domaine et/ou construire un modèle associé. Ces outils utilisent des modules de traitement de langage naturel, analysant les textes soumis et extrayant les informations pertinentes pour construire l'ontologie recherchée. L'analyse textuelle est basée sur les relations syntaxiques existantes entre les termes.

Chacune des méthodes exposées dispose et explique son approche de construction d'ontologie du domaine expertisé, cependant, aucune ne donne de précision sur la validité du modèle obtenu. Les travaux de [Wagner J.C., 1999] se sont attachés à créer un module permettant de traduire les modèles conceptuels en langage naturel pour : (1) valider les modèles de connaissance sous un formalisme proche du langage naturel et (2) réutiliser la connaissance modélisée sans être un expert de la représentation utilisée. C'est dans cette même optique que la méthode NIAM propose une traduction simple du modèle en langage naturel, compréhensible pour les non-initiés à la méthode et dont la génération (de manière manuelle) incombe au cognitif.

Dans cette étude, notre choix s'est porté sur la méthode NIAM et son formalisme dérivé ORM (couramment appelé NIAM/ORM par souci de concision) : les autres méthodes existantes sont soit (1) trop spécifiques au domaine initial du développement et nécessitent des outils dérivés pour être compatibles à notre domaine ; soit (2) demandent l'utilisation d'un formalisme dont la lisibilité n'est pas aisée et dont la prise en main n'est pas naturelle (approches CG et OCPL) ; soit (3) sont associées à un outil de transcription du modèle en langage trop complexe et peu efficace. La simplicité de l'outil de transcription est l'atout majeur de la méthode NIAM/ORM, auquel s'ajoute sa simplicité d'utilisation et de mise en œuvre.

### 3.2 La méthode de modélisation NIAM/ORM

Cette méthode se définit comme une méthode de modélisation ayant pour objectif premier l'analyse des connaissances relatives à un domaine délimité (appelé Univers du discours ou encore Univers d'Intérêt). Pour se faire, elle utilise un langage de description du monde réel en termes d'objets qui jouent des rôles. L'intérêt du formalisme ORM, comparé à celui plus connu d'UML (Unified Modeling Language), est sa capacité à exprimer l'information sous forme de relations simples, véritable leitmotiv de la méthode NIAM. La méthode distingue ainsi l'Univers d'Intérêt à travers deux systèmes : le système objet et le système d'abstraction (cf Fig. 3).

La démarche de modélisation de la méthode s'appuie sur trois axiomes permettant de s'assurer de la qualité du modèle obtenu : (1) l'équivalence sémantique entre l'énoncé d'un fait en langage naturel et un ensemble de phrases élémentaires ; (2) l'expression d'une phrase élémentaire met en évidence des « idées » et des « ponts de dénomination » ; et (3) la détermination de tous les états possibles et de toutes les transitions permises dans la base de données.

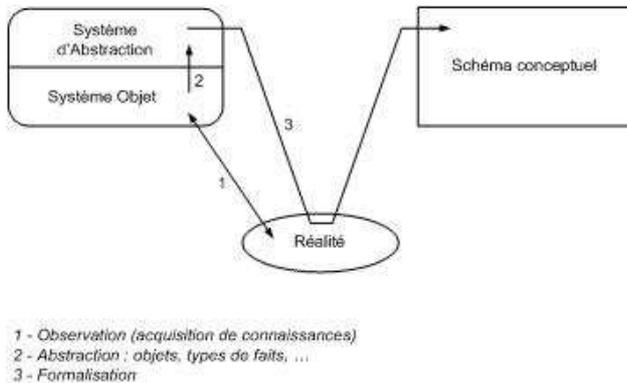


Fig. 3. Le système objet et le système d'abstraction selon la méthode NIAM/ORM

La phrase élémentaire est une phrase qui ne peut être décomposée en phrases plus courtes sans pertes de sémantique. Elle représente un et un seul fait, et sa structure suit la logique d'agencement <Sujet> <Verbe> <Complément>. Cette décomposition de l'énoncé permet de minimiser l'ambiguïté, de minimiser les raccourcis inhérents à l'utilisation du langage naturel et une première structuration de la connaissance émise avant la formalisation. Les idées et ponts de dénomination représentent respectivement les liens entre objets abstraits et, les liens entre les objets abstraits et les objets qu'ils représentent dans la réalité. Les idées sont porteuses de l'information contenue (et nécessaire) dans le modèle conceptuel. Les ponts de dénomination ne sont porteurs d'aucune information : ils servent uniquement à représenter la partie réelle de l'Univers d'Intérêt dans la base de données finale. Finalement, l'ajout de contraintes sur les objets composant une idée doit être effectuée afin de s'assurer de la cohérence entre la connaissance modélisée et les faits observés. On cite, entre autres, les contraintes d'unicité et de totalité (applicables entre les objets) et celles d'exclusion et d'inclusion (applicables entre idées).

En pratique, la méthode NIAM/ORM se déploie en quatre points : (1) l'acquisition des connaissances ; (2) la modélisation des connaissances ; (3) la validation du modèle et (4) la validation des connaissances formalisées. Dans ce papier, seules l'acquisition des connaissances et la modélisation des connaissances seront abordées. De plus, dans un souci de confidentialité, les résultats présentés dans cette étude sont des sous-ensembles ou parties du modèle global.

#### 4 ETABLISSEMENT DES MODELES « QUALITES » ET ANALYSES

Cette section décrit l'application de la méthode NIAM/ORM au cas d'étude proposé. Elle vise à fournir les modèles de connaissances « Qualité billon » et « Qualité sciage » qui sont exploités dans la phase de paramétrage du système de vision.

##### 4.1 Acquisition de la connaissance des experts du classement des bois

Dans notre étude l'approche mixte a été utilisée. L'approche ascendante est matérialisée par une formation du cognicien (modélisateur) dans le domaine de l'expertise. Il est ainsi intégré aux équipes de production réalisant le classement des bois. Cette formation est faite à tous les niveaux où une décision qualitative est prise : sur les bois ronds, à l'achat en forêt et aux parcs à grumes avant tronçonnage en billon, et sur les bois sciés, avant leur mise en colis pour l'expédition. La formation pratique est renforcée par une formation théorique dispensée par l'encadrement de l'entreprise ou par un organisme certifié, le FCBA (Forêt Cellulose Bois Ameublement). La formation certificative est basée sur les documents normatifs européens et leur mise en application en situation réelle, et la formation interne vise à tisser les liens entre le classement des bois et les autres services de l'entreprise. Ceux-ci permettent de comprendre les consignes qui sont données au service de production. On citera par exemple, les méthodes d'achats, les ventes et la stratégie commerciale. A la suite de cette approche ascendante, le cognicien est en mesure de spécifier la qualité des bois selon ses observations directes et sa compréhension des différentes formations. Ces formations permettent au cognicien de s'imprégner des domaines et de pouvoir communiquer plus aisément avec les experts métier. La phase descendante s'exprime par la création d'un questionnaire soumis aux experts puis complété lors de leur interview.

Le cognicien obtient deux expertises différentes : l'une sur la qualité des bois ronds et l'autre sur la qualité des sciages (produits finis). Celle sur la qualité des bois ronds vise à exprimer une qualité dite « billon » en fonction des caractéristiques physiques de l'enveloppe des grumes (ou billons). Le comportement et l'impact de ces caractéristiques sont extrapolés de manière empirique à l'intérieur de la matière. L'expertise sur les bois sciés exprime une qualité dite « Sciage » en fonction de caractéristiques visibles sur les 4 faces du produit. Ces caractéristiques sont des indicateurs de la résistance mécanique des bois que recherche le client dans la plupart des cas. Dans les autres cas, le client recherche un aspect esthétique qui est uniquement spécifié par des critères visuels. De ces deux expertises, le cognicien extrait l'ensemble des caractéristiques nécessaires à l'évaluation de la qualité des bois sciés et celui nécessaire à l'évaluation de la qualité des bois ronds. Ces caractéris-

tiques du bois serviront donc de « critères » de décision pour le classement qualité final.

Ces deux qualités sont liées l'une à l'autre par des relations géométriques ou anatomiques. Par exemple, le critère « Diamètre apparent du nœud noir » sur le sciage est lié géométriquement au critère « diamètre de nœud » du billon. Cette relation géométrique prend en compte la forme du nœud, la position du sciage usiné dans le billon, etc... Pour expliquer une relation anatomique, et dans un souci de confidentialité, nous nommerons une caractéristique du bois « Critère Y » car il est extrait du savoir-faire de l'entreprise. Ainsi, comme exemple, le critère « Présence d'entre-écorce » évalué sur un sciage est lié anatomiquement dans la majorité des cas au critère « présence de la caractéristique Y » du billon car le développement de la caractéristique Y dans l'arbre est souvent, mais pas toujours, accompagné d'une création d'entre-écorce. La modélisation de qualités permet de mettre en évidence les liens existants à l'intérieur d'une même qualité, les liens entre les deux qualités et, surtout, les liens manquants entre ces deux qualités. C'est effectivement ce nombre de liens manquants que la nouvelle installation industrielle tend à réduire.

#### 4.2 Modélisation de la connaissance des experts du bois

Les experts de la qualité « billon » décrivent chaque caractéristique du bois qui est analysé. Par exemple, ils décrivent un nœud noir comme : « Un nœud noir se voit comme une tache ronde et sombre à la surface du bois dans la majorité des cas. Sinon ce nœud peut être clair mais cerné [entouré] d'un anneau [d'écorce]. Le nœud noir peut créer une bosse sur la grume écorcée. Ce diamètre est inférieur à 25 mm pour une qualité Q2 (Norme Française AFNOR B53-300) si le diamètre de la grume est supérieur 35 cm à ce niveau. Le nombre de nœuds noirs est aussi un critère à évaluer en fonction de leur répartition ».

Ces définitions utilisent des termes ambigus, le cognicien doit alors apporter la connaissance qu'il a acquise pour interpréter les propos des experts. D'après la méthode NIAM/ORM (et le cognicien qui l'utilise), la traduction de la définition en phrases élémentaires peut être : « Un nœud noir est contrasté par rapport à la couleur dominante du bois. Un nœud noir est rond. Un nœud noir est généralement sombre. Un nœud noir peut être clair. Si ce nœud est clair il est entouré d'écorce. »

Ces phrases sont ensuite traduites dans leur forme « la plus profonde », par exemple :

- *Un nœud noir est rond => Une caractéristique du bois « Nœud Noir » a une forme « Ronde »*

Les phrases élémentaires, illustrant les faits de la réalité, sont traduites avec le formalisme ORM. En exemple, les phrases suivantes sont illustrées dans la Fig.4 : *Un nœud noir est rond. Un nœud noir est généralement sombre. Un nœud noir peut être clair.*

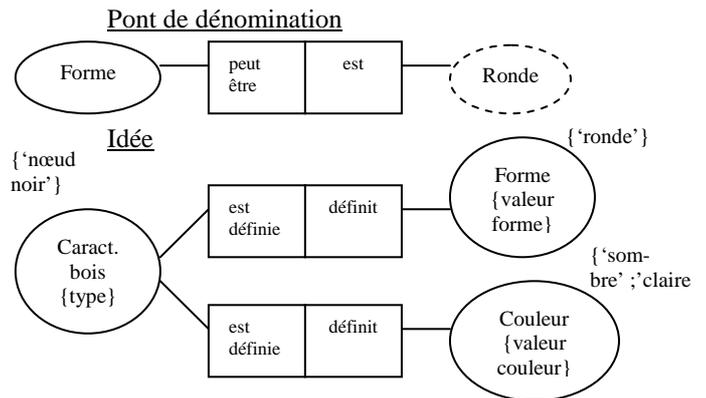


Fig. 4. La formalisation avec ORM

A partir de cela, le cognicien extrait uniquement les idées pour obtenir la base du modèle générique sur lequel il peut s'interroger ou questionner les experts du domaine pour fixer les contraintes entre les objets. Par exemple sur la Fig. 5, Question (1) sur la totalité de l'ensemble *Caractéristique du bois* : « Est-ce que chaque Caractéristique du bois est définie par une Forme ? » \_ Réponse : Oui. Question (2) sur l'unicité de l'ensemble *Caractéristique du bois* : « Une Caractéristique du bois de type Nœud Noir est définie par une et une seule Forme ou par une ou plusieurs Formes ? » \_ Réponse : Une et une seule. Question (3) sur la totalité de l'ensemble *Forme* : « Est-ce que chaque Forme définit une Caractéristique du bois ? » \_ Réponse : Non. Question (4) sur l'unicité de l'ensemble *Forme* : « Une Forme de type *Ronde* définit une et une seule Caractéristique du bois ou une ou plusieurs Caractéristique du bois ? » \_ Réponse : Une ou plusieurs. Les réponses à ces questions sont formalisées sur le modèle comme le montre la Fig. 5.

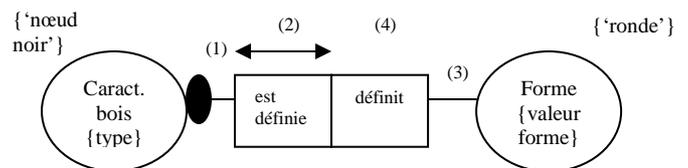


Fig. 5. Formalisation des contraintes d'unicité et de totalité

Le cognicien obtient ainsi les modèles de la qualité sciage et de la qualité billon. Des modèles partiels de ceux-ci sont donnés en Annexe A.

La confrontation des modèles génériques de la qualité « Sciage » et de la qualité « Billon » permet de mettre en évidence les liens entre ces qualités. Par exemple, les modèles partiels données en Annexe A mettent en évidence le lien direct existant entre les deux mesures du diamètre du nœud noir (point 1), le lien indirect entre la mesure de l'entre-écorce du sciage et la mesure de la caractéristique Y du billon (point 2) et, le manque de lien entre la mesure de l'entre-écorce du sciage et la mesure (inexistante) de l'entre-écorce dans le billon (point 3). Les modèles sont ainsi un soutien aux travaux des ex-

perts qui visent principalement à réduire le nombre de liens manquants entre les qualités mais aussi à renforcer la cohérence des liens. La mise en évidence des liens n'est pas automatisée. A ce jour, seul l'expert peut juger de leur cohérence. Dans notre cas d'étude, une grande majorité des critères nécessaires à la définition de la qualité sciage a pu être liée à un ou plusieurs critères mesurés sur la grume. Les liens manquants concernent des altérations de la matière qui ne sont pas mesurables par les capteurs choisis (résolution trop faible ou n'ayant pas d'influence sur la propriété mesurée). D'autre part, les liens créés sont souvent indirects. Ils peuvent s'effectuer par corrélation géométrique comme dans le cas du diamètre de nœud où nous avons réalisé une simulation/projection pour déduire le diamètre apparent sur le sciage à partir du diamètre de nœud dans le billon. La taille maximale d'un nœud a pu ainsi être fixée dans le billon au regard de sa taille maximale dans le sciage. Les liens peuvent aussi être obtenus par une corrélation statistique basée sur des études scientifiques précédemment publiées ou l'expertise du personnel de l'entreprise comme dans le cas de l'entre-écorce. Les résultats de la comparaison des deux qualités a permis aux experts de mettre en avant une nouvelle qualité « billon » qui sera implémenté sur le parc à grume. Cette qualité billon sera une combinaison de plus de 40 critères. Outre la définition de cette nouvelle qualité, la modélisation a permis de mettre en avant les caractéristiques du module d'*optimisation et de valorisation de grume*, cf Figure 1 (ces résultats feront l'objet d'une autre étude).

Par ailleurs, l'analyse syntaxique des définitions données par les experts s'exprime dans les modèles par une hiérarchisation des critères qui met en évidence la structuration de la pensée des experts. Par exemple, dans la définition du nœud noir : « Ce diamètre est inférieur à 25 mm pour une qualité Q2 si le diamètre de la grume est supérieur 35 cm à ce niveau. ». Il est évident que l'expert juge chronologiquement (1) une zone précise sur laquelle (2) il analyse le diamètre de la grume et (3) analyse le diamètre du nœud noir face au regard du diamètre de la grume. Les modèles permettent d'établir une structure hiérarchique de la décision experte. Cependant, aucune garantie n'est donnée sur l'efficacité et l'efficacité de cette structure. Dans notre étude, la structure hiérarchique est établie manuellement mais il existe des logiciels d'analyse syntaxique du langage qui peuvent permettre sa génération automatiquement. L'établissement de la structure manuellement est long et nécessite une attention particulière du cognitif. Il est souvent confronté à des incohérences ou des contradictions qu'il n'est pas en mesure de corriger seul. Il doit ainsi se référer de nouveau aux experts qui clarifient, corrigent et améliorent le modèle permettant de débloquer cette situation. Les résultats obtenus dans notre cas d'étude montrent une structure hiérarchique décisionnelle de la qualité billon à 8 niveaux. En fonction des cas, ces niveaux conduisent directement à la qualité cherchée ou permettent de réduire notre champ de décision en éliminant des qualités impossibles et pour conclure finalement par la réponse souhaitée.

## 5 DISCUSSION ET CONCLUSION

La modélisation de la connaissance des experts métiers dans un domaine industriel permet l'amélioration de la compréhension d'un système pour chaque expert mais aussi un travail collaboratif entre eux. L'intégration d'un nouvel expert apportant d'autres connaissances ou une autre vue du système est ainsi facilitée. Au delà d'une meilleure synergie de l'équipe, la création des modèles de qualité avec la méthode NIAM-ORM permet, a posteriori, une validation des modèles par tous les experts même ceux non-familiers au formalisme ORM. Une fois cette validation faite, l'analyse des modèles met en avant les liens existants ou manquants entre les différents niveaux de la qualité. A la suite de cette analyse, des solutions peuvent être apportées pour corriger et améliorer les décisions qualitatives entre les différents niveaux. Ce travail permet de capitaliser la connaissance qualité de l'entreprise et son savoir faire. Une ontologie est ainsi créée qui facilite le dialogue et la compréhension entre les différents acteurs au sein de l'entreprise.

Les modèles NIAM-ORM mettent en évidence les critères essentiels à la définition d'une qualité mais aussi la structure de la pensée des experts dont la connaissance est formalisée. Ceci permet d'extraire une structure hiérarchique des différents critères entrant en jeu. Une automatisation de ces deux extractions est également envisageable. Les modèles établis dans cette étude sont analysés par des experts mais il existe des logiciels permettant de faire certaines de ces analyses automatiquement. Une étude future peut concerner la génération automatique des liens entre qualités basée sur la terminologie utilisée et/ou sur la structure du modèle.

La modélisation de la connaissance des experts pourrait être par la suite intégrée directement dans des systèmes informatiques. Cependant, même si la modélisation intégrée reflète parfaitement la réalité (cas idéal), elle ne donne aucune garantie sur l'efficacité et l'efficacité des méthodes de mise en application.

Une future étude concernera la transcription des modèles NIAM/ORM pour leur intégration dans les supports informatiques industriels. En effet, on constate que les liens et les contraintes entre les critères de qualité, que permet d'exprimer la méthode NIAM/ORM, sont souvent incertains. Une partie de cette incertitude est due à la méthode d'acquisition des connaissances par l'interview des experts, et une autre est due aux définitions subjectives données par les experts. Cependant, cette incertitude n'est en aucun cas une erreur et doit être intégrée au système automatisé. L'étude future se concentrera sur les capacités des systèmes décisionnels à inférences floues à transcrire correctement et efficacement les modèles NIAM/ORM. Une autre perspective d'étude tient dans l'analyse des méthodes de décision à implémenter en relation direct avec la modélisation de la connaissance des experts. L'étude évaluera les méthodes de décision implémentées puis mettra en avant les

moyens pour améliorer l'efficacité et l'efficience de celles-ci.

## REFERENCES

- Andrade J., Ares J., García R., Pazos J., Rodríguez S., Silva A., « Definition of a problem-sensitive conceptual modelling language: foundations and application to software engineering », *Information and Software Technology*, Vol. 48, pp. 517-531, 2006
- Bhandarkar S.M., Luo X., Daniels R., Tollner E.W., « Detection of cracks in computer tomography images of logs », *Pattern Recognition Letters*, Vol. 26, pp. 2282-2294, 2005
- Blaise J.C., Lhoste P., Ciccotelli J., « Formalisation of normative knowledge for safe design », *Safety Science*, Vol. 41, pp. 241-261, 2003
- Bombardier V., Mazaud C., Lhoste P., Vogrig R., « Contribution of fuzzy reasoning method to knowledge integration in a defect recognition system », *Computers in Industry*, Vol. 58, pp. 355-366, 2007
- Bombardier V., Schmitt E., Charpentier P., « A fuzzy sensor for color matching vision system », *Measurement*, Vol. 42 n° 2, pp. 189-201, ISSN 0263-2241, 2009
- Brännström M., Oja J., Grönlund A., « Predicting board strength by X-ray scanning of logs : The impact of different measurement concepts », *Scandinavian Journal of Forest Research*, Vol. 22, pp. 60-70, 2007
- Buehlmann U., Thomas R.E., « Impact of human error on lumber yield in rough mills », *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 18, pp. 197-203, 2002
- Deng J.D., Gleeson M.T., « Automatic sapstain detection in processed timber », *AI 2007, LNAI 4830*, pp. 637-641, 2007
- Dibie-Barthélemy J., Haemmerlé O., Salvat E., « A semantic validation of conceptual graphs », *Knowledge-Based Systems*, Vol. 19, pp. 498-510, 2006
- Dubois D., Prade H., « On the use of aggregation operations in information fusion processes », *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 142, pp. 143-161, 2004
- Entacher K., Planitzer D., Uhl A., « Towards an automated generation of tree ring profiles from CT-images », *ISP 2007: Proceedings of the 5th international symposium on Image and Signal Processing and Analysis*, Art. 4383685, pp. 174-179, 2007a
- Entacher K., Lenz C., Seidel M., Uhl A., Weiglmaier R., « Applicability of motion estimation algorithms for an automatic detection of spiral grain in CT cross-section images of logs », *Lecture Note in Computer Science*, LNCS 4673, pp. 36-44, 2007b
- Entacher K., Hegenbart S., Kerschbaumer J., Lenz C., Planitzer D., Seidel M., Uhl A., Weiglmaier R., « Pith detection on CT-cross-section images of logs : an experimental comparison », *ISCCSP 2008*, Malta, 12-14 March, 2008
- Faria J., Martins T., Ferreira M., Santos C., « A computer vision system for color grading wood boards using fuzzy logic », *IEEE Int. Symposium on Industrial Electronics*, 30 June-02 July, Cambridge, pp. 1082-1087, 2008
- Flunck J.W., Zhong Y., Butler D.A., Brunner C.C., Forrer J.B., « Image segmentation algorithms applied to wood defect detection », *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 41, pp. 157-179, 2003
- Hagman O., « Multivariate prediction of wood surface features using an imaging spectrograph », *Holz als Roh-und Werkstoff*, Vol. 55, pp. 377-382, 1997
- James A.E., Shipley S.D.E., « The development of OCPL, object conceptual prototyping language », *Information and Software Technology*, vol. 42, pp. 1045-1056, 2000
- Longuetaud F., Leban J-M., Mothe F., Kerrien E., Berger M-O., « Automatic detection of pith on CT images of spruce logs », *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 24, pp. 107-119, 2004
- Longuetaud F., Saint-André L., Leban J-M., « Automatic detection of annual growth units on Picea abies logs using optical and X-ray techniques », *Journal of Nondestructive Evaluation*, Vol. 24, No.1, March, 2005
- Longuetaud F., Mothe F., Leban J-M., « Automatic detection of the heartwood/sapwood boundary within Norway spruce logs by means of CT images », *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 58, pp. 100-111, 2007
- Oh J.K., Shim K., Kim K-M., Lee J-J., « Quantification of knots in dimension lumber using a single-pass X-ray radiation », *Journal of Wood Science*, Vol. 55, pp. 264-272, 2009
- Oja J., Wallbäcks L., Grundberg S., Hägerdal E., Grönlund A., « Automatic grading of Scots pine sawlogs using an industrial X-ray log scanner », *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 41, pp. 63-75, 2003
- Rojas G., Condal A., Beauregard R., Verret D., Hernandez R.E., « Identification of internal defect of sugar maple logs from CT images using supervised classification methods », *Holz als Roh-und Werkstoff*, Vol. 64, pp. 295-303, 2006
- Schmidt G., Wetter T., « Using natural language sources in model-based knowledge acquisition », *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 26, pp. 327-356, 1998
- van der Vos, B., J.A. Gulla, R. van de Riet. « Verification of conceptual models based on linguistic knowledge ». *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 21, pp. 147-163, 1997
- Wagner J.C., Rogers J.E., Baud R.H., Scherrer J.R., « Natural language generation of surgical procedures », *International Journal of Medical Informatics*, vol. 53, pp. 175-192, 1999
- Wei Q., Chui Y.H., « Identification of selected internal wood characteristics in computed tomography images of black spruce: a comparison study », *Journal of Wood Science*, Vol. 55, pp. 175-180, 2009