



**HAL**  
open science

# Représentation des connaissances scientifiques en vue de leur transfert vers l'industrie : Application à la valorisation des produits à base de bois en fin de vie

Aymen Jmal

► **To cite this version:**

Aymen Jmal. Représentation des connaissances scientifiques en vue de leur transfert vers l'industrie : Application à la valorisation des produits à base de bois en fin de vie. Informatique. Ecole des Mines de Nantes, 2013. Français. NNT : 2013EMNA0075 . tel-00857569

**HAL Id: tel-00857569**

**<https://theses.hal.science/tel-00857569>**

Submitted on 3 Sep 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.

# Thèse de Doctorat

**Aymen JMAL**

*Mémoire présenté en vue de l'obtention du  
grade de Docteur de l'École Nationale Supérieure des Mines de Nantes  
sous le label de L'Université Nantes Angers Le Mans*

École doctorale : SPIGA (489)

Discipline : Génie des procédés

Spécialité : Intelligence Artificielle

Unité de recherche : **Laboratoire Matériaux et Composites Bois**

Soutenu le 19-02-2013

Thèse N° : 2013EMNA0075

## Représentation des connaissances scientifiques en vue de leur transfert vers l'industrie

Application à la valorisation des produits à base de bois en fin de vie

### JURY

|                      |   |
|----------------------|---|
| Rapporteurs :        | <b>M. André Tricot</b> , Professeur d'Université, Université de Toulouse II-Le Mirail<br><b>M. Claude PARAPONARIS</b> , Professeur d'Université, Université Paris-Est |
| Examineur :          | <b>M. Jordi CABOT</b> , HDR, École des Mines de Nantes  |
| Directeur de thèse : | <b>M. Mark IRLE</b> , Directeur de recherche, École Supérieure du Bois  |
| Co-encadrants :      | <b>M. Amadou NDIAYE</b> , Ingénieur de recherche, INRA de Bordeaux<br><b>M. Franck MICHAUD</b> , Docteur, École Supérieure du Bois                                    |

*A mes très chers parents...*

## Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement pour sa confiance et pour son aide mon directeur de thèse, Monsieur Mark IRLE, Directeur de Recherche à l'Ecole Supérieure du BOIS. Il a su me faire bénéficier de ses connaissances et de son expérience tout en m'accordant une certaine liberté d'évolution.

Mes remerciements vont également à Amadou NDIAYE Ingénieur de Recherche INRA à L'Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux et Franck MICHAUD Enseignant-chercheur à l'Ecole Supérieure du Bois, pour leur encadrement et pour leur aide riche et complémentaire qui m'a permis de construire et faire aboutir ce travail de thèse. Je les remercie pour leurs encouragements, leur disponibilité et leur exigence. J'en profite aussi pour leur exprimer ma reconnaissance pour tout ce qu'ils m'ont appris ces dernières années et j'espère, pour ce qu'ils m'apprendront encore.

Merci à Monsieur André Tricot Professeur à l'université de Toulouse II Le-Mirail et à Monsieur Claude PARAPONARIS Professeur à l'université Paris-Est Marne-la-Vallée qui ont accepté de relire ce manuscrit de thèse et d'en être les rapporteurs. Leurs avis et conseils m'ont été d'une grande aide pour préparer la soutenance.

Je tiens à témoigner de ma profonde reconnaissance à Monsieur Jordi Cabot, Maître Assistant à l'Ecole Mines de Nantes, pour avoir accepté de faire partie du jury de cette thèse.

Merci à tous les membres du projet TeamBOIS. Les réunions de projet ont été pour moi des moments très formateurs, d'échanges de points de vue, qui ont largement permis de nourrir ma réflexion.

Merci enfin à mes parents, à Zenjabil JOUINI, ainsi qu'aux nombreuses personnes qui ont contribué au bon déroulement de cet épisode de ma vie

## Résumé et mots-clés

Le travail de thèse s'intéresse au transfert de connaissances scientifiques en valorisation des produits récupérés à base de bois (PRBB) vers les acteurs de la filière bois. La question de recherche est: Comment transférer les connaissances scientifiques (recueil et représentation des connaissances et média de transmission) sur la valorisation des PRBB pour qu'elles puissent être assimilées et utilisées par les acteurs de la filière bois ?

Le recueil des connaissances a combiné des séances d'interview de spécialistes (chercheurs seniors) de la valorisation des produits à base de bois avec l'acquisition des connaissances à partir d'articles scientifiques ou rapports techniques conseillés par les mêmes spécialistes. Les entretiens ont été réalisés suivant un canevas guidé par la structure habituelle des publications scientifiques (données initiales, problème, hypothèses, tests, résultats, interprétation et conclusion).

Les connaissances recueillies ont été reformulées afin de faciliter leur transfert vers les acteurs de la filière bois : les concepts pertinents, relations d'influence entre les concepts et résultats scientifiques ont été respectivement représentés via des cartes conceptuelles, des graphes d'influence, et des fiches de connaissances. Un modèle canonique de cartes conceptuelles a été proposé afin de permettre une représentation homogène des concepts. Ce modèle est un arbre sémantique qui décrit un concept (la racine) suivant trois axes ontologiques : taxonomie, méréologie et du domaine. Un format de fiche de connaissance a été prédéfini suivant sept champs d'informations : titre, illustration, texte explicatif, auteur de la fiche, mots clés, voir aussi (fiches sémantiquement connexes) et références bibliographiques.

La transmission, l'assimilation et l'utilisation potentielle des connaissances à transférer ont été traitées comme suit :

- La transmission a été proposée via un livre électronique (hypermédia) de connaissances construit de façon spécifique. Les connaissances représentées ont été reliées via trois sortes d'hyperliens (concept-carte, concept-fiche, fiche-fiche).
- *L'assimilation* (absorption) a été prise en compte via la reformulation des connaissances et une représentation graphique des connaissances suivant une carte conceptuelle canonique et un format prédéfini de fiches. La reformulation a été guidée par des entités pertinentes du domaine des industriels et le typage des connaissances.
- *L'utilisation potentielle* des connaissances transférées a été renforcée par la représentation des leviers d'action sur les concepts du domaine sous forme de graphes d'influence.

Les performances de transfert à partir du livre ont été évaluées sur un échantillon de 70 apprentis du domaine. Trois critères ont été retenus : le degré de compréhension du contenu du livre, la charge cognitive de l'utilisateur au cours de l'utilisation du livre de connaissances et sa désorientation.

L'expérience a montré que la forme canonique développée est intuitive ; et, tout comme la navigation dans le livre, n'occasionne pas de désorientation ou surcharge cognitive de l'utilisateur. Ceci favorise l'assimilation et l'utilisation du contenu du livre.

Les résultats obtenus montrent, au sein de la filière bois, tout l'intérêt de la représentation proposée pour le transfert de connaissances scientifiques vers des professionnels.

### Mots-clés :

Transfert de connaissances, connaissance scientifique, recueil de connaissances, représentation de connaissances, carte conceptuelle, fiche de connaissances, livre de connaissances, valorisation des produits récupérés à base de bois

## Abstract and Keywords

The work of this thesis focuses on the transfer of scientific knowledge on recovered wood valorization to the actors of the wood sector. The research question is: how to transfer scientific knowledge (collection and knowledge representation and transmission medium) so that they may assimilate and use by the actors of the wood sector?

Knowledge was first collected through interviews with specialists in the re-use of recovered wood and combined with knowledge from scientific publications and technical reports recommended by the same specialists. The interviews were conducted following a framework guided by the usual structure of scientific publications (initial data, problem, hypotheses, tests, results, interpretation and conclusion).

The collected knowledge was then reformulated to facilitate its transfer to practioners in the wood sector. The relevant concepts, the influences between concepts and relevant scientific results were respectively represented via concept maps, influence graphs, and knowledge sheets. A canonical model of concept maps is proposed to enable a homogeneous representation of concepts. This model is a semantic tree, which describes a concept (the root) through three ontological axes: taxonomy, mereology/mironimy and domain. A standard knowledge sheet is defined which contains seven information fields: title, illustration, explanation, author of the sheet, keywords, see also (semantically related sheets) and references.

Transmission, assimilation and potential utilization of knowledge transfer were treated as follows:

- The transmission is proposed via a specifically designed electronic (hypermedia) knowledge-book. The represented knowledge is connected via three kinds of hyperlinks (concept-map, concept-sheet, sheet-sheet).
- The assimilation (absorption) has been taken into account through the reformulation of knowledge and a graphical representation of knowledge following a canonical concept map and sheets with a predefined format. The reformulation has been guided by the relevant entities in the field of industrial and the typing of knowledge.
- The potential use of the transferred knowledge is facilitated by the representation of the action levers on the domain concepts in the form of influence graphs.

The efficiency of knowledge transfer via the knowledge-book has been evaluated on a sample of 70 wood science and technology students. Three criteria were estimated: the degree of understanding of the book content, the cognitive load of the user during use of the knowledge-book and the disorientation it caused. The experience has shown that the developed canonical form is intuitive and, like navigation in the book, does not cause disorientation or cognitive overload to the user. This promotes the assimilation and the use of the knowledge-book content.

The obtained results indicate that the representation of relevant knowledge in a knowledge-book should facilitate for the transfer of scientific knowledge to professionals in the wood sector.

### **Key-words:**

Knowledge transfer, scientific knowledge, knowledge collection, knowledge representation, concept map, knowledge sheet, electronic knowledge book, recovered wood re-use



# Table des matières

|  |           |
|--|-----------|
| Remerciements .....  | 2         |
| Résumé et mots-clés.....   | 3         |
| Table des matières .....   | 6         |
| Liste des tableaux .....   | 9         |
| Liste des figures .....  | 10        |
| Liste des annexes.....   | 12        |
| <b>Introduction générale.....</b>  | <b>13</b> |
| <b>Première partie : Étude bibliographique .....</b>                           | <b>19</b> |
| Chapitre 1 : Transfert de connaissances .....                                  | 20        |
| 1. Introduction .....  | 20        |
| 2. Connaissance.....   | 20        |
| 2.1. Définition .....  | 20        |
| 2.2. Typologie des connaissances .....   | 21        |
| 2.2.1. Connaissance explicite .....  | 21        |
| 2.2.2. Connaissance tacite.....  | 21        |
| 2.2.3. Connaissance déclarative .....  | 21        |
| 2.2.4. Connaissance procédurale .....  | 22        |
| 2.3. Connaissance scientifique .....   | 22        |
| 3. Transfert des connaissances .....   | 23        |
| 3.1. Transmission de connaissances .....                                       | 24        |
| 3.2. Assimilation de connaissances .....                                       | 24        |
| 3.3. Utilisation de connaissances.....   | 25        |
| 4. Acquisition des connaissances .....   | 26        |
| 4.1. Principales méthodes de gestion de connaissances .....                    | 26        |
| 4.2. Etapes d'acquisition des connaissances .....                              | 27        |
| 4.3. Recueil des connaissances.....  | 27        |
| 4.3.1. Techniques d'interviews .....   | 27        |
| 4.3.2. Techniques de modélisation des connaissances .....                      | 28        |
| 4.3.3. Techniques d'observation .....  | 28        |
| 4.4. Analyse et modélisation des connaissances .....                           | 28        |
| 4.4.1. Modèles de connaissances, formalismes usuels au sens de Milton (2007).. | 29        |
| 4.4.1.1. Arbre.....  | 29        |
| 4.4.1.2. Carte .....   | 31        |
| 4.4.1.3. Frame.....  | 31        |
| 4.4.1.4. Matrice .....   | 32        |
| 4.4.1.5. Page de connaissances.....  | 33        |
| 4.4.1.6. Ligne du temps .....  | 33        |
| 4.4.2. Formalisme de représentation d'un processus multi-étapes.....           | 33        |
| 5. Représentation des connaissances en vue de leur transfert .....             | 34        |
| 5.1. Carte conceptuelle .....  | 35        |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| 6.   | Ontologies et représentation des connaissances.....                           | 36        |
| 6.1.   | Définition générale de l'ontologie .....                                      | 36        |
| 6.2.   | Ontologies fondationnelles.....   | 37        |
| 6.2.1.   | Généralités sur les ontologies fondationnelles .....                          | 37        |
| 6.2.2.   | DOLCE.....  | 37        |
| 6.3.   | Relations ontologiques .....  | 39        |
| 6.3.1.   | Modélisation de la spécialisation : la relation est-un .....                  | 39        |
| 6.3.2.   | Modélisation de la composition : Méréologie.....                              | 41        |
| 6.3.2.1.   | Taxonomie de relations partie-tout de Keet et Artale (2008).....              | 43        |
| 6.3.2.2.   | Propriétés algébriques des relations partie-de.....                           | 45        |
| 6.3.3.   | Les relations sémantiques du domaine.....                                     | 46        |
| 7.   | Charge cognitive .....  | 46        |
| 7.1.   | Types de la charge cognitive.....   | 47        |
| 7.1.1.   | Charge cognitive extrinsèque pertinente .....                                 | 47        |
| 7.1.2.   | Charge cognitive extrinsèque inutile.....                                     | 47        |
| 7.1.3.   | Charge cognitive intrinsèque.....   | 47        |
| 7.2.   | Mesure de la charge cognitive.....  | 48        |
| 8.   | Désorientation .....  | 48        |
| 9.   | Conclusion.....   | 49        |
| <b>Deuxième partie : Acquisition et représentation des connaissances scientifiques .....</b> |   | <b>51</b> |
| Chapitre 2 : Acquisition et représentation des connaissances scientifiques.....              |   | 52        |
| 1.   | Introduction .....  | 52        |
| 2.   | Acquisition des connaissances scientifiques sur la valorisation des PRBB..... | 52        |
| 2.1.   | Le repérage des connaissances pertinentes .....                               | 52        |
| 2.1.1.   | Processus de valorisation des PRBB.....                                       | 53        |
| 2.1.2.   | Les connaissances pertinentes sur la valorisation des PRBB.....               | 55        |
| 2.2.   | Recueil et modélisation des connaissances scientifiques.....                  | 56        |
| 2.2.1.   | Le recueil des connaissances scientifiques.....                               | 56        |
| 2.2.2.   | Modélisation des connaissances scientifiques.....                             | 57        |
| 2.2.2.1.   | Modélisation des concepts .....   | 58        |
| 2.2.2.2.   | Modélisation des Procédés .....   | 60        |
| 2.2.2.3.   | Modélisation des résultats .....  | 61        |
| 2.2.3.   | Validation de la justesse de la modélisation des connaissances recueillies .  | 62        |
| 3.   | Représentation des connaissances scientifiques sur les PRBB .....             | 62        |
| 3.1.   | Modèle canonique de cartes conceptuelles .....                                | 62        |
| 3.2.   | Fiches de connaissances .....   | 66        |
| 3.3.   | Les graphes d'influences .....  | 68        |
| 4.   | Conclusion.....   | 69        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Troisième partie : Transfert des connaissances scientifiques .....</b>  | <b>71</b>  |
| Chapitre 3 : Transfert des connaissances scientifiques sur la valorisation des PRBB.....                                     | 72         |
| 1. Introduction .....  | 72         |
| 2. Démarche de transfert des connaissances scientifique sur la valorisation des PRBB<br>vers les acteurs de la filière ..... | 72         |
| 2.1. Transmission des connaissances scientifiques .....  | 72         |
| 2.1.1. Livre électronique de connaissances sur la valorisation des PRBB.....   | 73         |
| 2.2. Assimilation des connaissances scientifiques .....  | 80         |
| 2.2.1. Charge cognitive .....  | 80         |
| 2.2.2. Désorientation .....  | 81         |
| 2.3. Utilisation des connaissances scientifiques.....  | 82         |
| 3. Évaluation des performances de transfert .....  | 83         |
| 3.1. Participants .....  | 83         |
| 3.2. Matériel .....  | 84         |
| 3.3. Mesures .....   | 84         |
| 3.3.1. Mesure de degré de compréhension .....  | 84         |
| 3.3.2. Mesure de la désorientation.....  | 85         |
| 3.3.3. Mesure de la charge cognitive.....  | 86         |
| 3.4. Procédure.....  | 86         |
| 3.5. Résultats .....   | 88         |
| 3.5.1. Connaissances préalables .....  | 88         |
| 3.5.2. Compréhension.....  | 88         |
| 3.5.3. Désorientation et charge cognitive .....  | 89         |
| 3.5.3.1. Désorientation .....  | 89         |
| 3.5.3.2. Charge cognitive .....  | 89         |
| 3.6. Discussions.....  | 90         |
| 4. Conclusion et perspectives .....  | 92         |
| 4.1. Conclusion.....   | 92         |
| 4.2. Perspectives .....  | 93         |
| <b>Conclusion générale .....</b>   | <b>95</b>  |
| 1. Synthèse .....  | 96         |
| 2. Perspectives.....   | 98         |
| <b>Annexes .....</b>   | <b>111</b> |

## Liste des tableaux

|  |     |
|--|-----|
| Tableau 1: Les six relations partie-de définies par (Winston et al., 1987).....                                | 42  |
| Tableau 2 : les types de relation partie-de d'Odell (1998) .....   | 43  |
| Tableau 3: Principaux média de transmission de connaissance de l'université vers l'entreprise<br>.....         | 80  |
| Tableau 4: Composition des deux groupes .....  | 84  |
| Tableau 5 : Moyenne (m) et écart type ( $\sigma$ ) du niveau de charge cognitive et de désorientation<br>..... | 90  |
| Tableau 6 : ANOVA sur les pré-tests des deux groupes.....  | 116 |
| Tableau 7 : ANOVA sur les scores du pré et posttest de tous les participants .....                             | 116 |
| Tableau 8 : ANOVA sur le score des moyennes de désorientation des deux groupes du test 1<br>.....              | 117 |
| Tableau 9 : ANOVA sur le score des moyennes de désorientation des deux groupes du test 2<br>.....              | 117 |
| Tableau 10 : ANOVA sur le score des moyennes d'effort mental des deux groupes du test 1<br>.....               | 118 |
| Tableau 11 : ANOVA sur le score des moyennes d'effort mental des deux groupes du test 2<br>.....               | 118 |

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| Figure 1: Voies de valorisation des produits à base de bois (Michaud et al. 2010).....   | 15 |
| Figure 2: Exemple d'un arbre de concepts .....   | 29 |
| Figure 3 : Exemple d'un arbre de composition.....  | 30 |
| Figure 4 : Exemple d'un arbre de processus.....  | 30 |
| Figure 5 : Exemple de carte conceptuelle .....   | 31 |
| Figure 6 : Exemple d'une Frame .....   | 32 |
| Figure 7: Exemple d'une matrice d'attributs (traduite de (Milton, 2007)).....  | 32 |
| Figure 8 : Exemple d'une matrice de relation.....  | 33 |
| Figure 9 : Formalisme de représentation d'un processus multi-étapes (Ndiaye et al. 2009)....   | 34 |
| Figure 10: La taxonomie DOLCE (Masolo et al. 2003) .....   | 39 |
| Figure 11: Taxonomie de relations partie-de, s-part : partie-de structurelle ; f-part-of : partie-de fonctionnelle (Keet et Artale, 2008).....   | 43 |
| Figure 12 : Représentation d'un processus de valorisation d'un produit récupéré à base de bois (Jmal et al. 2012).....   | 53 |
| Figure 13 : Arbre de concepts de la taxonomie de valorisation des PRBB .....   | 58 |
| Figure 14: Arbre de composition d'un PRBB .....  | 59 |
| Figure 15 : Exemple de carte conceptuelle .....  | 59 |
| Figure 16 : Carte de processus de la méthanisation d'un PRBB.....  | 60 |
| Figure 17 : Page de connaissances : les émissions de gaz à effet de serre de la combustion ..  | 61 |
| Figure 18: Modèle canonique de cartes conceptuelles pour la représentation de connaissances scientifiques à transférer.....  | 63 |
| Figure 19 : La représentation de la forme canonique en logique de premier ordre .....  | 66 |
| Figure 20 : Fiche de connaissances sur le taux de concentration de plomb de différentes fractions de deux échantillons d'un produit récupéré après une analyse spectroscopique par torche à plasma.....  | 68 |
| Figure 21 : Graphe d'influences de la quantité de charbon de bois produite au cours d'une pyrolyse .....   | 69 |
| Figure 22: Exemples de connaissances (A) définition du concept Gazéification, (B) les variables qui influencent le concept rendement en huiles, (C) définition du concept Granulométrie et comment il est mesuré et (D) un résultat scientifique sur les PRBB... | 74 |
| Figure 23 : Carte conceptuelle de déclaration du concept Gazéification des produits récupérés à base de bois.....  | 74 |
| Figure 24 : Graphe d'influence de la variable Rendement en huiles.....   | 75 |
| Figure 25 : Partie de la carte conceptuelle de la granulométrie .....  | 75 |
| Figure 26 : Fiche de connaissances sur le taux de concentration de plomb de différentes fractions de deux échantillons d'un produit récupéré après une analyse spectroscopique par torche à plasma.....  | 76 |
| Figure 27 : Page principale du livre de connaissances .....  | 78 |
| Figure 28 : La page du livre de connaissances relatives à la combustion d'un PRBB .....  | 82 |
| Figure 29 : Exemples de questions littérales et inférentielles à partir du questionnaire de mesure du degré de compréhension .....   | 85 |

Figure 30 : Déroulement de l'expérience de mesure de la désorientation et de la charge cognitive..... 87

## Liste des annexes

|  |     |
|--|-----|
| Annexe 1 : Questionnaire pré et post test sur la valorisation des PRBB .....   | 112 |
| Annexe 2 : Test de charge cognitive et de désorientation .....   | 114 |
| Annexe 3 : Résultats des ANOVA .....   | 116 |
| Annexe 4: Structuring and representation of scientific knowledge for a transfer through an<br>electronic knowledge book..... | 119 |
| Annexe 5 : Acquisition et représentation de connaissances scientifiques en vue de leur<br>transfert.....                     | 129 |
| Annexe 6: How to transfer scientific knowledge from the research to the industry in the field<br>of the recovered wood.....  | 132 |

# **Introduction générale**

Le travail de la thèse s'inscrit dans le cadre du projet TeamBOIS qui est un partenariat entre l'École Supérieure du Bois, l'École des Mines de Nantes et l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA-Bordeaux). Ce projet, qui a pour objectif principal l'optimisation du recyclage du bois, couvre trois axes de recherche : 1) le choix d'utilisation des produits à base de bois en fin de vie par l'identification des solutions et des possibilités de valorisation, qui est le cœur de ce travail de thèse, 2) l'évaluation et la réduction de la contamination des produits à base de bois en fin de vie et 3) l'amélioration de l'efficacité du procédé de purification du bois par la réduction des goudrons.

Le bois est classé parmi les meilleurs matériaux du point de vue écologique car il est renouvelable et requiert moins d'énergie pour sa transformation que les autres matériaux courants comme les métaux, les plastiques ou le béton. De plus, les produits à base de bois peuvent se recycler ou restituer leur énergie lors de leur combustion. La prise en compte des problématiques de développement durable et de gestion durable des écosystèmes forestiers et les évolutions de la réglementation française incitent les acteurs de la filière bois à s'intéresser davantage à la fin de vie des produits à base de bois.

Aujourd'hui, un grand volume de produits à base de bois en fin de vie est disponible en France. Rüter et al. (2005) estiment ce volume à 16 millions de tonnes par an. Cette grande quantité possède un fort potentiel de mise en valeur. Un produit à base de bois en fin de vie peut être recyclé peut substituer d'une manière partielle ou totale la matière première vierge utilisée pour la fabrication des nouveaux produits à base de bois. Il peut aussi être transformé en énergie (par combustion par exemple) pour alimenter des réseaux de chaleur ou pour la production d'électricité (Figure 1). Néanmoins, la possibilité de mise en valeur des produits récupérés à base de bois (PRBB) n'a pas toujours été considérée. L'action COST E31 « Management Of Recovered Wood » a constaté qu'au moins 30% des PRBB ne sont pas valorisés. Ceci est dû principalement au manque d'infrastructures pour collecter, trier et redistribuer les PRBB et en partie aussi au manque de connaissances sur les procédés d'analyse et de valorisation. De plus, dans la filière bois, la proposition d'une valorisation durable des PRBB est compliquée compte tenu des paramètres environnementaux et de l'évolution de la réglementation française sur ces derniers. En effet, une exploitation inappropriée des PRBB peut générer des émissions de gaz à effet de serre et libérer des polluants chimiques dans l'atmosphère, le sol ou l'eau avec un impact négatif à la fois sur l'environnement et sur l'humanité (Morrel, 2004). Pour faire face à cette problématique, plusieurs travaux de recherche ont été menés afin d'apporter des connaissances nouvelles sur les propriétés et les procédés de valorisation des PRBB.

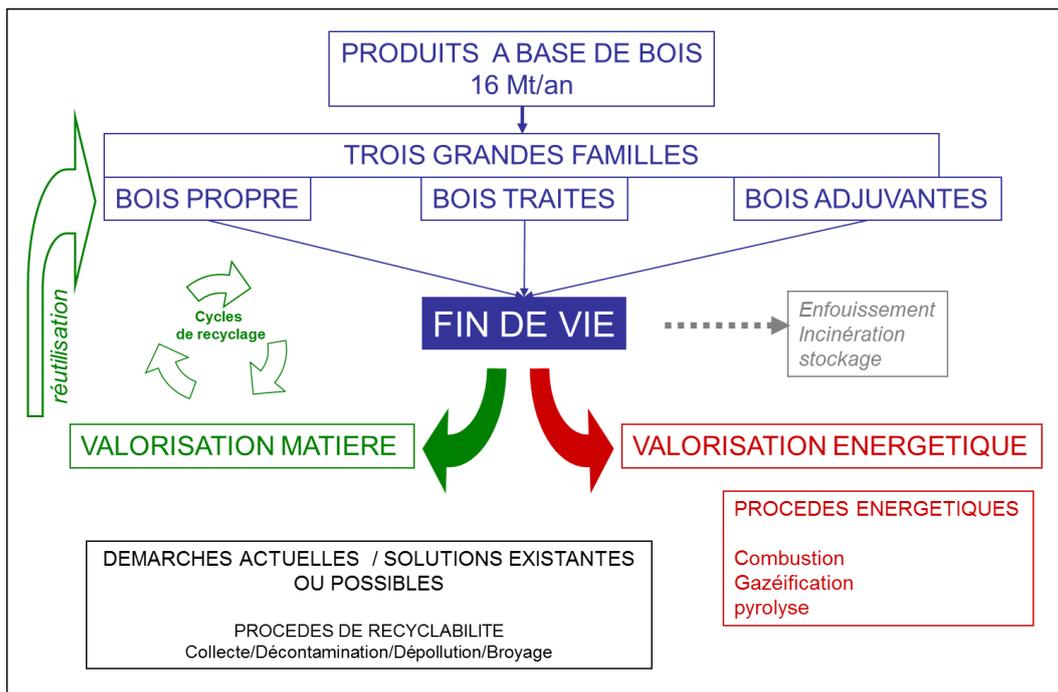


Figure 1: Voies de valorisation des produits à base de bois (Michaud et al. 2010)

Les connaissances scientifiques issues des travaux de recherche sur les PRBB sont déterminantes pour une meilleure valorisation de ces derniers. Elles décrivent et expliquent les phénomènes et les opérations impliquées dans les processus de valorisation. L'enrichissement du patrimoine de connaissances des entreprises de la filière bois par cette connaissance est alors indispensable. Cela permet d'élargir leur savoir, d'affiner leur savoir-faire sur la valorisation des PRBB et par conséquent, d'accroître leur capacité d'innovation.

D'une manière générale, les entreprises ont besoin d'innover (création des nouveaux produits, réduction des délais et des coûts de conceptions) pour renforcer leur position concurrentielle sur le marché et développer une compétitivité durable. En effet, l'innovation est une condition indispensable aux entreprises pour ne pas disparaître. C'est dans ce contexte, que les entreprises ont manifesté leurs intérêts à se rapprocher des milieux universitaires pour bénéficier des dernières découvertes scientifiques. Les universitaires sont également conscients de l'intérêt à transférer les résultats de leurs travaux vers les industriels ; ceci leur permet de trouver de nouvelles sources de financements nécessaires à l'amélioration de la qualité et la quantité des travaux de recherche. Par ailleurs, la communauté Européenne dans sa stratégie d'innovation élargie dans l'union Européenne a insisté sur l'importance d'améliorer le transfert de connaissances entre les organismes de recherche et les entreprises (EU, 2007).

Le travail de thèse s'intéresse à la question de l'amélioration du transfert de connaissances scientifiques en valorisation des PRBB vers les acteurs de la filière bois.

Selon Davenport et Prusak (2000), le transfert de connaissances est défini comme étant trois opérations : « Transfer = **Transmission** + **Absorption** (and **Use**) ». Cette définition implique que les connaissances à transférer sont transmises sous une forme adaptée au destinataire afin qu'elles puissent être assimilées pour ensuite pouvoir être utilisées. De ce fait, la question de recherche à laquelle le travail de thèse tente de répondre est la suivante :

Comment transférer les connaissances scientifiques (recueil et représentation des connaissances et média de transfert) sur la valorisation des produits récupérés à base de bois pour qu'elles puissent être assimilées et utilisées par les acteurs de la filière bois ?

Les connaissances scientifiques sont produites par des scientifiques à destination de leurs pairs. Elles sont publiées sous forme d'articles scientifiques qui ne sont pas forcément exploitables par des non scientifiques (Leutner et al. 2009). Pour faciliter leur compréhension et leur transfert vers des professionnels, elles doivent être reformulées. La reformulation des connaissances va consister en une représentation construite sur la base d'entités pertinentes du domaine des professionnels (Amadiou et al. 2009b).

La principale motivation de la thèse est de faciliter le choix d'une valorisation durable des produits récupérés à base de bois par la mise à disposition de connaissances scientifiques via un livre électronique de connaissances. Ses objectifs scientifiques sont les suivants :

- Recueillir les connaissances scientifiques sur les PRBB relatives à leurs propriétés physico-chimiques et leur valorisation en matière ou en énergie.
- Proposer une représentation de connaissances adaptée au transfert de connaissances scientifiques sur les PRBB vers les acteurs de la filière bois.
- Développer un livre électronique de connaissances (média de transfert) et évaluer les performances du transfert

Ce mémoire de thèse est divisé en trois parties : une première partie consacrée à l'étude bibliographique sur le transfert de connaissances, une deuxième partie dédiée au recueil et la représentation des connaissances scientifiques sur les PRBB et une troisième partie portant sur le transfert des connaissances recueillies vers les acteurs de la filière bois. L'étude bibliographique porte plus particulièrement sur la définition de la connaissance, ses typologies, son acquisition et représentation en vue du transfert et les différentes opérations

d'un processus de transfert de connaissances. Le transfert de connaissances nécessitant l'assimilation de ces dernières, la charge cognitive et la désorientation du destinataire du transfert sont des questions majeures de cette thématique. L'objectif finalisé du transfert de connaissances est que ces dernières soient assimilées et utilisées. Pour faciliter leur assimilation et utilisation, les connaissances doivent être acquises et reformulées (représentées) sous une forme appropriée. Afin de permettre l'évaluation du transfert via un livre électronique de connaissances, il est impératif de procéder à la mesure de la charge cognitive et la désorientation occasionnée par le livre sur un échantillon représentatif d'utilisateurs.



**Première partie :**  
**Étude bibliographique**

# Chapitre 1 : Transfert de connaissances

## 1. Introduction

Le transfert de connaissances est un champ d'étude qui se situe au carrefour des préoccupations de plusieurs disciplines telles que la gestion des connaissances (Alvi et Leidner, 2001 ; Paraponaris et Simoni, 2006), l'ingénierie des connaissances (Milton, 2007) et les sciences cognitives (Nokes, 2009). L'acquisition, la modélisation et la représentation des connaissances à transférer relèvent ici de la gestion et de l'ingénierie des connaissances. Les sciences cognitives s'intéressent ici à l'étude de la désorientation et à la charge cognitive du destinataire de la connaissance transmise afin d'évaluer son assimilabilité.

L'objectif de ce chapitre est de présenter une revue de littérature relative au transfert de connaissances. La première partie présente les définitions de la connaissance selon plusieurs points de vue ; la deuxième partie est consacrée à la définition du transfert de connaissance ; la troisième partie aborde l'acquisition de connaissances ; la quatrième partie présente les principaux formalismes de représentation de connaissances relativement à leur transfert ; et la dernière partie présente les fondements de la charge cognitive et de la désorientation, qui sont deux facteurs importants de l'assimilation de la connaissance.

## 2. Connaissance

### 2.1. Définition

Davenport et Prusak (2000) définissent une connaissance comme étant la compréhension d'une information et de son association à d'autres informations et connaissances préalables (expériences, idées et valeurs) pour pouvoir évaluer et incorporer des nouvelles informations. Ici une information est vue comme une donnée contextualisée et une donnée comme une simple observation ou des faits qui décrivent des événements ou des états de chose. L'information doit être assimilée, intégrée dans les modèles mentaux et croyances de l'individu pour devenir une connaissance. Le passage de l'information à la connaissance est fait par l'individu qui utilise cette information dans un contexte donné.

Selon Alavi et Leidner (2001), la connaissance est l'information retenue par l'esprit des individus. Il s'agit des informations personnelles liées à des faits, des procédures, des

concepts, des idées, des observations et des jugements. La connaissance est alors un processus qui diffère selon les individus. Nonaka et Takeuchi (1997) définissent aussi la connaissance comme un processus humain dynamique de justification de croyances personnelles vers l'atteinte de la vérité.

## **2.2. Typologie des connaissances**

Dans leur ouvrage de référence 'The knowledge-creating Company', Nonaka et Takeuchi (1995) montrent que la connaissance se présente sous deux formes : une forme explicite et une forme tacite. La distinction entre connaissances explicites et connaissances tacites est importante, car, selon qu'elles soient explicites ou tacites, les connaissances ne peuvent être recueillies et transférées de la même façon. Par ailleurs la connaissance peut être déclarative ou procédurale. La distinction entre connaissances déclaratives et procédurales a principalement été développée en psychologie cognitive par Anderson (1983).

### **2.2.1. Connaissance explicite**

La connaissance explicite est une connaissance codifiée, exprimable en langage formel et transmissible d'un individu à un autre sous forme de documents réutilisables (Nonaka et Takeuchi, 1995). Cette connaissance est observable, mesurable et de ce fait facilement transférée à travers des méthodes formelles et systémiques.

### **2.2.2. Connaissance tacite**

La connaissance tacite est une connaissance non verbalisée, intuitive et non articulée. Elle est personnelle, difficile à formaliser en parole et souvent liée à un contexte particulier et de ce fait, il est difficile de la communiquer et de la transférer (Lam, 2000 ; Nonaka et Takeuchi, 1997). Les modèles mentaux et les schémas que les humains se forment sur le monde entrent dans cette catégorie de connaissances (Nonaka et Takeuchi, 1997).

### **2.2.3. Connaissance déclarative**

La connaissance déclarative dite aussi factuelle, propositionnelle ou descriptive (Bonnet et al. 2003) est la partie de connaissance qui décrit la réalité des choses. Elle contient les faits, les objets et les principes relatifs à un domaine donné (Cortada et Woods, 2000). Les taxonomies sont parmi les plus importantes formes de connaissances déclaratives (Milton, 2007).

#### **2.2.4. Connaissance procédurale**

La connaissance procédurale est la partie de connaissance qui répond à la question : « comment réaliser une tâche ? » (les conditions, les sous tâches). Elle correspond aux stratégies d'utilisation des connaissances déclaratives pour la résolution de problèmes. Selon (Ermine, 2000), la connaissance déclarative représente le 'savoir' alors que la connaissance procédurale, associée au savoir représente le 'savoir-faire'.

### **2.3. Connaissance scientifique**

La connaissance scientifique est la connaissance issue des travaux de recherche qui ont été évalués par des pairs et publiés dans des revues scientifiques. Elle a pour finalité d'expliquer et contrôler les phénomènes.

La majorité des connaissances scientifiques provient des laboratoires de recherches publiques, elles proviennent aussi des départements Recherche et Développement (R & D) des entreprises et des centres techniques. La connaissance issue des départements R&D des entreprises qui n'a pas été évaluée et publiée à cause de son caractère confidentiel n'est pas considérée comme scientifique. Une connaissance n'est scientifique qu'après sa publication dans une revue scientifique.

La connaissance scientifique est une connaissance explicite (Lam, 2000) car elle est codifiée et publiée dans des revues scientifiques.

La connaissance scientifique comprend les deux types de connaissances : déclarative et procédurale. La partie déclarative correspond aux travaux de recherches théoriques (les faits, les lois et les équations) et expérimentaux réalisés dans le but d'acquérir de nouvelles connaissances sur les fondements des phénomènes et des faits observables. La partie procédurale correspond aux travaux de recherche qui décrivent comment réaliser (étudier, mesurer, observer) les choses telle que les protocoles expérimentaux. Les connaissances déclaratives permettent d'accroître notre compréhension du monde et de changer notre perception de la réalité ; alors que les connaissances procédurales nous guident pour agir sur les objets du monde réel et ainsi les transformer.

La connaissance scientifique se rapporte à une réalité tangible, objective, mesurable et observable (Laurencelle, 2005). Pour être caractérisé, un objet d'étude scientifique doit être mesuré, observé et étudié.

### 3. Transfert des connaissances

Le transfert des connaissances est le processus par laquelle des connaissances sont transférées d'une source vers un récepteur. Son efficacité est étroitement liée au degré d'appropriation de la connaissance transférée par le destinataire (King 2006).

Selon (Nonaka et Takeuchi, 1995), le transfert de connaissances au sein d'une organisation est défini comme un processus en spirale où chaque type de connaissance peut être converti.

Quatre modes de conversions de connaissances ont été définis :

- Du tacite au tacite (socialisation) : la socialisation c'est la création des nouvelles connaissances tacites telles que les aptitudes techniques en partageant les expériences et le savoir-faire par l'observation, l'imitation et la pratique sans utilisation d'un langage verbalisé (apprendre quelque chose inconsciemment).
- De l'explicite au tacite (internalisation) : l'exécution d'une même tâche plusieurs fois conduit à un état d'apprentissage de connaissances explicites personnelles.
- De l'explicite à l'explicite (combinaison) : c'est le processus de création de connaissances explicites par l'échange et la combinaison d'autres connaissances explicites par exemple à travers des documents ou des réunions.
- Du tacite à l'explicite (externalisation) : c'est le processus de transformation de connaissances tacites en concepts explicites (modèles, métaphores, analogies) en utilisant des techniques d'acquisition et de représentation de connaissances.

Selon Argote et al. (2000), le transfert de connaissances est défini comme un échange dyadique où un destinataire bénéficie de l'expérience d'une source. Il considère que celle-ci est transférée si un réservoir de connaissances est déplacé d'un groupe vers un autre, ou quand un réservoir de connaissances d'un destinataire est modifié.

Davenport et Prusak, (2000), définissent le transfert de connaissances comme étant trois opérations : « Transfert = Transmission + Assimilation (et Utilisation) ». Cette définition implique que les connaissances à transférer soient transmises sous une forme adaptée au destinataire afin qu'elles puissent être assimilées pour ensuite pouvoir être utilisées. Dans la partie qui suit, les trois actions du transfert, à savoir, la transmission, l'assimilation et l'utilisation seront brièvement définies.

### **3.1. Transmission de connaissances**

La transmission consiste à transmettre des connaissances de la source au destinataire à travers un média. Aujourd'hui différents médias sont utilisés pour transférer les connaissances scientifiques de l'université vers l'entreprise. Trois familles de médias de transfert peuvent être distinguées : le document écrit tel que les publications scientifiques, le discours oral tel que les conférences-séminaires et les pratiques guidées telles que le recrutement d'un jeune diplômé.

Plusieurs études ont été réalisées pour examiner les caractéristiques des différents médias par lesquels les connaissances scientifiques sont transmises de l'université vers l'entreprise (Cohen et al. 1998, 2002 ; Agrawal et Anderson, 2000 ; Colyvas et al. 2000 ; Bekkers et Freitas Bodas, 2008). La plupart de ces études sont basées sur des enquêtes réalisées à partir d'échantillons d'industriels de différents domaines. Cohen et al. (2002) par exemple ont évalué l'importance des médias de transmission existants dans plusieurs industries (destinataire de connaissances). Les médias considérés incluent les publications, les brevets, les conférences/séminaires, les échanges informels, le recrutement de diplômés, les contrats de recherche et la consultance. Les résultats de l'enquête montrent que les publications scientifiques, les conférences/séminaires, les échanges informels d'information et la consultance sont plus importants que les autres médias. À partir de cette enquête, Cohen et al. (2002) ont constaté que les industriels ont une préférence pour les médias de transmission dits 'public' ou de la 'science ouverte (open science)' qui sont plus économiques.

### **3.2. Assimilation de connaissances**

L'assimilation par une entreprise de connaissances transférées dépend principalement de sa capacité d'absorption. Selon Cohen et Levinthal (1990), la capacité d'absorption est le potentiel des individus d'une organisation à reconnaître la valeur d'une nouvelle connaissance, à l'assimiler et à l'appliquer pour un objectif de commercialisation. Elle dépend de la source de la nouvelle connaissance et des connaissances préalables des individus. Mowery et Oxley (1995) définissent la capacité d'absorption comme un ensemble de compétences nécessaires pour faire face à la composante tacite des connaissances transférées. Kim (1998) définit la capacité d'absorption comme la capacité à apprendre et résoudre des problèmes. Zahra et George (2002) ont proposé une nouvelle conceptualisation de la capacité d'absorption en se basant sur les travaux antérieurs et principalement le travail de Cohen et Levinthal (1990). Ils définissent la capacité d'absorption comme la capacité des individus

d'une organisation à acquérir, assimiler, transformer et exploiter les nouvelles connaissances. À partir de cette définition, Zahra et George (2002) ont distingué deux types de capacité d'absorption : la capacité potentielle et la capacité réalisée. La capacité potentielle regroupe l'acquisition et l'assimilation et la capacité réalisée regroupe la transformation et l'exploitation. Un processus de transfert de connaissances concerne ces deux types de capacité. La capacité potentielle permet l'assimilation des connaissances transférées alors que la capacité réalisée permet l'utilisation des connaissances. Dans ce paragraphe, les deux parties « l'acquisition et l'assimilation » de la capacité potentielle sont présentées comme suit :

**L'acquisition** des connaissances par un individu implique qu'il soit en capacité d'identifier et de reconnaître l'intérêt des nouvelles connaissances. Elle dépend des expériences et connaissances préalables de l'individu. En effet, l'accumulation des connaissances préalables augmente l'aptitude à stocker de nouvelles connaissances en mémoire. Ainsi, la transmission des connaissances préalables avec les connaissances à transférer peut améliorer l'acquisition de ces dernières.

**L'assimilation** des nouvelles connaissances nécessite une capacité à les analyser, les interpréter et les comprendre (Szulanski, 1996). Elle permet d'étendre le niveau de connaissances du destinataire sur des sujets qui l'intéressent. Pour rendre les connaissances assimilables, elles doivent être reformulées en fonction du destinataire visé (ici l'entreprise). La reformulation peut se faire sous différentes formes : adaptation, traduction, réécriture, représentation.

La saturation de la mémoire de travail du destinataire (surcharge cognitive) et la désorientation peuvent altérer l'acquisition et l'assimilation (Pollock et al. 2002). Ces deux concepts doivent être alors pris en compte lors de la reformulation des connaissances à transférer.

### **3.3. Utilisation de connaissances**

L'objectif finalisé du transfert de connaissances est que ces dernières soient utilisées (Davenport et Prusak, 2000). Selon Graham et al. (2006), l'utilisation des connaissances est le processus par lequel elles sont mises en œuvre en pratique. Selon Zohra et George (2002), l'utilisation de nouvelles connaissances par une entreprise dépend de sa capacité d'absorption réalisée. Elle permet à l'entreprise d'affiner et étendre ses compétences et d'en créer des nouvelles en intégrant les connaissances absorbées dans ses opérations (Cohen et Levinthal, 1990).

## **4. Acquisition des connaissances**

L'acquisition des connaissances est le processus qui consiste à recueillir, extraire et modéliser les connaissances (Milton, 2007) afin qu'elles puissent être utilisées via des systèmes à base de connaissances. Dans l'ingénierie de connaissances, l'acquisition a principalement pour but le développement d'un système à base de connaissances. Selon Gómez-Pérez (2010), elle constitue l'une des tâches les plus difficiles lors de la création d'une base de connaissances. D'ailleurs, elle est considérée comme le 'goulot d'étranglement' du développement de système à base de connaissances. Dans le domaine de la gestion des connaissances, l'acquisition a pour but la capitalisation et le partage des connaissances au sein d'une organisation. Dans ce contexte, des méthodes de gestion de connaissances ont été proposées afin de faciliter l'acquisition des connaissances.

### **4.1. Principales méthodes de gestion de connaissances**

De nombreuses méthodes de gestion des connaissances ont été développées. Ces méthodes ont pour objectif le recueil et l'explicitation des connaissances d'une organisation (savoir et savoir-faire) dans un support informationnel afin de faciliter leur accès, leur partage et leur réutilisation (Ermine, 2003). Deux classes de méthodes peuvent être distinguées : les méthodes dédiées à la capitalisation des connaissances produites et acquises au cours de la création des projets (Dieng-Kuntz et al. 2001) tels que IBIS (Issue-Based Information Systems) (Conklin et al. 1991) ou QOC (Question – Option – Criteria) (MacLean et al. 1991) et les méthodes empruntées à l'ingénierie des connaissances et adaptées à la gestion de connaissances telles que MASK (Méthode d'acquisition et de structuration des connaissances) (Ermine, 2002) ou CommonKads ( Common Knowledge Analysis and Design System) (Schreiber et al. 1999).

La plupart de ces méthodes de gestion de connaissances sont basées sur la construction de modèles par raffinements successifs à partir d'un ensemble de méta-modèles génériques ou squelettes de modèles prédéfinis (acquisition dirigée par les modèles). Les méta-modèles guident l'ingénieur de connaissances à sélectionner les connaissances utiles parmi celles explicitées auprès des experts. Cependant, ils peuvent être insuffisants et/ou inadaptées à des types de connaissances autres que la connaissance experte.

Les méthodes de gestion de connaissances sont conçues spécifiquement pour l'acquisition de la connaissance experte. Donc, elles sont difficilement adaptables voire inadaptées à l'acquisition de la connaissance scientifique. En effet, la connaissance experte et la

connaissance scientifique sont de nature différente : la connaissance experte est une connaissance dynamique qui évolue rapidement dans le temps (Nonaka et Takeuchi, 1997) alors que la connaissance scientifique est basée sur des vérités qui sont peu dynamiques et évolutives telles que les lois physiques et mathématiques. Des tentatives d'adaptation de la méthode MASK pour la formalisation des connaissances scientifiques ont été proposées par Le Blanc et Claverie, (2000) et Raboutet et al. (2005).

## **4.2. Etapes d'acquisition des connaissances**

L'acquisition est un processus itératif comportant deux étapes : 1) le recueil de connaissances à partir des sources disponibles et 2) l'analyse et la modélisation des connaissances recueillis afin d'en permettre leur validation par les experts (Milton, 2007). Ces deux étapes sont brièvement décrites dans la partie suivante.

## **4.3. Recueil des connaissances**

L'étape du recueil des connaissances commence par la familiarisation avec le domaine des connaissances à recueillir et l'identification de différentes sources de connaissances. Les principales sources de connaissances sont les sources documentaires (articles, documents), les sources humaines (les experts) et les bases de données. Plusieurs techniques de recueil et d'extraction de connaissances ont été développées au cours de ces dernières années telles que les interviews et les verbalisations rétrospectives. (Dieng-Kuntz et al. 2001).

Dans ce manuscrit, les techniques d'interviews, de modélisation des connaissances et d'observation directe sont présentées.

### **4.3.1. Techniques d'interviews**

Trois types d'interviews peuvent être distingués : les interviews structurées ou directives, les interviews non structurées ou libres et les interviews semi-structurées.

L'interview structurée est composée d'une série de questions prédéfinies avec un choix de réponses limitées. L'objectif de ce type d'interview est de recueillir des connaissances sur des points précis du domaine étudié.

L'interview non structurée commence par une question ouverte sur le sujet à aborder conduisant à une discussion libre. Ce type d'interview permet à l'interviewé de s'exprimer librement et d'apporter tous les éléments de réponses qu'il désire. Le rôle de l'intervieweur se résumant à recentrer la discussion sur le sujet de l'interview. Ce type d'interview peut se

révéler très utile dans les premiers stades de recueil, pour délimiter le domaine de connaissances.

L'interview semi-structurée est composée de questions ouvertes et fermées : les questions ouvertes permettent à l'expert d'exprimer librement son point de vue sur les sujets abordés. Les questions fermées permettent de préciser les points que l'intervieweur juge important à expliciter.

Selon (Milton, 2007), les techniques d'interview et plus précisément les interviews libres et semi-structurées sont les techniques les plus adaptées au recueil de connaissances explicites procédurales ou déclaratives.

#### **4.3.2. Techniques de modélisation des connaissances**

Les techniques de modélisation impliquent l'utilisation des modèles de connaissances (k-modèles) tels que les arbres, les cartes et les frames (une description complète sur les modèles de connaissances est donnée dans la section 4.4.1) avec les experts pour guider la phase de recueil (Milton, 2007). Pendant le recueil, des k-modèles intermédiaires sont présentés aux experts lors des entretiens pour identifier les connaissances nécessaires mais manquantes et ensuite les recueillir. Les techniques de modélisation aident l'expert à exprimer ce qu'il sait d'une façon claire et lui permettent de se concentrer uniquement sur les connaissances nécessaires sans aller au-delà.

#### **4.3.3. Techniques d'observation**

La technique d'observation consiste à suivre, en temps réel, l'expert dans l'exercice de ses fonctions afin de recueillir ses connaissances tacites (Dieng-Kuntz et al. 2001 ; Akerkar et Sajja, 2010). L'ingénieur de connaissances doit demander à l'expert tout d'abord d'expliquer le contexte et l'objectif de son activité et ensuite, observer et enregistrer le déroulement de l'activité, sans aucune intervention de sa part. L'expert fait face à une situation de réflexion à voix haute de son activité quotidienne.

### **4.4. Analyse et modélisation des connaissances**

L'étape d'analyse et de modélisation des connaissances est effectuée après chaque séance de recueil auprès d'un expert. Pendant cette étape, le compte rendu de l'interview est analysé et les connaissances extraites sont modélisées en fonction des modèles de connaissance les plus adaptés. Les modélisations sont ensuite présentées à l'expert pour une validation.

Plusieurs modèles de connaissances ont été proposés par Milton (2007). Ces modèles sont décrits dans la prochaine partie.

#### 4.4.1. Modèles de connaissances, formalismes usuels au sens de Milton (2007)

##### 4.4.1.1. Arbre

Un arbre un graphe connexe acyclique, composé d'un ensemble de nœuds organisés de manière hiérarchique à partir d'un nœud distingué appelé racine. Les nœuds sont liés entre eux par des liens. Chaque nœud est lié à un seul nœud père et peut avoir plusieurs nœuds fils. Enfin, les nœuds et les liens peuvent être typés afin de donner plusieurs types d'arbres. Ce type de modèle permet de représenter les connaissances qui ont une structure arborescente : arbre de concepts, arbre de composition, arbre de processus, arbre des causes, arbre mixte, etc. Dans un arbre de concepts, les nœuds représentent les concepts et les liens représentent les relations entre les concepts. La principale caractéristique de ce type d'arbre est que tous les liens sont de type est-un. De cette manière, les concepts dans l'arbre sont organisés en une hiérarchie allant du plus général au plus spécifique ce qui aboutit au développement d'une taxonomie de concepts (Figure 2).

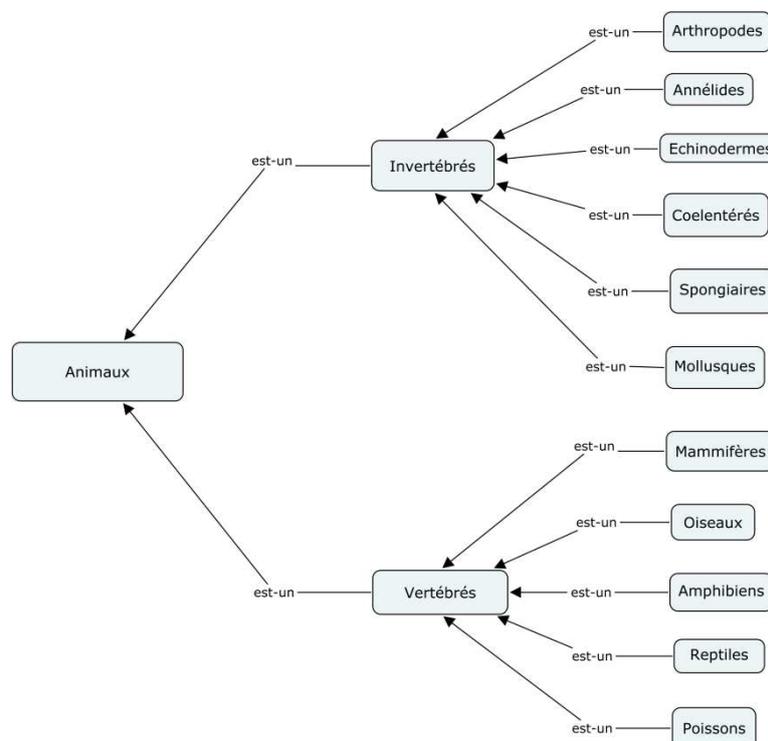


Figure 2: Exemple d'un arbre de concepts

Un arbre de composition est caractérisé par le fait que toutes les relations sont de type a-pour-partie. Ce type d'arbre est utilisé pour représenter les éléments et les sous-éléments constitutifs d'un concept (Figure 3).

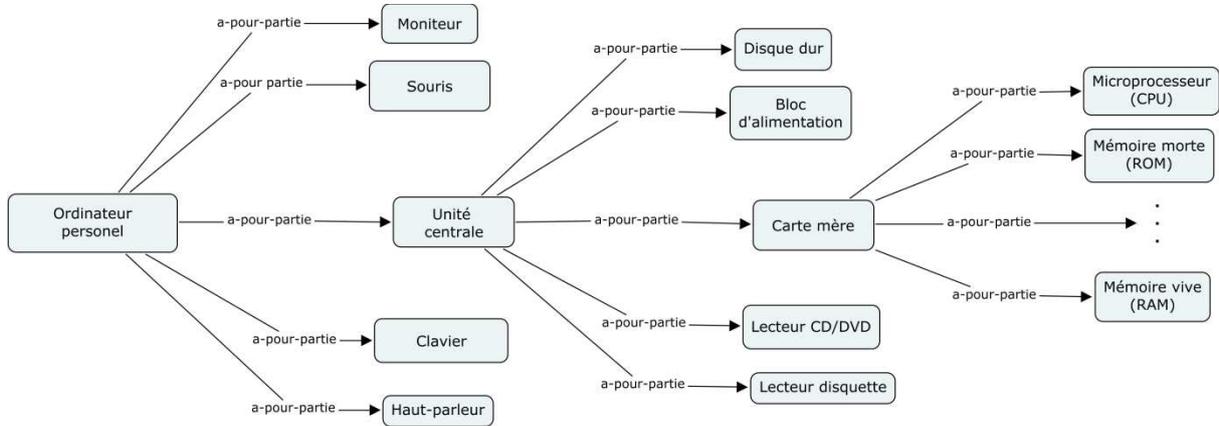


Figure 3 : Exemple d'un arbre de composition

Un arbre de processus est une forme particulière d'un arbre de composition où tous les nœuds représentent des tâches. Ce type d'arbre représente comment une tâche complexe se décompose en sous tâches et sous sous tâches (Figure 4).

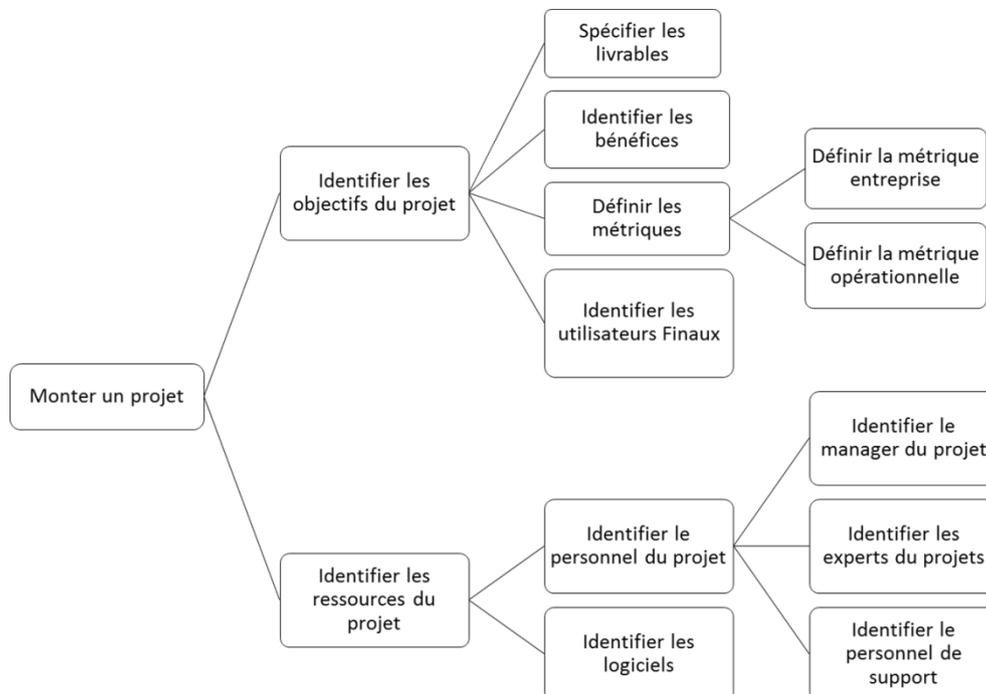


Figure 4 : Exemple d'un arbre de processus

Un arbre de causes est un arbre où tous les liens sont de type est-causé-par et un arbre mixte combine plusieurs types de liens (est-un, partie-de, causé-par..).

#### 4.4.1.2. Carte

Une carte est un graphe où les connaissances sont représentées sous forme d'un réseau de nœuds et d'arcs. Les cartes conceptuelles et les cartes de processus sont les types de cartes les plus importants (Milton, 2007). Les nœuds d'une carte conceptuelle représentent les concepts et les arcs représentent les relations qui peuvent exister entre les concepts. Les concepts dans une carte conceptuelle peuvent être liés par plusieurs types de relations. Les concepts et les relations sont décrits par des termes d'un vocabulaire. La Figure 5 présente un exemple de carte conceptuelle.

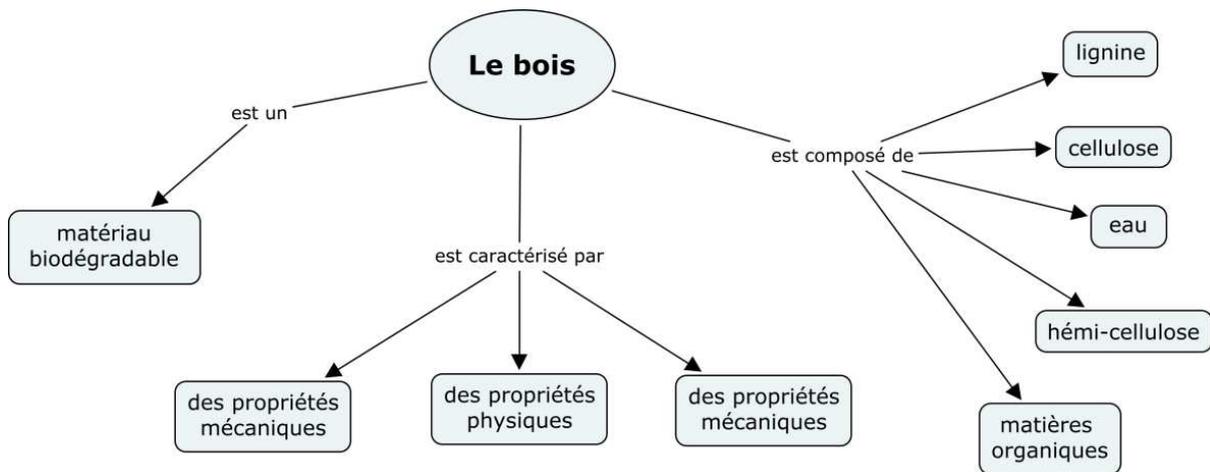


Figure 5 : Exemple de carte conceptuelle

Une carte de processus représente les connaissances relatives à l'exécution d'une tâche (processus, activité). Ces connaissances concernent les sous-tâches d'une tâche et les ressources nécessaires pour leur exécution. Donc, une carte de processus représente une succession de sous-tâches qui sont structurées suivant leur ordre d'exécution via la relation est-suivie-par. D'autres concepts liés aux tâches tels que les ressources nécessaires pour la réalisation des tâches peuvent être représentés dans une carte de processus.

#### 4.4.1.3. Frame

Un frame est un tableau composé de deux colonnes montrant les propriétés (attributs et valeurs) d'un concept. La colonne gauche représente les attributs et la colonne droite représente leurs valeurs associées (Figure 6)

| Sapin                        |              |
|------------------------------|--------------|
| <b>Famille</b>               | PINACEAE     |
| <b>couleur</b>               | Blanc crème  |
| <b>Aubier</b>                | Non distinct |
| <b>Grain</b>                 | moyen        |
| <b>Fil</b>                   | droit        |
| <b>Contrefil</b>             | absent       |
| <b>Conservation en forêt</b> | moyenne      |

Figure 6 : Exemple d'une Frame

#### 4.4.1.4. Matrice

Deux types de matrices peuvent être distingués : les matrices d'attributs et les matrices de relation. Dans une matrice d'attributs, les colonnes représentent les concepts et les lignes les attributs et les valeurs. Elle permet de représenter les propriétés (attributs et valeurs) associés à un ensemble de concepts (Figure 7).

|          |          | Transparence |             |             | Niveau d'alcool |                | Température de service |             | Pétilllement |               |
|----------|----------|--------------|-------------|-------------|-----------------|----------------|------------------------|-------------|--------------|---------------|
|          |          | Opaque       | Semi-opaque | Transparent | Alcoolique      | Non-alcoolique | Servi chaud            | Servi froid | Pétillant    | Non-pétillant |
| Boissons | Limonade |              |             | ■           |                 | ■              |                        | ■           | ■            |               |
|          | Eau      |              |             | ■           |                 | ■              |                        | ■           |              | ■             |
|          | Café     | ■            |             |             |                 | ■              | ■                      |             |              | ■             |
|          | Vodka    |              |             | ■           | ■               |                |                        | ■           |              | ■             |

Figure 7: Exemple d'une matrice d'attributs (traduite de (Milton, 2007))

La matrice des relations est une représentation de la relation spécifique entre deux ensembles de concepts. La Figure 8 présente un exemple d'une matrice de relation. L'exemple montre le lien entre les produits connexes et les voies de valorisation via la relation sont-utilisés.

|                      |                         | Produits connexes  |         |                     |                                  |                     |
|----------------------|-------------------------|--------------------|---------|---------------------|----------------------------------|---------------------|
|                      |                         | Plaquettes de bois | Écorces | Copeaux de bois pur | Chutes de panneaux de particules | Dosses & délignures |
| Voie de valorisation | Fabrication de panneaux | ■                  |         | ■                   | ■                                | ■                   |
|                      | Compostage              |                    | ■       | ■                   |                                  |                     |
|                      | Fabrication de papier   | ■                  |         | ■                   |                                  | ■                   |
|                      | Paillage                |                    | ■       |                     |                                  |                     |
|                      | Fumage                  |                    |         | ■                   |                                  |                     |

Figure 8 : Exemple d'une matrice de relation

#### 4.4.1.5. Page de connaissances

Une page de connaissances permet de regrouper des connaissances associées à un concept ; elles peuvent être sous forme de texte, photos, images, sons, vidéo etc.

#### 4.4.1.6. Ligne du temps

Une ligne du temps est un diagramme où le temps est représenté sur l'axe des abscisses et évolue de gauche à droite à partir d'un temps  $t_0$  et les concepts sur l'axe des ordonnées à travers des nœuds. Ce type de formalisme permet de visualiser dans le temps les diverses tâches liés à une activité ou un projet (ex : Gantt).

#### 4.4.2. Formalisme de représentation d'un processus multi-étapes

De plus des modèles décrites par Milton (2007), Ndiaye et al. (2009) ont développé un formalisme pour représenter un processus multi-étapes (Figure 9). Le principe de ce formalisme est présenté ci-dessous :

- le nombre d'étapes n est fini ;

- les étapes  $i$  ( $i=1, n$ ) sont des opérations unitaires ordonnées, caractérisées par des variables d'état, ayant chacune des données en entrée  $Y_{i-1}(\{y_{i-1_1}, \dots, y_{i-1_u}\})$  et un résultat  $Y_i(\{y_{i_1}, \dots, y_{i_v}\})$  en sortie, les variables d'état ;
- une opération unitaire est contrôlée par des variables spécifiques dites variables de contrôle de l'opération unitaire, notées  $X_i(\{x_{i_1}, \dots, x_{i_a}\})$  ;
- les données et résultats des opérations unitaires sont décrits en fonction de variables d'état  $Y_i$
- le résultat d'une opération unitaire  $i$  est fonction des données  $Y_{i-1}$  et de ces variables de contrôle  $X_i$ ;
- le résultat d'une étape  $i$  est une donnée pour l'étape suivante  $i+1$ .

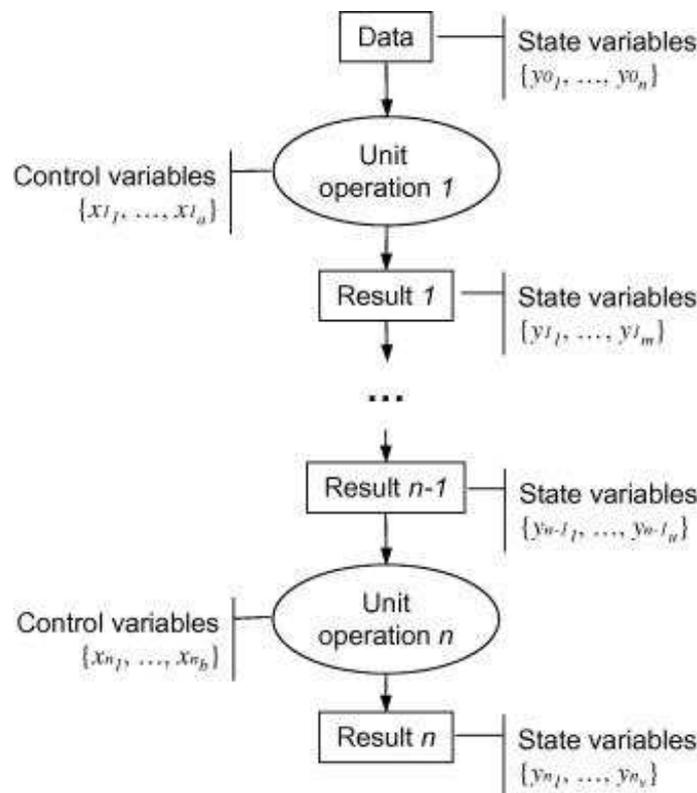


Figure 9 : Formalisme de représentation d'un processus multi-étapes (Ndiaye et al. 2009)

## 5. Représentation des connaissances en vue de leur transfert

La représentation des connaissances se situe au carrefour de plusieurs disciplines telles que les sciences cognitives et l'Intelligence Artificielle. En sciences cognitives, la représentation des connaissances consiste à extérioriser la représentation mentale créée par un individu, sa perception de la réalité, en un modèle externe (Helbig, 2006). En Intelligence Artificielle, le

but principal de la représentation des connaissances est d'organiser et de stocker les connaissances afin qu'elles puissent être utilisées et partagées.

Dans un processus de transfert de connaissances, la représentation des connaissances consiste en la reformulation des connaissances à transférer en une forme facilement accessible, compréhensible et interprétable par le destinataire du transfert ; l'objectif étant que le destinataire puisse acquérir et assimiler les connaissances transférées.

Dans le domaine de l'Intelligence Artificielle, les langages de représentations de connaissances ont été classés selon leur degré de formalisme : langages informels, langages semi-formels et langages formels (Uschold et Gruninger, 1996). Les langages informels tels que le langage naturel possèdent un degré d'expressivité très élevée et un degré d'ambiguïté compréhensible par l'être humain mais difficilement traitable par des systèmes informatiques. Les langages semi-formels tels que les cartes conceptuelles et les cartes heuristiques permettent d'obtenir des représentations moins ambiguës et plus synthétiques que les langages informels. Les langages formels tels que les Logiques de Descriptions (LD) possèdent une expressivité réduite par rapport aux langages informels mais sans aucune ambiguïté ce qui permet le traitement automatique des connaissances représentées. Parmi ces trois types de langages, les langages semi-formels sont les plus adaptés au transfert de connaissances. En effet, ces langages possèdent une souplesse grammaticale et sémantique qui rend leur utilisation conviviale (Héon, 2010). Ils sont basés sur l'utilisation de formats graphiques pour la représentation des connaissances, ce qui facilite leur compréhension et leur transfert. La partie suivante présente le langage semi-formel de carte conceptuelle qui pourra être utilisé pour le transfert des connaissances.

## **5.1. Carte conceptuelle**

Une carte conceptuelle est un outil graphique utilisé pour l'organisation et la représentation des connaissances (Cañas et al. 2004). Elle est composée de concept(s) interconnectés par des liens. Chaque lien porte une étiquette textuelle permettant de préciser le type de relation entre les concepts (Novak et Cañas, 2006). Cette modalité de représentation graphique de la connaissance contribue à : 1) expliciter le contenu des connaissances traitées, en particulier lorsque celles-ci sont de structures complexes, 2) dépasser les limites descriptives du langage écrit et 3) promouvoir un parcours graphique.

Les concepts dans une carte peuvent être structurés de plusieurs manières. Les structures hiérarchiques et en réseau sont parmi les plus usuelles. Dans une structure hiérarchique, les concepts sont organisés de manière arboréscence à partir d'un concept racine. Par contre, dans

une structure en réseau, les concepts peuvent être reliés à plusieurs autres concepts par différents types de relations. Amadiou et al. (2009a, 2009b) ont étudié l'effet de ces deux structures et les connaissances préalables sur la compréhension, la désorientation (Conklin, 1987) et la charge cognitive (Chanquoy et al. 2007) au cours d'une tâche d'apprentissage. Leurs résultats montrent que la structure hiérarchique de cartes conceptuelles, pour un apprenant avec des faibles connaissances préalables, améliore les performances de compréhension et réduit l'effort mental et la désorientation en la comparant à une structure en réseau. Cependant, pour ceux qui ont des connaissances préalables élevées, la structure hiérarchique réduit l'effort mental par rapport à une structure en réseau. Concernant la compréhension et la désorientation, aucune différence n'a été constatée entre une structure hiérarchique et une structure en réseau de carte conceptuelle.

## **6. Ontologies et représentation des connaissances**

Dans le cadre du transfert de connaissances, l'utilisation des ontologies est très pertinente. Elles offrent au destinataire, à travers la représentation formelle des connaissances transférées, des outils automatisés qui l'aident à la recherche de la connaissance pertinente. Ceci favorise l'appropriation et l'assimilation des connaissances transférées. En effet, les ontologies permettent de représenter les connaissances d'une manière formelle, ce qui permet le traitement automatisé des celles-ci par des systèmes informatiques tels que par exemple la recherche sémantique d'informations. La recherche d'information guidée par une ontologie est basée principalement sur le type des concepts et des relations ontologiques existantes entre ces derniers. Elle dépend de l'expressivité du langage de représentation des connaissances employé dans l'ontologie.

La première section de cette partie présente une définition générale de l'ontologie ; la deuxième section aborde les ontologies fondationnelles via l'ontologie DOLCE ; et la dernière section présente un bref état de l'art sur les relations ontologiques et leurs propriétés algébriques.

### **6.1. Définition générale de l'ontologie**

L'ontologie est la branche de la philosophie concernant l'étude de ce qui est (Guarino et al. 2009). Elle est apparue en informatique dans les courants des années 1990, à la suite des travaux de Gruber (1993) qui en donne sa première définition : *'Une ontologie est une spécification explicite d'une conceptualisation'*. L'importance des ontologies s'est considérablement développée dans le domaine de l'ingénierie des connaissances et de

l'intelligence artificielle. Les premières utilisations des ontologies dans ces domaines se situaient dans des démarches d'acquisition de connaissances pour le développement de systèmes à base de connaissances et elles ont évoluées vers la représentation et le partage des connaissances (Guarino, 1995 ; Shah et Musen, 2009 ; Staab et Studer, 2009).

## **6.2. Ontologies fondationnelles**

### **6.2.1. Généralités sur les ontologies fondationnelles**

Les ontologies fondationnelles sont des ontologies de haut niveau qui reposent sur des théories ontologiques étudiées dans l'ontologie formelle. Elles sont apparues suite au besoin de la communauté de l'intelligence artificielle de prendre en compte les analyses philosophiques pour résoudre le problème de modélisation de la réalité selon le paradigme logique. Les ontologies fondationnelles fournissent des primitives de représentation de connaissances standardisées utilisables pour la conception des ontologies de domaine (Lando et al. 2007). Les primitives permettent également l'interopérabilité sémantique dans les systèmes d'information distribués (Gunnar et al. 2012). Les ontologies fondationnelles vont être abordées ici via l'ontologie DOLCE.

### **6.2.2. DOLCE**

DOLCE (Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering) fait partie de la bibliothèque Wonder Web des ontologies fondationnelles (WFOL : WonderWeb Foundational Ontologies Library) (Masolo et al. 2003). DOLCE vise à appréhender les catégories ontologiques fondamentales du langage naturel et du bon sens humain. Elle possède une axiomatisation riche et rigoureuse, et suit une approche descriptive multiplicative (Masolo et al. 2003). Une approche descriptive c'est-à-dire que les entités sont des notions descriptives et considérées comme des artefacts cognitifs dépendant de la perception humaine et les conventions sociales (une sorte de métaphysique cognitive). Une approche multiplicative c'est-à-dire que les entités peuvent être co-localisées dans le même espace-temps.

Selon la méthodologie OntoClean, tous les concepts de l'ontologie DOLCE sont rigides.

DOLCE est une ontologie fondationnelle de Particulars<sup>1</sup>, dans le sens où son domaine du discours ne concerne que les Particulars. L'universel est utilisé uniquement pour organiser et classer les particuliers (Masolo et al. 2003). La distinction fondamentale entre Particulars

---

<sup>1</sup> L'ontologie DOLCE n'existe qu'en langue anglaise donc, les étiquettes anglaises des entités conceptuelles ont été conservées

et Universal est comprise à travers la relation d'instanciation. En effet, les Particulars sont des entités qui ne possèdent pas d'instances (exemple : nom propre), par contre les universels peuvent avoir des instances.

DOLCE est basée sur la distinction fondamentale entre Endurants (ED) et Perdurants (PD) (Figure 10). La principale différence entre ED et PD est leur comportement dans le temps : les ED sont des entités qui existent dans le temps avec une présence entière à chaque instant (ex : le présent manuscrit) alors que les PD sont des entités qui se produisent dans le temps et s'étendent en accumulant des parties temporelles (ex : votre lecture du manuscrit).

Il est distingué parmi les Endurants les Physical Endurant (PED) des Non-physical Endurant (NPED) selon qu'elles aient des qualités spatiales ou non. Les PED sont divisés en Amount of Matter (M), Physical Object (POB) et Feature (F). Cette distinction est basée sur le critère d'unicité (Guarino et Welty, 2000). Les M ne possèdent pas de critère d'unicité, ils sont méréologiquement invariants : leur identité change s'il y a modification de leurs parties. Les POB ont un critère d'unicité : ils admettent des modifications de leurs parties en gardant leur identité.

Selon que les Perdurants soient de nature cumulative ou pas, DOLCE distingue les événements (EV) des Statives (STV). Les EV sont divisés en Achievement (ACH) et Accomplishment (ACC) selon qu'ils soient atomiques ou pas et les STV sont divisés en state et Process (PRO). Les ED et les PD peuvent être caractérisés suivant leurs qualités (Qualities), qui sont des entités de base perceptibles ou mesurables : formes, couleurs, tailles, odeurs, poids, longueurs, etc. Les qualités sont divisées en Temporel Qualities (TQ), Physical Qualities (PQ) et Abstract Qualities (AQ) qui sont respectivement intrinsèques aux ED, PED et NPED.

Les entités qui n'ont pas des qualités temporelles ou spatiales sont considérées comme étant Abstract (AB).

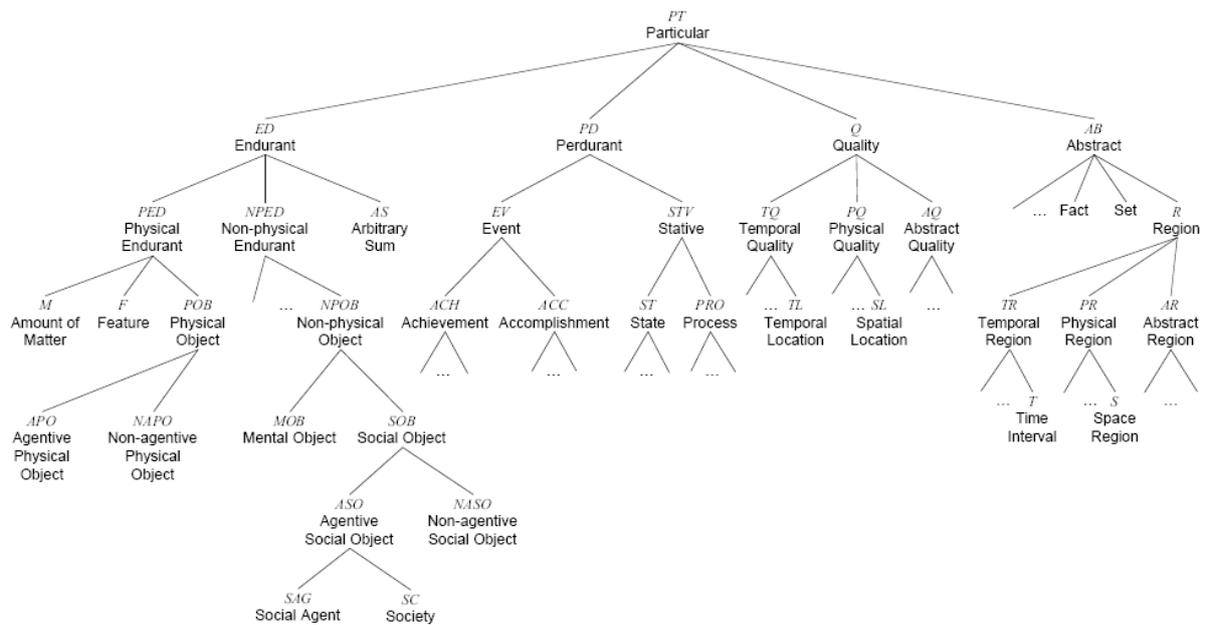


Figure 10: La taxonomie DOLCE (Masolo et al. 2003)

### 6.3. Relations ontologiques

#### 6.3.1. Modélisation de la spécialisation : la relation est-un

La spécialisation est la méthode la plus intuitive pour organiser les connaissances. Elle permet d'organiser (du général au spécifique) les concepts d'un domaine via la relation taxonomique est-un (Brachman, 1983). La relation taxonomique est-un dite aussi relation de subsumption (Cornuéjols et Miclet, 2011) permet la création d'une structure arborescente hiérarchique, appelée taxonomie, pour organiser les concepts d'un modèle. Une telle hiérarchie est utile pour présenter des vues limitées du modèle, facilement interprétable par l'humain (Welty et Guarino, 2001). Il est à noter aussi que la relation taxonomique est-un est une relation d'ordre partiel, donc elle est reflexive, transitive et anti-symétrique (Guarino et Welty, 2000). Les propriétés algébriques qu'elle possède permettent d'enrichir la sémantique des connaissances modélisées. Par exemple, à travers la transitivité, les propriétés des concepts les plus généraux sont propagées implicitement vers les plus spécifiques par héritage. Napoli (1992) identifie trois conceptions de la subsumption basées sur la manière dont les concepts d'un domaine sont décrits.

- **Une approche intentionnelle** : un concept A subsume un concept B si tout ce qui est décrit par B est aussi représenté par la description plus générale de A.
- **Une approche extensionnelle** : Un concept A subsume un concept B si et seulement si l'ensemble des instances de A est inclus dans l'ensemble des instances de B

- **Une approche hybride** : un concept A subsume un concept B si les définitions de A et de B impliquent logiquement que toute instance de B est également une instance de A

Une taxonomie improprement structurée peut engendrer des problèmes de cohérence (réduction ou surcharge de sens), ce qui conduit à un problème de compréhension des connaissances transférées.

Pour éviter ce genre de problème, Guarino et Welty (2003) ont développé la méthode OntoClean fournissant des techniques rigoureuses pour analyser l'adéquation ontologique des relations taxonomiques. Elle est basée sur des méta-propriétés (identité, rigidité, unité et dépendance) des concepts et les contraintes qu'elles induisent pour vérifier la cohérence de la hiérarchie des concepts et la validité d'une taxonomie (Guarino et Welty, 2000) :

- **L'identité** : l'identité permet de distinguer une instance de concept d'une autre instance de ce concept. Elle ne doit pas être confondue avec l'appartenance permettant de déterminer si un élément est une instance d'un concept. OntoClean distingue les concepts qui portent un critère d'identité (+I) et ceux qui n'en portent pas (-I). Elle distingue également les concepts qui fournissent un critère d'identité (+O) de ceux qui n'en fournissent pas (-O). Le critère d'identité (+I) en tant que méta-propriété est hérité par les concepts qui sont subsumés par le concept qui le porte. Un concept qui porte un critère d'identité (+I) ne peut pas subsumer un concept qui ne porte pas de critère d'identité (-I). Deux concepts avec deux critères d'identité incompatibles sont disjoints.
- **La rigidité** : un concept est rigide (+R) s'il est nécessaire à toutes ses instances, c.-à-d. une instance d'un concept rigide reste toujours une instance de ce concept dans tous les mondes possibles. Dans le cas où, le concept n'est pas nécessaire pour toutes ses instances alors il est considéré comme non rigide (-R). Il est aussi à noter qu'un concept peut être anti-rigide (~R) s'il est optionnel pour toutes ses instances. Un concept anti rigide (~R) ne peut pas subsumer un concept rigide (+R).
- **L'unité** : l'unité permet de distinguer les parties d'un concept du reste du monde. Un concept est un concept unité (+U) si, pour chacune de ses instances, les différentes parties de l'instance sont liées par une relation qui ne lie pas d'autres instances de concepts. Un concept qui porte un critère d'unité (+U) ne peut pas subsumer un concept qui ne porte pas de critère d'unité (-U). Un concept qui porte un critère d'anti-unité (~U) ne peut pas subsumer un concept qui porte un critère d'unité (+U).

- **La dépendance** : un concept C dépend d'un concept  $C_1$  si et seulement si pour toute instance de C, il existe nécessairement une instance de  $C_1$ . Un concept dépendant (+D) ne peut pas subsumer un concept indépendant (-D).

Les méta-propriétés avec les contraintes qu'elles induisent fournissent des outils ontologiques formels pour assurer la cohérence de la hiérarchie des concepts et pour tester et valider un choix de modélisation.

### 6.3.2. Modélisation de la composition : Méréologie

La méréologie, également nommée la théorie des parties, est une branche de la philosophie qui étudie les relations ontologiques entre un tout et les parties qui le composent. La relation entre un tout et ses parties, appelée partie-de, a reçu une attention considérable en intelligence artificielle (Guizzardi, 2005 ; Schulz et al. 2000 ; Motschnig-Pitrik et Kaasboll, 1999) et en sciences cognitives (Winston et al. 1987 ; Odell, 1998 ; Gerstl et Pribbenow, 1995 ; Keet et Artale, 2008). De ce fait, plusieurs taxonomies de relations partie-de ont été proposées afin de clarifier la sémantique de ces relations. La première proposition de taxonomie de relation partie-de a été réalisée par Winston et al. (1987) pour expliquer l'utilisation du terme 'part-of' et ses dérivés par un anglophone ordinaire. Ils ont définis six types de relation partie-de (Tableau 1) en s'appuyant sur trois critères : la fonctionnalité (La partie du tout a-t-elle une fonction vis-à-vis du tout ?), la similarité ou l'homéomérité (la partie et le tout sont-ils matériellement identiques ?) et la séparabilité (la partie et le tout sont-ils séparables). Cette proposition contribue à distinguer les différentes relations qui lient un tout à ses parties. Néanmoins, la description des notions de fonctionnalité, de similarité et de séparabilité a été basée sur des exemples linguistiques de l'utilisation du terme anglais 'part-of' sans prendre en compte l'adéquation ontologique de ces notions. Selon Guizzardi (2005), la notion de séparabilité employée par Winston et al. (1987) diffère de celle considérée en ontologie. La séparabilité dans cette dernière est basée sur la dépendance existentielle<sup>2</sup> entre le tout et sa partie alors que la séparabilité proposée par Winston et al. (1987) est basée sur le fait que la partie du tout est physiquement liée ou non au tout. Dans ce dernier cas, la séparabilité ne peut s'appliquer que sur les objets physiques (Gerstl et Pribbenow, 1995).

---

<sup>2</sup> X dépend existentiellement de Y si et seulement si Y doit exister lorsque X existe (Guizzardi, 2005)

Tableau 1: Les six relations partie-de définies par (Winston et al., 1987)

| Type de relation | Propriétés     |            |              | Exemples     |
|------------------|----------------|------------|--------------|--------------|
|                  | Fonctionnalité | Similarité | séparabilité |              |
| Élément/objet    | +              | -          | +            | Roue-voiture |
| Membre/ensemble  | -              | -          | +            | Arbre-forêt  |
| Portion/masse    | -              | +          | +            | Part-gâteau  |
| Matière/objet    | -              | -          | -            | Lait-yaourt  |
| Phase/activité   | +              | -          | -            | Payer-achat  |
| Lieu/zone        | -              | +          | -            | Oasis-désert |

(+ : la propriété est vérifiée, - : La propriété n'est pas vérifiée)

La taxonomie proposée par Winston et al. (1987) a été affinée par plusieurs auteurs (Gerstl et Pribbenow, 1995 ; Odell, 1998 ; Keet et Artale, 2008). Par exemple, Gerstl et Pribbenow (1995) ont mentionné que la distinction entre les types de relations Élément/objet et Lieu/zone est superflu. D'après les auteurs, l'exemple oasis-désert indique clairement que la partie (oasis) joue un rôle par rapport au tout (désert) (ex : fournir de l'eau) et réfute la proposition de Winston et al. (1987) sur la similarité entre oasis et désert car du point de vue structurel l'oasis n'est pas similaire au désert. Gerstl et Pribbenow (1995) ont proposé alors de distinguer les relations entre le tout et ses parties par rapport à la structure compositionnelle du tout. Selon ce critère, trois types de tout ont été distingués : une quantité homogène, une collection uniforme d'éléments et un objet hétérogène. Par conséquent, trois types de relations ont été proposées : Masse/ quantité , Membre/ collection et élément/ objet.

Odell (1998) a proposé une adaptation de la taxonomie de partie-de proposée par Winston et al. (1978) pour le domaine de conception orienté-objet où spécifiquement des objets qui sont manipulés (Tableau 2).

Keet et Artale (2008), pour leur part, ont proposé une taxonomie formelle de relations partie-de compte tenu des valeurs philosophiques et à la fois de la théorie de la méréologie et des ontologies fondationnelles. Cette taxonomie est présentée dans la partie suivante.

Tableau 2 : les types de relation partie-de d’Odell (1998)

| Relation               | Explication  |
|------------------------|--|
| Élément-objet intégral | Relation discrète de la relation partie-de   |
| Membre-groupe          | Le tout est étiqueté par un nom collectif et ses membres peuvent changer dans le temps |
| Membre-partenaire      | Similaire au membre-groupe mais le changement d’un membre peut détruire le tout        |
| Portion-objet          | une matière est une partie d’un tout   |
| Matériel-objet         | Les constituants d’un objet  |
| Lieu-zone              | La partie (lieu) ne peut être séparée du tout (zone)                                   |

### 6.3.2.1. Taxonomie de relations partie-tout de Keet et Artale (2008)

La taxonomie de Keet et Artale (2008) structure les diverses taxonomies de relations partie-de telles qu’elles sont présentées et/ou discutées dans la littérature. Il s’agit de la première taxonomie qui a fait la distinction entre les relations méronimiques et les relations méréologiques en fonction de leur propriété de transitivité. Les parties méronimiques ne sont pas transitives tandis que les parties méréologiques sont transitives (Keet et Artale, 2008).

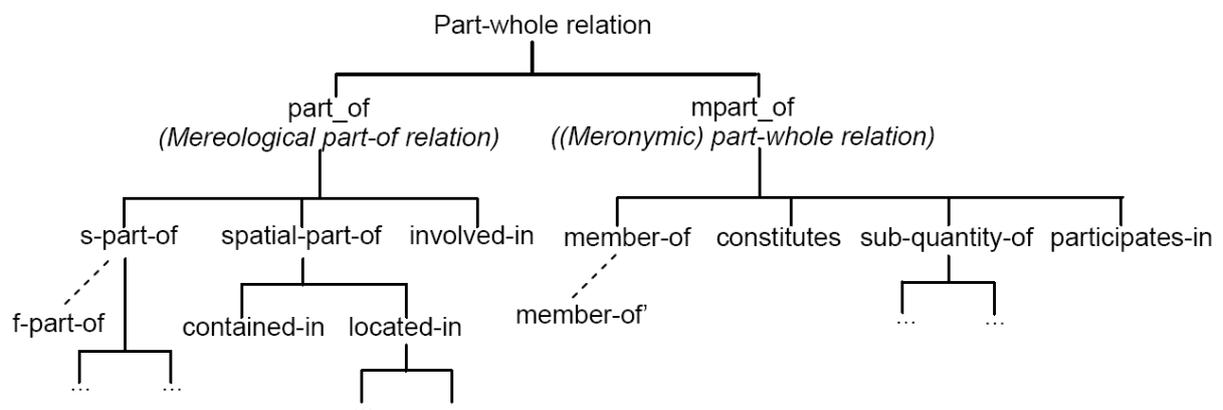


Figure 11: Taxonomie de relations partie-de, s-part : partie-de structurelle ; f-part-of : partie-de fonctionnelle (Keet et Artale, 2008)

La taxonomie proposée est composée de quatre relations méronimiques et quatre relations méréologiques (Figure 11). Pour donner une définition formelle à ces relations et aux entités impliquées, Keet et Artale (2008) ont choisi d’utiliser l’ontologie fondationnelle DOLCE (Masolo et al. 2003). L’ontologie DOLCE a été choisie car c’est l’ontologie formelle la plus

compréhensible, elle fournit un mappage vers le langage d'ontologie Web OWL<sup>3</sup> et elle est très utilisée pour le développement de systèmes d'informations dirigés par ontologies.

a) Relations méronymiques

La relation membre-de, comme indique son nom, elle permet de distinguer un tout de ses membres. Le tout est une entité sociale, étiquetée généralement par un nom collectif. Les membres du tout sont des objets physiques (POB) ou des rôles qu'ils jouent en tant qu'objets sociaux non physiques (SOB) tels qu'un Musicien dans un orchestre (équation 1). Dans la littérature, cette relation correspond aux relations membre-groupe et membre-collection proposées respectivement par Odell (1998) et Gerstl et Pribbenow (1995). La relation membre-de' est une sous type de la relation membre-de qui permet de préciser que le tout dépend existentiellement ( $\in$ ) de ses parties et vise versa (Equation 2).

$$membre\_de(x, y) \triangleq (POB(x) \vee SOB(x)) \wedge SOB(y) \quad (1)$$

$$membre\_de'(x, y) \triangleq (POB(x) \vee SOB(x)) \wedge SOB(y) \wedge \in(x, y) \wedge \in(y, x) \quad (2)$$

La relation constitué-de relie un objet physique (POB) (le tout) par les quantités de matière (M) qu'elles le constituent (parties du tout) (équation 2). Cette relation correspond aux relations matière-objet (Winston et al. 1987), matériel-objet (Odell, 1998) et élément-objet (Gerstl et Pribbenow, 1995). Généralement, la relation inverse de constitué-de (a-pour-constituants) est la plus utilisée.

$$constitué\_de(x, y) \triangleq M(x) \wedge POB(y) \quad (3)$$

La relation sous-quantité, appelée aussi portion-masse (Winston et al. 1987) ou portion-objet (Odell, 1998), relie des quantités partielles de matière (M) à l'ensemble de la matière (M) (équation 3).

$$sous\_quantité(x, y) \triangleq M(x) \wedge M(y) \quad (4)$$

La relation participe-dans permet de distinguer les Endurants (ED) qui participent dans des Perdurants (PD) (Équation 4). Par exemple, les bactéries dans une fermentation.

$$participe\_dans(x, y) \triangleq ED(x) \wedge PD(y) \quad (5)$$

---

<sup>3</sup> Web Ontology Language. <http://www.w3.org/TR/owl-features/>.

## b) Relations méréologiques

La relations impliqué-dans relie deux Perdurants (PD) telle que par exemple la phase de séchage du bois qui est impliquée dans le procédé de la pyrolyse. (Équation 6).

$$\text{impliqué\_dans}(x, y) \triangleq PD(x) \wedge PD(y) \quad (6)$$

Deux relations méréotopologiques pour les Endurants (ED) ont été distinguées : la relation contenue-dans et la relation situé-dans. La relation contenue-dans permet de localiser un Endurant dans une région (R) à trois dimensions (quality, qual et region) (*has\_3D*) et la relation situé-dans permet de situer un Endurant dans une région à deux dimensions (quality et qual) (*has\_2D*) (Masolo et al. 2003) (Équation 7 et 8).

$$\text{contenu\_dans}(x, y) \triangleq R(X) \wedge R(y) \wedge \exists z, w (\text{has\_3D}(z, x) \wedge \text{has\_3D}(w, y) \wedge \forall ED(z) \wedge ED(z)) \quad (7)$$

$$\text{situé\_dans}(x, y) \triangleq R(X) \wedge R(y) \wedge \exists z, w (\text{has\_2D}(z, x) \wedge \text{has\_2D}(w, y) \wedge \forall ED(z) \wedge ED(z)) \quad (8)$$

La relation partie-structurelle-de permet de distinguer les parties structurelles des Endurants (ED). Les parties sont aussi des (ED) (ex : les arrondissements dans Paris).

$$\text{partie\_structurelle\_de}(x, y) \triangleq ED(x) \wedge ED(y) \quad (9)$$

### 6.3.2.2. Propriétés algébriques des relations partie-de

La relation partie-de est une relation d'ordre partiel qui est réflexive (10), antisymétrique (11) et transitive (12) (Keet et Artale, 2008).

$$\forall x (\text{partie\_de}(x, x)) \quad (10)$$

$$\forall x, y (\text{partie\_de}(x, y) \wedge \text{partie\_de}(y, x) \rightarrow x = y) \quad (11)$$

$$\forall x, y, z ((\text{partie\_de}(x, y) \wedge \text{partie\_de}(y, z)) \rightarrow \text{partie\_de}(x, z)) \quad (12)$$

L'ensemble de ces axiomes se réfère à la méréologie minimale (Ground Mereology) qui est la base lexicale de toute théorie méréologique (Varzi, 2009). D'un point de vue purement mathématique, la relation partie-de est réflexive, antisymétrique et transitive. D'un point de vue conceptuel, la réflexivité et la symétrie sont généralement acceptées comme des méta-propriétés qui sont nécessaires pour chaque relation de partie-de. Toutefois, ce n'est pas le cas pour la transitivité. En effet, certains adoptent pour le principe que la relation partie-de est transitive (Pommert, 1994). Par exemple, la main est une partie du bras qui est une partie du corps et la main est également une partie du corps. Dans d'autres cas, la transitivité devient clairement une problématique. Les relations développées par Winston et al., (1987), sont des relations transitives lorsqu'elles sont prises isolément mais la transitivité n'est plus assurée

quand elles sont combinées entre elles (Winston et al. 1987). Par exemple, le bras est une partie du pianiste qui est une partie de l'orchestre, mais le bras n'est pas une partie de l'orchestre (Schulz et Hahn, 2001 ; Rector, 2002). Dans ce contexte, Guizardi (2005) préconise que les relations méréologiques soient interprétées par rapport à un contexte spécifique qui délimitera les champs d'applications dans lesquels la transitivité peut être appliquée.

### **6.3.3. Les relations sémantiques du domaine**

Les relations sémantiques du domaine, comme leur nom l'indique, sont spécifiques au domaine de connaissances étudiées. Elles permettent d'exprimer une sémantique spécifique au domaine de connaissances représentées. Cette catégorie de relations inclue les relations causales, temporelles et de procédures (Zhuge, 2003). La dénomination des relations de domaine n'est pas normalisée ; des verbes sont généralement utilisés pour exprimer clairement et sans ambiguïté les relations entre les concepts.

## **7. Charge cognitive**

Chanquoy et al. (2007) définissent la charge cognitive comme "l'intensité du traitement cognitif mis en œuvre par un individu lorsqu'il réalise une tâche donnée dans un contexte particulier". La théorie de la charge cognitive a été proposée par Sweller (1988). Dès lors, elle a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche et elle a été progressivement spécialisée dans l'explication des phénomènes de la charge cognitive lors des activités d'apprentissage (Chanquoy et al. 2007). Elle se base sur une architecture cognitive qui fait la distinction entre deux types de mémoires : Une mémoire à long terme et une mémoire à court terme (ou de travail) (Sweller et al. 1998 ; Pollock et al. 2002). La mémoire à long terme possède une capacité de stockage illimitée. Elle permet de stocker les informations sous forme d'images mentales (des structures abstraites de connaissances) (Sweller, et al. 1998). La mémoire de travail, quant à elle, traite les informations en interaction avec l'environnement et la mémoire à long terme. Elle possède une capacité de stockage et de traitement de connaissances limitée. Une sollicitation de manière importante de cette mémoire lors de l'exécution d'une tâche peut provoquer une surcharge cognitive. En effet, la réalisation d'une tâche peut nécessiter plus de ressources cognitives que la mémoire de travail n'en possède. Dans ce contexte, la théorie de la charge cognitive consiste à décrire comment les ressources limitées de la mémoire de travail sont utilisées au cours de l'exécution d'une tâche.

## **7.1. Types de la charge cognitive**

Sweller et al. (1998) distinguent trois types de charges cognitives : la charge extrinsèque pertinente, la charge extrinsèque inutile et la charge intrinsèque.

### **7.1.1. Charge cognitive extrinsèque pertinente**

La charge cognitive extrinsèque pertinente (german cognitive load) correspond aux ressources cognitives utilisées pour la construction et l'automatisation des images mentales (Pass et al. 2003). C'est la charge utilisée pour transformer les informations à traiter en images mentales afin de les stocker dans la mémoire à long terme mais aussi pour réduire la charge de la mémoire de travail. Cette dernière traite un nombre limité d'éléments et le fait de convertir plusieurs informations en une image mentale lui permettra de les traiter comme un seul élément.

### **7.1.2. Charge cognitive extrinsèque inutile**

La charge cognitive extrinsèque inutile (extraneous cognitive load) est liée à la mauvaise présentation des informations à traiter (van Merriënboer et al. 2006). Cette charge peut être diminuée par la proposition d'une organisation et représentation pertinentes pour l'ensemble des informations.

### **7.1.3. Charge cognitive intrinsèque**

La charge cognitive intrinsèque (intrinsic cognitive load) est liée à la nature des informations à traiter. Sa détermination dépend du nombre d'éléments traités dans la mémoire de travail pour la réalisation des tâches et de leur interactivité. En effet, les éléments fortement interactifs sont traités simultanément dans la mémoire de travail ce qui impose une charge cognitive intrinsèque importante. Inversement, les éléments avec un faible degré d'interactivité ne nécessitent pas un traitement simultané dans la mémoire de travail, ce qui entraîne une faible charge cognitive intrinsèque. La détermination de la charge intrinsèque dépend aussi du niveau d'expertise de la personne. Si la personne a des connaissances préalables sur les tâches à exécuter et il a acquis une image mentale au préalable de l'interaction entre les éléments à traiter, alors ces éléments seront traités comme un seul élément dans la mémoire de travail.

## **7.2. Mesure de la charge cognitive**

Les méthodes de mesures de la charge cognitive sont nombreuses. Xie et Salvendy (2000) les regroupent en deux familles : les méthodes analytiques et les méthodes empiriques. Les méthodes analytiques consistent à estimer la charge mentale par la collecte des données analytiques sur cette dernière en utilisant par exemple des modèles mathématiques (Pass et al., 2003). Les méthodes empiriques intègrent des mesures subjectives et des mesures physiologiques. Les mesures physiologiques sont basées sur l'hypothèse que les variations au niveau cognitif se reflètent au niveau physiologique (Pass et al. 2003). Ces méthodes incluent la mesure du rythme cardiaque, du mouvement des yeux et de l'activité du cerveau. Pass et van Merriënboer (1994) ont essayé de déterminer l'effort mental par la mesure de la variabilité du rythme cardiaque et ils ont constaté que cette mesure est peu fiable et intrusive. En effet, les valeurs trouvées ne reflètent pas l'effort mental observé au cours de l'expérience. Les mesures subjectives permettent de mesurer la charge cognitive d'une tâche sous forme d'une échelle à plusieurs points. Elles consistent à évaluer d'une manière subjective l'effort mental et de lui attribuer une valeur. En effet, ces mesures s'appuient sur l'hypothèse que les personnes sont capables d'observer leur processus cognitif et de donner une indication numérique de la quantité d'effort mental dépensée (auto-évaluation) (Pass et al. 2003). Bien que les auto-évaluations peuvent paraître discutables, il a été démontré que ce type de méthode est fiable, non intrusif et facile à analyser (Pass et van Merriënboer, 1994 ; Gimino, 2002).

## **8. Désorientation**

La désorientation est un état psychologique qui signifie la perte de la notion du temps et de l'espace lors de la réalisation d'une tâche. Ce concept a largement été étudié dans le cadre de l'activité de navigation hypertexte dans des documents non-linéaires. Conklin (1987) définit la désorientation comme la tendance à perdre le sens de l'emplacement et de la direction dans un hypertexte. Elle se produit lorsqu'un utilisateur n'est pas capable de spécifier sa localisation dans un document hypertexte (désorientation structurelle) et de mettre en relation les différents concepts présentés dans un document hypertexte (désorientation conceptuelle) (Dias et Sousa, 1997 ; Cress et Knabel, 2003). La désorientation est très liée à la charge cognitive. En effet, l'exécution d'un grand nombre de tâches simultanément et dans peu de temps peut produire une désorientation. Selon Smith (1996), la désorientation indique

l'absence de représentation mentale construite par l'utilisateur de l'espace d'information dans lequel il navigue.

Dans un processus de transfert de connaissances, un destinataire désorienté peut devenir plus frustré, investi plus d'effort mental et perd son intérêt pour les connaissances transférées. Ceci affecte négativement sa capacité de compréhension et d'assimilation des connaissances transférées. Dans la littérature, la désorientation a été mesurée suivant différentes méthodes. McDonalds et Stevenson (1998) ont évalué la désorientation des utilisateurs des sites web en fonction des actions réalisées pendant la navigation telle que le nombre de pages visitées et le nombre de pages visitées plus d'une fois. Cependant, cette mesure est basée principalement sur les actions réalisées et non sur l'autoévaluation de l'utilisateur. Dans ce contexte, Smith (1998) suggère d'évaluer la désorientation par rapport à la dégradation des performances de l'utilisateur ; car l'utilisation des actions comme critère de mesure n'est pas toujours fiable. Par exemple, les utilisateurs qui ont tendance à explorer un site web (consultation d'un grand nombre de pages) seront considérés comme désorientés même s'ils ne sont confrontés à aucune désorientation (Smith, 1998). Par ailleurs, Ahuja et Webster (2001) ont montré que la meilleure méthode d'évaluer la désorientation d'un utilisateur est de lui demander directement qu'est-ce qu'il a senti après avoir navigué dans un document hypertexte (auto-évaluation). Les auteurs ont proposé un ensemble de questions permettant de mesurer d'une manière efficace la désorientation.

## **9. Conclusion**

Dans ce chapitre, les éléments essentiels liés au transfert de connaissances ont été identifiés. Pour son transfert, la connaissance scientifique sur les PRBB doit être caractérisée, acquise à partir de la source et reformulée sur une forme adaptée afin de faciliter sa transmission et assimilation (absorption) par les acteurs de la filière bois. La littérature faite sur la connaissance d'une manière générale devra permettre de donner les types et les caractéristiques de la connaissance scientifique sur la valorisation des PRBB. Ensuite, le choix d'une technique de recueil parmi celles citées dans ce chapitre sera fonction des types et des caractéristiques identifiés des connaissances sur la valorisation des PRBB. Les techniques d'interviews avec les détenteurs de la connaissance scientifique sur la valorisation des PRBB semblent nécessaires car l'ingénieur de connaissances n'est pas spécialiste du domaine pour pouvoir exploiter les publications scientifiques sur le domaine. Dans ce contexte, l'utilisation des modèles de connaissances est pertinente car elle facilitera le recueil des connaissances et leur validation auprès des spécialistes. La représentation des connaissances recueillis devra

dépendre principalement de son utilisateur final (c.à.d. destinataire du transfert) et de sa capacité à acquérir et assimiler les connaissances représentées. Parmi les types de langages de représentation proposés, il est intéressant de se restreindre aux langages semi-formels dont la souplesse grammaticale et sémantique rend conviviale l'utilisation des connaissances représentées par le destinataire du transfert mais aussi leur exploitation d'une manière partiellement automatique. La démarche de représentation des connaissances scientifiques sur la valorisation des PRBB alors, sera basée sur les cartes conceptuelles comme langage semi-formel. Le recensement des travaux ontologiques théoriques sur les relations ontologiques doit permettre de disposer de base théorique pour l'identification et le typage des relations qui peuvent exister entre les concepts dans une carte conceptuelle.

**Deuxième partie :**  
**Acquisition et représentation des**  
**connaissances scientifiques**

# **Chapitre 2 : Acquisition et représentation des connaissances scientifiques**

## **1. Introduction**

Ce chapitre décrit la démarche proposée pour l'acquisition et la représentation des connaissances scientifiques sur la valorisation des PRBB en vue de leur transfert. L'objectif étant la mise à disposition, pour les acteurs de la filière bois, des nouvelles connaissances scientifiques. Deux paramètres importants à prendre en compte lors de la représentation : la recherche, par l'industriel, de la connaissance scientifique pertinente à ses besoins et l'assimilation des connaissances.

La première partie de ce chapitre sera consacrée à l'acquisition des connaissances scientifiques sur les PRBB. Tout d'abord, une description des principaux concepts du domaine d'étude est donnée. Ensuite, la démarche suivie pour le recueil des connaissances scientifiques du domaine est présentée. La deuxième partie du chapitre expose la méthodologie proposée pour la représentation des connaissances scientifiques recueillies en vue de leur transfert vers les acteurs de la filière bois.

## **2. Acquisition des connaissances scientifiques sur la valorisation des PRBB**

L'objectif de l'acquisition est la constitution d'une base de connaissances scientifiques pertinentes et valides sur la valorisation des PRBB. Pour ce faire, trois étapes ont été définies : le repérage des connaissances pertinentes, leur recueil à partir des sources disponibles et la modélisation des connaissances recueillies pour en permettre leur validation. Ces étapes nécessitent la participation des acteurs.

### **2.1. Le repérage des connaissances pertinentes**

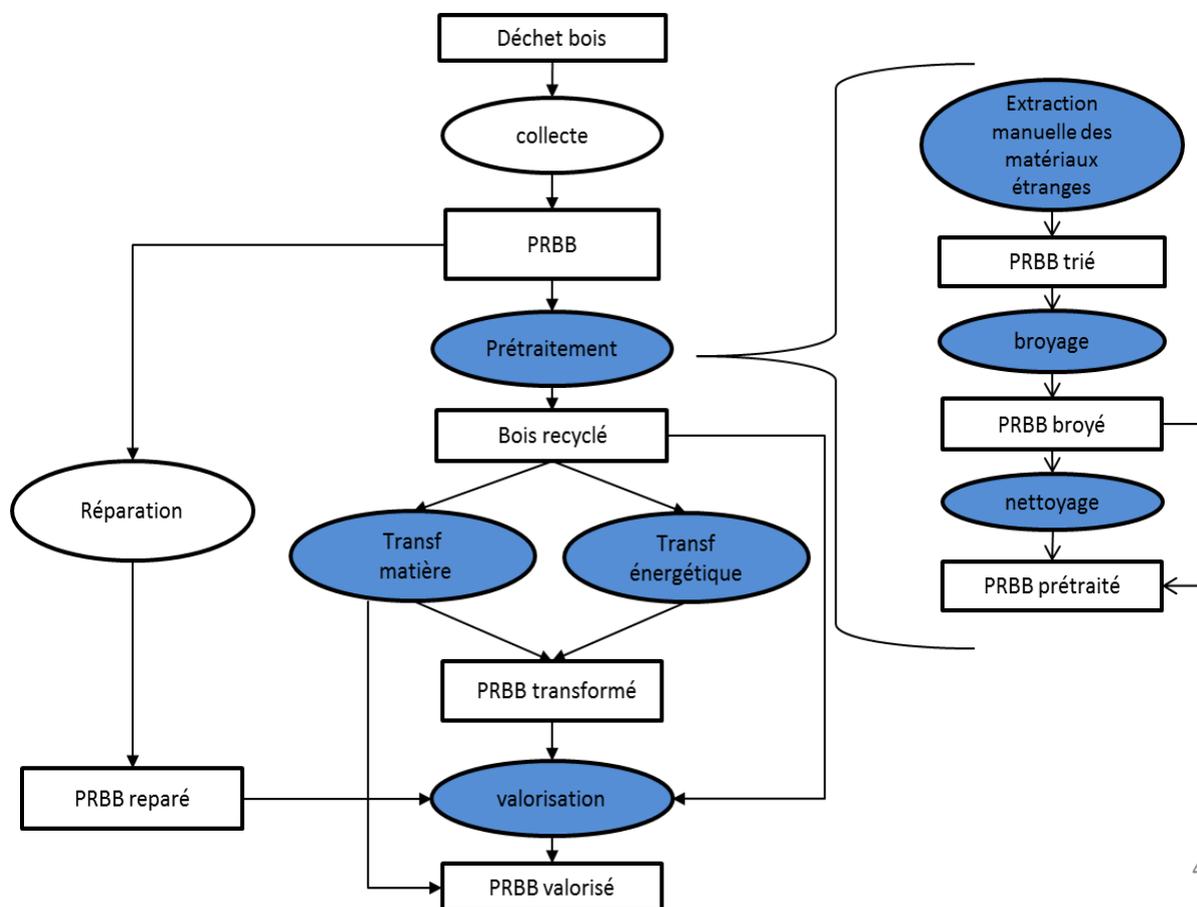
Le repérage des connaissances pertinentes est une étape fondamentale d'un projet d'acquisition des connaissances car il s'agit de définir le périmètre des connaissances à acquérir.

L'objectif étant la détermination d'une valorisation durable des PRBB alors, il a été choisi de délimiter le domaine d'étude au processus de valorisation des PRBB utilisé dans l'industrie

du bois. Les connaissances liées à ce processus sont exposées dans la partie suivante et ensuite, les connaissances scientifiques pertinentes à recueillir seront identifiées, et caractérisées.

### 2.1.1. Processus de valorisation des PRBB

Le processus de valorisation des PRBB est un processus multi-étapes, composé d'une succession linéaires des opérations unitaires suivantes : la collecte, le prétraitement, la transformation et la valorisation des PRBB (Jmal et al. 2012). Les différentes opérations et leur ordre d'exécution ont été représentés en utilisant le formalisme du modèle de connaissances proposé par Ndiaye et al. (2009) (cf. section 4.4.2 ) (Figure 12).



4

Figure 12 : Représentation d'un processus de valorisation d'un produit récupéré à base de bois (Jmal et al. 2012)

La première étape du processus de valorisation est la collecte des déchets du bois. Les déchets du bois recouvrent deux familles : les produits à base de bois en fin de vie et les sous-produits bois. Les produits à base de bois en fin de vie sont les produits qui arrivent à la fin de leur cycle de vie tels que les palettes en fin de vie (FCBA, 2008a). Les sous-produits sont

principalement les produits connexes des industries du bois de l'exploitation forestière à la seconde transformation tels que les écorces, les sciures, les copeaux, les plaquettes (FCBA, 2008b) et les déchets verts des ménages et des collectivités.

Les produits collectés, appelés aussi produits récupérés à base de bois (PRBB), sont ensuite soumis à un ensemble de prétraitements. Ils sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations mécanisées telles que le déferrage et le criblage sont appliquées. Cette étape est suivie par un classement visuel. Trois classes de PRBB peuvent être distinguées : classe A, classe B et classe C. La classe A présente les PRBB propres sans aucun traitement. La classe B présente les PRBB traités par des produits contenant des substances chimiques à l'exception des métaux lourds et les organo-halogénés. La classe C présente les PRBB traités par des produits contenant des métaux lourds et d'organo-halogénés.

Une fois le classement fait, les PRBB de classe A et B sont broyés en vue de leur valorisation. Les PRBB de classe C sont uniquement stockés car aujourd'hui il n'existe ni des voies de valorisation spécifique à ce type de produit récupéré, ni des solutions économiques pour leur élimination.

Une fois les PRBB triés et broyés, ils sont orientés vers des filières de transformation en vue de leur valorisation. Deux types de transformations sont mis en œuvre actuellement : une transformation matière et une transformation énergétique.

La transformation matière (recyclage) consiste à introduire les PRBB comme matières premières secondaires dans un cycle de production de nouveaux produits. Dans la plupart des cas, les PRBB nécessitent un prétraitement avant leur transformation. Le prétraitement le plus couramment utilisé est le déchiquetage, mais d'autres prétraitements tels que le tamisage et le séchage peuvent être appliqués.

La transformation énergétique des PRBB consiste à transformer le bois en énergie par voie biochimique ou par voie thermochimique (Deglise et Donnot, 2004).

La voie biochimique consiste à dégrader un PRBB par un procédé microbien et enzymatique. Le procédé utilisé aujourd'hui est la méthanisation. La méthanisation est le processus naturel qui consiste à dégrader la matière organique contenu dans les PRBB en absence d'oxygène et sous l'action de micro-organismes pour donner des Biogaz (Bayard et Gourdon, 2007).

La voie thermochimique consiste au craquage des biomolécules des PRBB sous l'effet de la chaleur par pyrolyse, combustion ou gazéification :

- **La pyrolyse** se déroule en atmosphère inerte (sans présence d'oxygène) pour transformer les PRBB en charbon de bois (parties solide), huiles de pyrolyse (partie

liquide) et gaz de pyrolyse. La proportion de ces parties est fonction de la durée de la pyrolyse, la cinétique de chauffage et la température de la réaction.

- **La combustion** se déroule en présence d'oxygène (agent d'oxydation) pour décomposer les PRBB, de façon complète, en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O tout en libérant de l'énergie. La température de la combustion ne dépasse pas les 800 °C. Elle commence par une étape de pyrolyse et se poursuit par une oxydation des produits obtenus par injection d'oxygène jusqu'à une combustion complète avec comme résidus des cendres.
- **La gazéification** est un processus de transformation des PRBB en un combustible gazeux homogène et facilement utilisable. La gazéification comprend le séchage du bois, la pyrolyse, la gazéification du résidu carboné (le char) et le reformage des vapeurs condensables et des gaz de pyrolyse.

Parmi les procédés de transformation cités ci-dessus, la combustion est le plus utilisée en Europe.

Les produits obtenus après une transformation matière ou énergétique peuvent être valorisés de différentes manières et dans plusieurs secteurs (FCBA, 2003). Les principales voies de valorisation matière sont : la fabrication de panneaux à base de bois, de litières bois et de paillage bois. Les principales voies de valorisation énergétique sont la récupération de la chaleur de combustion pour le chauffage individuel et collectif, la production du biocarburant et la cogénération de l'électricité (Deglise et Donnot, 2004).

### 2.1.2. Les connaissances pertinentes sur la valorisation des PRBB

Cette partie consiste à identifier et caractériser les connaissances pertinentes pour la détermination d'une valorisation optimale des PRBB. L'objectif étant de recueillir ces connaissances auprès des spécialistes.

La détermination d'un processus de valorisation (cf. section 2.1.1) a permis de délimiter le domaine de connaissances à recueillir. En effet, le périmètre de connaissances a été fixé aux opérations impliquées dans un processus de valorisation qui sont le prétraitement, la transformation et la valorisation des PRBB (Figure 12). Les connaissances scientifiques sur ces opérations sont composées de connaissances déclaratives et de connaissances procédurales illustrées ci-dessous :

1. La quantité d'énergie  $Q$  (par unité de masse ou de volume) dégagée par un produit récupéré à base de bois lors de sa combustion complète dépend de son pouvoir calorifique à l'état anhydre  $Q_0$  et de son taux d'humidité  $H$  selon la formule suivante :

$$Q = Q_0 * \frac{100-H}{100} - 0.002443 * H \quad (13)$$

Cette connaissance déclare la relation qui lie la quantité d'énergie dégagée par un PRBB lors de sa combustion complète à son pouvoir calorifique à l'état anhydre et son taux d'humidité.

2. Pour déterminer la granulométrie des PRBB, il faut tout d'abord prélever un échantillon représentatif et ensuite mesurer les dimensions de cet échantillon par la méthode de tamisage qui consiste à faire passer l'échantillon à travers un tamis à mailles pour déterminer ses dimensions. Cette connaissance procédurale répond à la question « comment déterminer la granulométrie des PRBB ? » en s'appuyant sur d'autres connaissances telles que le prélèvement d'échantillon représentatif et la mesure des dimensions d'un échantillon par la méthode de tamisage.

Ce travail de thèse s'intéresse au recueil des connaissances scientifiques pertinentes sur les opérations de prétraitement, de transformation et de valorisation des PRBB.

## **2.2. Recueil et modélisation des connaissances scientifiques**

Cette étape consiste à recueillir, modéliser et valider les connaissances scientifiques pertinentes sur la valorisation des PRBB.

### **2.2.1. Le recueil des connaissances scientifiques**

La phase de recueil a combiné des séances d'interview de spécialistes (chercheurs séniors) de la valorisation des PRBB avec l'acquisition des connaissances à partir d'articles scientifiques et rapports techniques conseillés par les mêmes spécialistes.

Il a été choisi d'adopter un recueil "multi-experts" (Dieng-Kuntz et al. 2001) dans le but de couvrir le domaine de connaissances. Trois chercheurs séniors en valorisation des PRBB ont été choisis selon leur domaine de compétences. Un chercheur spécialiste en prétraitement des PRBB et un autre en transformation et valorisation matière des PRBB issues de l'École Supérieure du Bois et un chercheur spécialiste (professeur d'université) en transformation et valorisation énergétique des PRBB de l'École des Mines de Nantes. La complémentarité des

spécialités des experts choisis a écarté toute possibilité de situation de désaccord entre eux, ce qui a facilité le recueil des connaissances.

Une première série de trois interviews individuelles et libres (questions ouvertes) a été menée avec les trois spécialistes. L'objectif fixé pour cette série est d'acquérir le processus de valorisation des PRBB tel que vue par les spécialistes. Cet objectif a rempli un double rôle : familiariser l'intervieweur avec la terminologie du domaine de la valorisation des PRBB et permettre au spécialiste de s'exprimer librement et de révéler ce que lui semble générique sur la valorisation.

Une deuxième série de trois interviews individuelles et semi-structurées a été réalisée. L'objectif de cette série est d'explicitier en détail les points qui ont été jugés importants lors des premiers entretiens. Ces entretiens ont été réalisés suivant un canevas guidé par les entités pertinentes des publications scientifiques (données initiales, problème, hypothèses, tests, résultats, interprétation et conclusion) (Suciu et al. 2012). Au cours d'un entretien, le spécialiste exprime les principaux points de son travail : explicite sa démarche et précise ses choix méthodologiques. Il est d'abord interrogé sur les connaissances préalables relatives à son sujet de recherche (théories, modèles, observations), sa problématique de recherche et les hypothèses posées. Ensuite, il est interrogé en détail sur les tests expérimentaux mis en place afin de valider les hypothèses, les résultats trouvés et la manière dont il les a interprétés et pour finir il est amené à préciser si les hypothèses posées initialement ont été vérifiées ou non. Les interviews libres et semi-structurées sont enregistrées sur un support audio pour permettre à l'intervieweur de se concentrer principalement sur l'interview et son déroulement. Les enregistrements sont ensuite analysés et les connaissances pertinentes sont extraites et modélisées comme décrit ci-dessous.

En plus des interviews, une acquisition des connaissances à partir de publications scientifiques conseillées par les spécialistes a été réalisée pour compléter les connaissances recueillies auprès de ces derniers. Les informations factuelles contenues dans les publications (tableaux, figures, résultats, références) ont été extraites manuellement et modélisées.

### **2.2.2. Modélisation des connaissances scientifiques**

Les connaissances récoltées après chaque séance d'interview et à partir des publications ont été modélisées chacune en fonction de leur contenu spécifique puis soumise au chercheur auprès de qui elle a été recueillie pour sa validation. Trois types de contenu de connaissance ont été distingués : les concepts, les procédés et les résultats. Les concepts sont les objets

d'études recouvrant le domaine de la valorisation des PRBB, les procédés sont ceux utilisés en analyse et en transformation des PRBB et les résultats sont des résultats scientifiques relatifs aux études sur les PRBB.

#### 2.2.2.1. Modélisation des concepts

Les concepts ont été modélisés en fonction de types de relations qui peuvent exister entre eux :

- Les concepts possédant une relation hiérarchique entre eux (taxonomie) ont été modélisés en arbre de concepts (cf. section 4.4.1.1) (Figure 13).

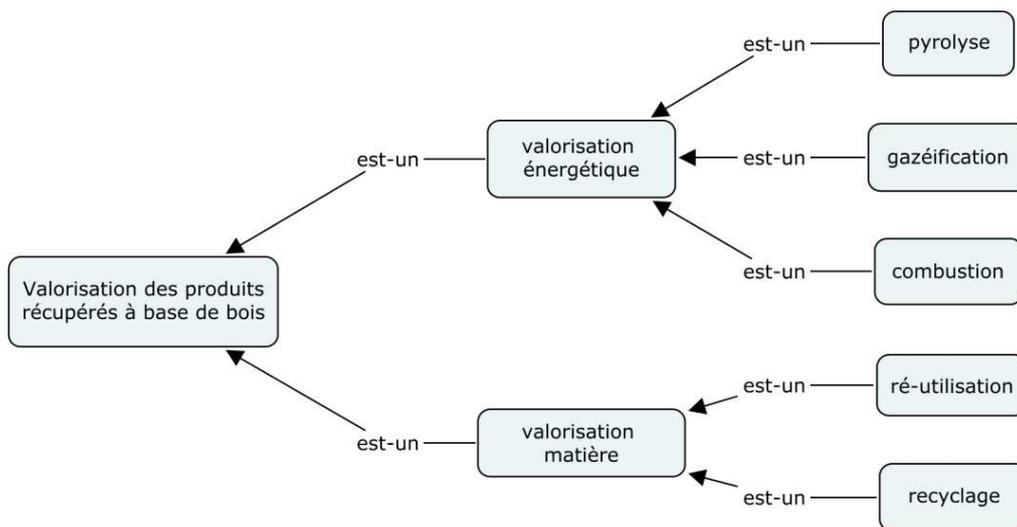


Figure 13 : Arbre de concepts de la taxonomie de valorisation des PRBB

- Les concepts représentant une relation de composition entre eux ont été modélisés en arbre de composition (Milton, 2007) (Figure 14).

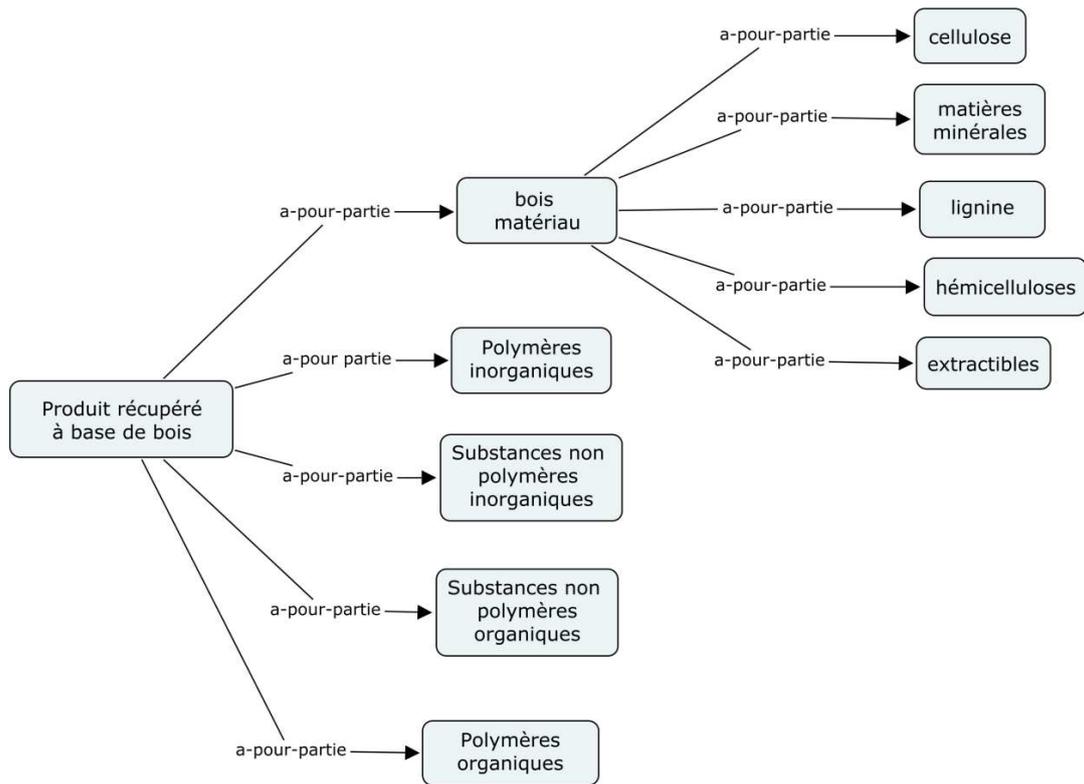


Figure 14: Arbre de composition d'un PRBB

- Les concepts ayant plusieurs types de relations entre eux ont été modélisés en cartes conceptuelles (Milton, 2007) (Figure 15).

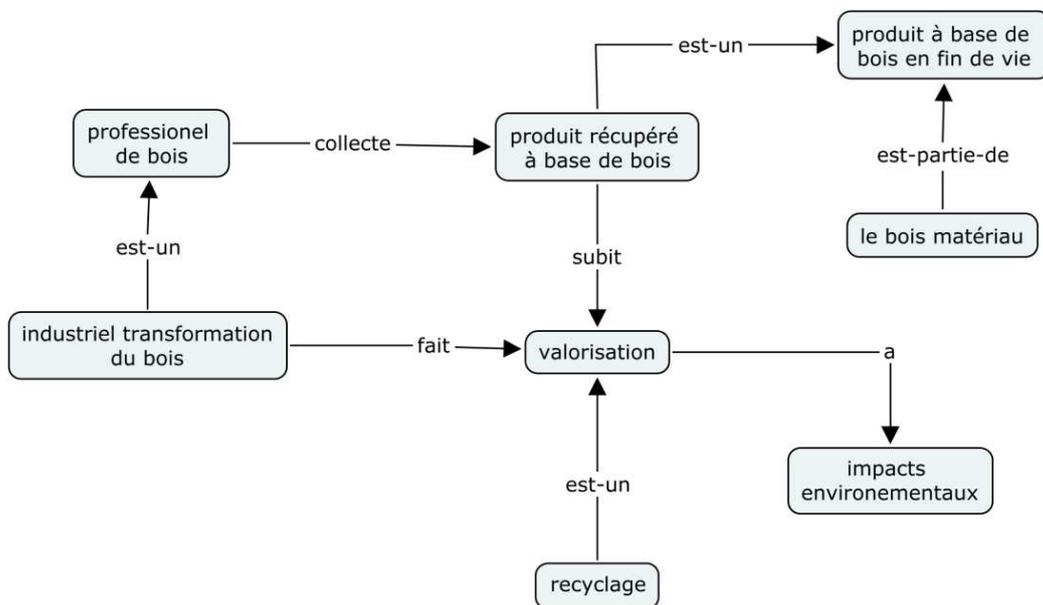


Figure 15 : Exemple de carte conceptuelle

### 2.2.2.2. Modélisation des Procédés

Les procédés d'analyse et de transformation des PRBB sont des processus composés par un ensemble d'opérations exécutées dans un certain ordre. Le modèle de connaissances le plus adapté à leur modélisation est la carte de processus (Milton, 2007) (Figure 16). Le mode de représentation choisi pour établir les cartes de processus est le suivant : les cercles représentent les tâches, les rectangles arrondis représentent les entrées et sorties d'une tâche et les rectangles représentent les ressources nécessaires à l'exécution d'une tâche. Des couleurs peuvent être utilisés pour mettre en valeur les éléments importants dans une carte. Dans la carte de processus de la méthanisation d'un PRBB (Figure 16), les couleurs mettent en avant les tâches de la méthanisation, ensuite les ressources nécessaires et en fin les entrées / sorties des tâches.

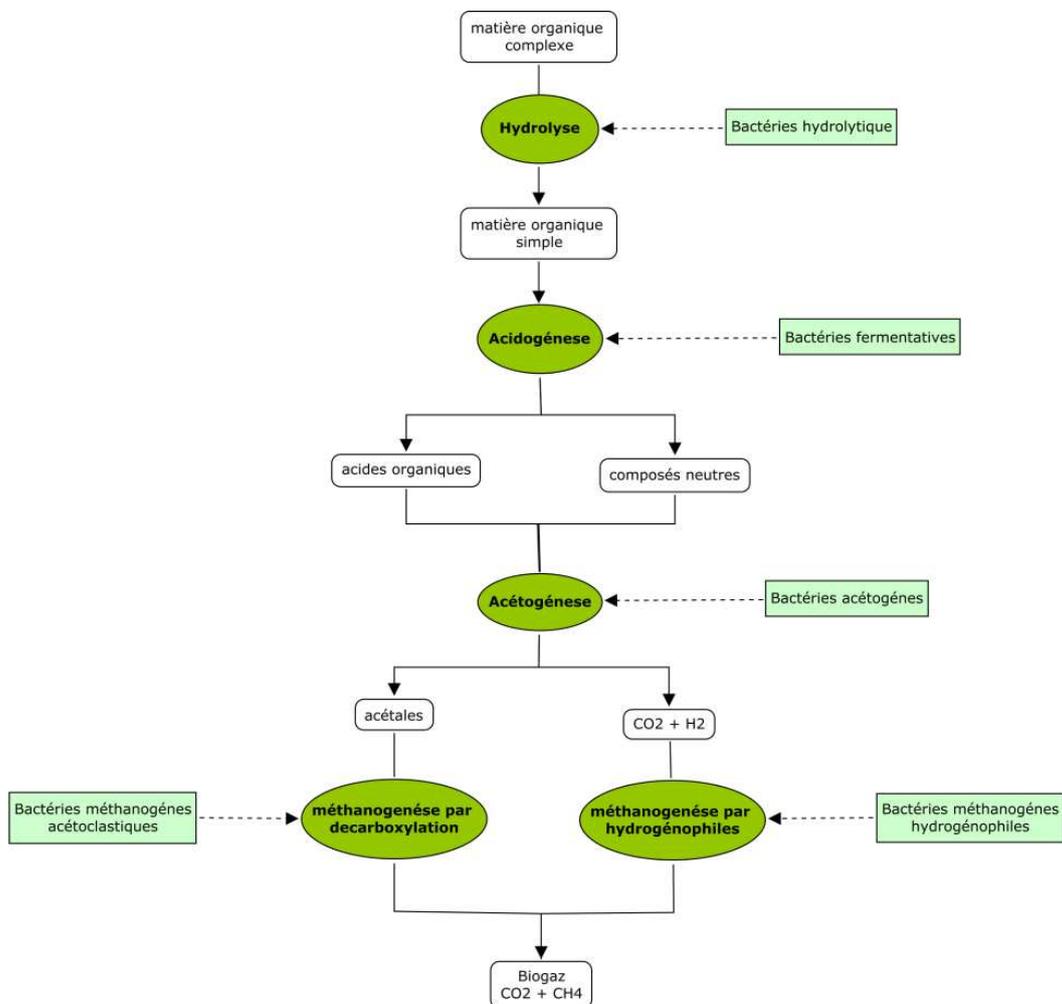


Figure 16 : Carte de processus de la méthanisation d'un PRBB

Des pages de connaissances (Milton, 2007) peuvent être reliées aux tâches pour donner des informations complémentaires (image, texte explicatif) sur leur exécution.

### 2.2.2.3. Modélisation des résultats

Les informations associées à un résultat scientifique ont plusieurs formes : des représentations graphiques (organigrammes, graphes), des textes descriptifs et des tableaux alors, le modèle de connaissances le plus adapté pour leur modélisation est la page de connaissances (Milton, 2007) (Figure 17).

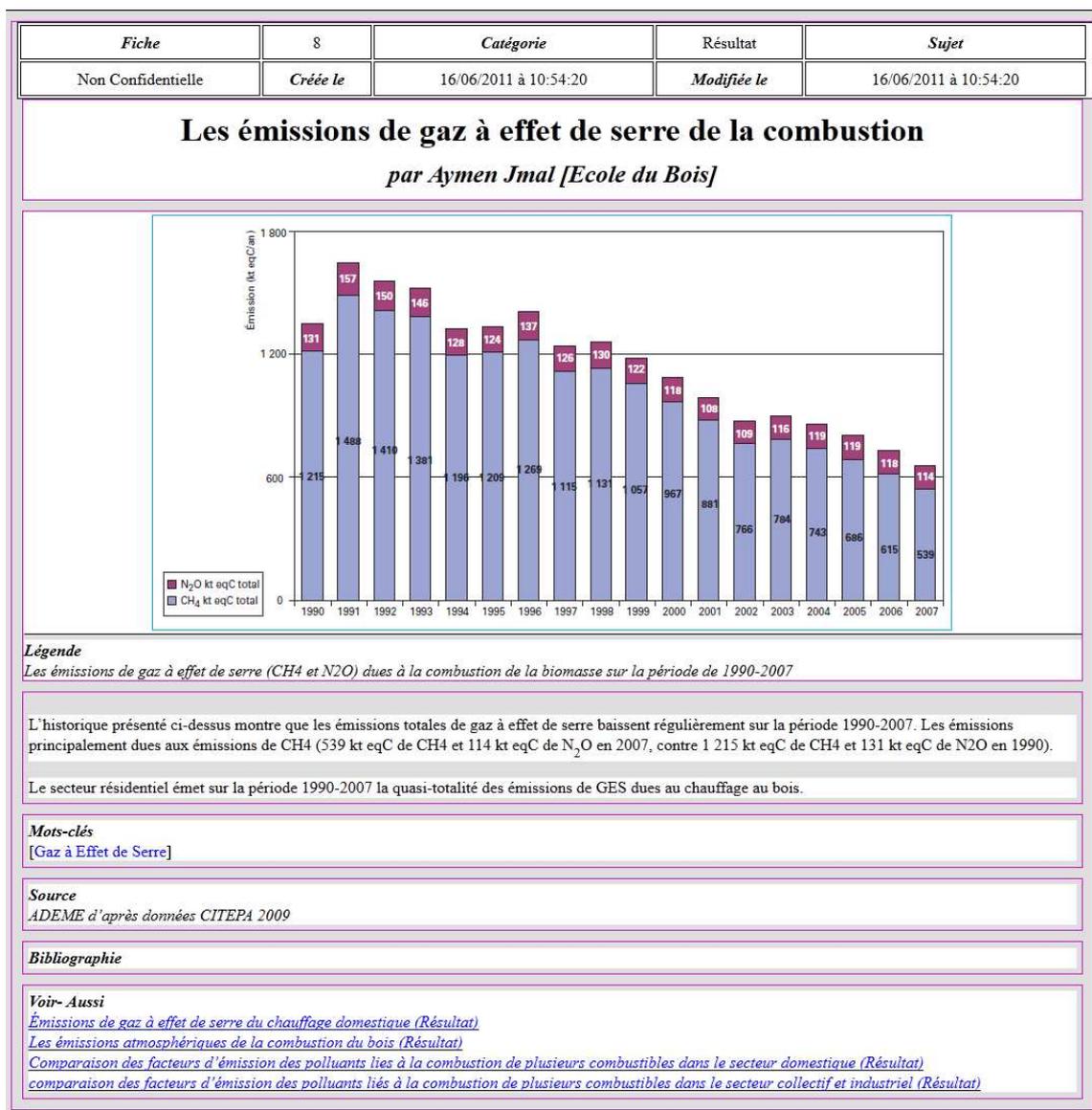


Figure 17 : Page de connaissances : les émissions de gaz à effet de serre de la combustion

### 2.2.3. Validation de la justesse de la modélisation des connaissances recueillies

Les modèles de connaissances établis ont été soumis aux spécialistes, au cours des séances d'entretiens, pour validation de la modélisation et complétion de la connaissance si nécessaire. L'ingénieur de connaissance commence par expliquer la structure du modèle de connaissance utilisé pour ensuite valider son adéquation avec la connaissance modélisée. Par exemple, pour un arbre de concepts, l'ingénieur de connaissance demande au chercheur de vérifier pour chacune des branches de l'arbre si : 1/le nom attribué à chaque nœud est correct, 2/ si le positionnement des nœuds est correct et 3/ s'il y a des nœuds importants qui ont été oubliés. Pour une page de connaissances, il s'agit simplement de demander au spécialiste de lire son contenu et de faire les corrections nécessaires.

La procédure de recueil et de modélisation des connaissances conduit à la constitution d'une banque de connaissances scientifiques structurées. Ces dernières doivent être représentées pour être transférées vers les acteurs de la filière bois.

## 3. Représentation des connaissances scientifiques sur les PRBB

Les concepts pertinents du domaine de la valorisation des PRBB ont été représentés via des cartes conceptuelles (Cañas et al. 2004). Les concepts dans une carte conceptuelle peuvent être représentés de plusieurs façons en réseau, en hiérarchie etc. Dans le cadre du transfert, une représentation homogène et uniforme des concepts dans une carte est nécessaire pour faciliter leur lecture et leur assimilation et donc améliorer les performances du transfert. Pour ce faire, un modèle canonique de cartes conceptuelles a été proposé (Jmal et al. 2011).

### 3.1. Modèle canonique de cartes conceptuelles

Le modèle canonique est un patron de cartes conceptuelles qui permet une représentation homogène de concepts. Ce modèle est un arbre sémantique qui décrit un concept principal (la racine) à un niveau de détail suffisant suivant trois axes ontologiques : taxonomique, mérologique/ méronimique et du domaine (Figure ).

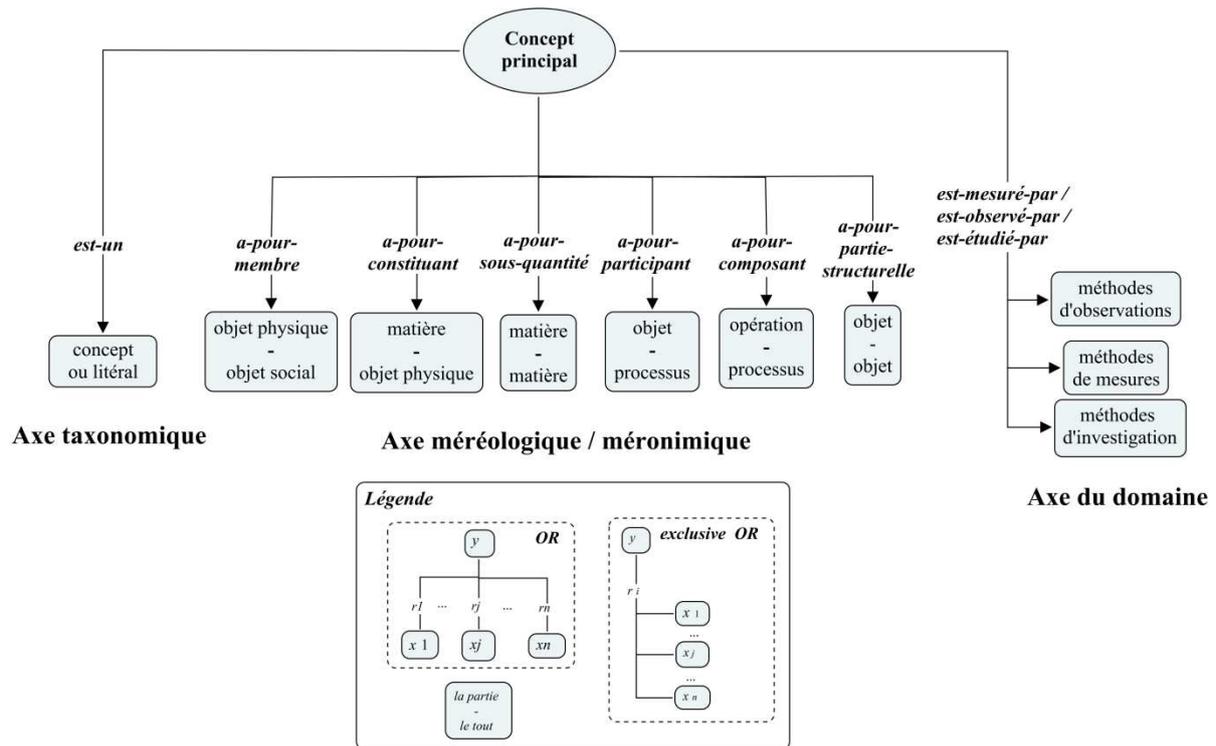


Figure 18: Modèle canonique de cartes conceptuelles pour la représentation de connaissances scientifiques à transférer

L'axe taxonomique sert à donner la taxonomie du concept principal par le biais de la relation taxonomique est-un de type généralisation/spécialisation (Brachman, 1983). La sémantique de cette relation est celle de la subsumption hybride (Napoli, 1992). Du point de vue structurel, l'axe taxonomique comprend deux niveaux. Le premier niveau correspond au concept principal et le deuxième niveau correspond à sa spécialisation ou sa généralisation à un seul niveau de détail.

Les instances du concept principal représentent l'ensemble de concepts pertinents du domaine de la valorisation des PRBB. Elles peuvent avoir des composantes totalement présentes à chaque instant telles que le bois dans un PRBB ou temporairement présentes telles que le teneur en eau d'un PRBB. Donc selon l'ontologie DOLCE (Masolo et al. 2003), le concept principal, noté concept-p, peut être un Endurant (ED) ou un Perdurant (PD) (14).

$$\text{Concept}_p(x) \triangleq \text{ED}(x) \vee \text{PD}(x) \quad (14)$$

Pour assurer la cohérence de la spécialisation/ généralisation (éviter les réductions de sens et les généralisations abusives) de point de vue ontologique, la méthode Ontoclean (Guarino et Welty, 2003) a été appliquée. Pour ce faire, des méta-propriétés telles que l'identité ont été attribuées aux concepts. Au niveau du modèle canonique, les concepts sont des entités abstraites et donc ils ne possèdent pas de contraintes trop fortes. De ce fait, ils n'ont pas de

propriété d'identité (-I), ils ne la portent pas (-O) et ils sont rigides (+R). Les propriétés définies et les contraintes qu'elles induisent (Cf. chapitre 1 section 6.3.1) doivent être respectées lors de l'instanciation des concepts.

L'axe méréologique/méronimique est dédié à l'énumération des composantes du concept-p par l'utilisation des relations partie-de proposées dans (Keet et Artale, 2008) avec quelques adaptations afin de faciliter la lecture des concepts (15, 16, 17, 18, 19 et 20). La taxonomie de la relation partie-de de Keet et Artale (2008) a été choisie car elle rassemble toutes les relations partie-de proposées dans la littérature (méréologiques et méronimiques).

$$a\_pour\_membre(x, y) \triangleq (POB(x) \vee SOB(x)) \wedge SOB(y) \quad (15)$$

$$a\_pour\_constituant(x, y) \triangleq M(x) \wedge POB(y) \quad (16)$$

$$a\_pour\_sous\_quantité(x, y) \triangleq M(x) \wedge M(y) \quad (17)$$

$$a\_pour\_participant\_dans(x, y) \triangleq ED(x) \wedge PD(y) \quad (18)$$

$$a\_pour\_composant(x, y) \triangleq PD(x) \wedge PD(y) \quad (19)$$

$$a\_poue\_partie\_structurelle(x, y) \triangleq ED(x) \wedge ED(y) \quad (20)$$

L'axe du domaine permet de déclarer avec quelle méthode le concept principal est mesuré, observé, et/ou étudié via l'utilisation des relations caractéristiques d'une étude scientifique est-mesuré-par, est-observé-par et est-étudié-par. Du point de vue modélisation, une méthode est composée d'une succession linéaire d'étapes. Ces étapes sont temporaires et cumulatives (le cumul de deux étapes est une étape). Donc, selon l'ontologie DOLCE (cf. section 6.2.2), une méthode est de type processus (PRO). De ce fait, un concept-p est mesuré, observé et étudié par des PRO (équations 21, 22 et 23).

Les relations ontologiques du domaine sont formalisées comme suit :

$$est\_mesuré\_par(x, y) \triangleq concept\_p(x) \wedge PRO(y) \quad (21)$$

$$est\_observé\_par(x, y) \triangleq concept\_p(x) \wedge PRO(y) \quad (22)$$

$$est\_étudié\_par(x, y) \triangleq concept\_p(x) \wedge PRO(y) \quad (23)$$

Les propriétés des relations utilisées dans le modèle canonique ont été établies en fonction de la réflexivité, transitivité et symétrie. Tout d'abord, un rappel sur ces propriétés est donné :

Soit E un ensemble d'éléments et R désigne une relation binaire.

a) Réflexivité

R est réflexive si et seulement si :  $\forall x \in E, xRx$

R est non-réflexive si et seulement si :  $\exists x \in E, \neg(xRx)$

b) Transitivité

R est transitive si et seulement si :  $\forall x, y, z \in E, (xRy \wedge yRz) \Rightarrow xRz$

R est non-transitive si et seulement si :  $\exists x, y, z \in E, (xRy \wedge yRz) \not\Rightarrow xRz$

c) Symétrie

R est symétrique si et seulement si :  $\forall x, y \in E, xRy \Rightarrow yRx$

R est antisymétrique si et seulement si :  $\exists x, y \in E, xRy \not\Rightarrow yRx$

La relation taxonomique est-une est réflexive, transitive et antisymétrique (Guarino et Welty, 2000). Les relations méronymiques sont non réflexives, antisymétriques et non transitives (Keet et Artale, 2008). Les relations méréologiques sont réflexives, transitives et antisymétriques (Keet et Artale, 2008). La relation du domaine est-mesuré-par est non-réflexive (ex : le taux d'humidité n'est pas mesurée par lui-même), non-transitive (Le taux d'humidité est mesuré par la méthode d'étuvage ventilée et la méthode ne peut pas être mesurée par une autre méthode) et antisymétrique (ex : le taux d'humidité d'un PRBB est mesurée par la méthode d'étuvage ventilée alors que la méthode d'étuvage ventilée n'est pas mesurée par le taux d'humidité). La relation du domaine est-observé-par est non-réflexive (ex : le matériau bois n'est pas observée par lui-même), non-transitive (le matériau bois est observé par la méthode de microscopie par contre la méthode de microscopie ne peut pas être observée par une autre méthode) et antisymétrique (ex : le matériau bois est observé par la méthode de microscopie alors que la méthode de microscopie n'est pas observée par le matériau bois). La relation du domaine est-étudié-par est non-réflexive (ex : un PRBB n'est pas étudié par lui-même), non-transitive (un PRBB est étudié par la méthode d'absorption atomique par contre la méthode d'absorption atomique ne peut pas être étudiée par une autre méthode) et antisymétrique (ex : un PRBB est étudié par la méthode d'absorption atomique alors que la méthode d'absorption atomique n'est pas étudiée par un PRBB).

L'objectif visé par l'utilisation des relations ontologiques est de contribuer à améliorer le processus de recherche d'informations qui est l'un des facteurs déterminant du transfert. En effet, l'emploi des relations ontologiques dans la forme canonique permet d'intégrer une dimension sémantique et un mécanisme de raisonnement au processus de recherche

d'information. Ceci permettra de proposer une recherche d'informations sémantique « intelligente » au lieu d'une simple recherche classique basée sur une liste de mots clés.

La représentation explicite des propriétés algébriques des relations permet l'implémentation d'un raisonnement automatique (Schulz et Hahn, 2005). Par exemple, à travers la transitivité de la relation est-un les propriétés du concept le plus général sont propagées au plus spécifique par héritage.

L'utilisation de l'ontologie DOLCE a permis de définir formellement les concepts et les relations employés dans la forme canonique de carte conceptuelle en spécialisant un sous ensemble des entités de haut niveau de cette ontologie. Ceci permet une modélisation formelle quasi-complète de la forme canonique à travers l'utilisation d'un langage de représentation formelle tels que la logique du première ordre (Figure 19).

$$\begin{aligned}
\forall x (PD(x) \triangleq POB(x) \vee SOB(x) \vee M(x)) \\
\forall x (PD(x) \triangleq EV(x) \vee (ST(x) \wedge PRO(x))) \\
\forall x (Concept\_p(x) \triangleq ED(x) \vee PD(x)) \\
\forall x (Concept(x) \triangleq ED(x) \vee PD(x)) \\
\forall x, y (est\_un(x, y) \triangleq (Concept\_p(x) \wedge Concept(y))) \\
\forall x, y (a\_pour\_membre(x, y) \triangleq (POB(x) \vee SOB(x)) \wedge SOB(y)) \\
\forall x, y (a\_pour\_constituant(x, y) \triangleq M(x) \wedge POB(y)) \\
\forall x, y (a\_pour\_sous\_quantité(x, y) \triangleq M(x) \wedge M(y)) \\
\forall x, y (a\_pour\_participant\_dans(x, y) \triangleq ED(x) \wedge PD(y)) \\
\forall x, y (a\_pour\_composant(x, y) \triangleq PD(x) \wedge PD(y)) \\
\forall x, y (a\_poue\_partie\_structurelle(x, y) \triangleq ED(x) \wedge ED(y)) \\
\forall x, y (est\_mesuré\_par(x, y) \triangleq concept\_p(x) \wedge PRO(y)) \\
\forall x, y (est\_observé\_par(x, y) \triangleq concept\_p(x) \wedge PRO(y)) \\
\forall x, y (est\_étudié\_par(x, y) \triangleq concept\_p(x) \wedge PRO(y))
\end{aligned}$$

Figure 19 : La représentation de la forme canonique en logique de premier ordre

### 3.2. Fiches de connaissances

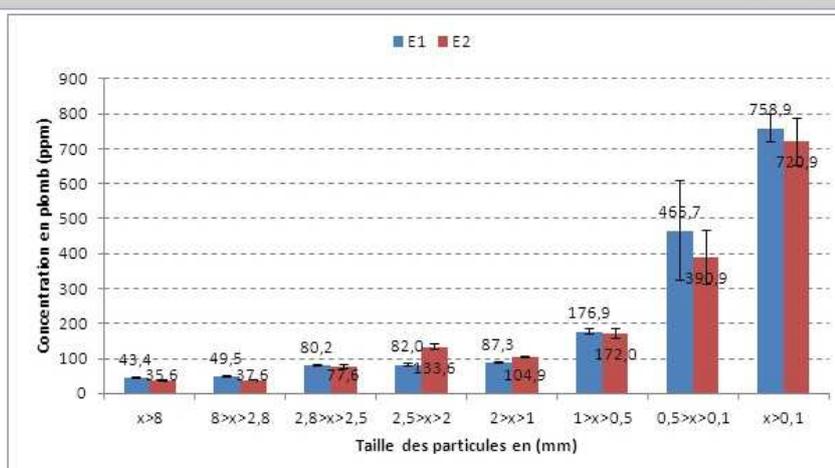
Les connaissances scientifiques pertinentes sur les procédés d'analyse et de transformation des PRBB et celles liées aux concepts dans une carte conceptuelle ont été représentées par des fiches de connaissances. Une fiche de connaissances est une page de connaissances au sens de Milton (2007) avec une structure prédéfinie (Figure 20). Elle est composée de sept champs d'informations :

- **Titre** : une synthèse du contenu de la fiche. Le titre doit être suffisamment clair et informatif et reflète le contenu de la fiche.

- **Illustration** : une équation, un tableau, un graphique (courbe, diagramme), un dessin, une image, un son ou une vidéo qui servent à illustrer le contenu de la fiche. Par exemple, un tableau ou une courbe de résultats ou photo d'une microscopie.
- **Explication** : une explication du contenu de la fiche ; par exemple le déroulement d'un procédé (les opérations, leur mode d'exécution, les structures de contrôles, les valeurs remarquables ou critiques, etc.).
- **Auteurs** : l'auteur de la fiche (nom, prénom).
- **Mots clés** : les mots clés associés au contenu de la fiche.
- **Fiches sémantiquement connexes (ou voir aussi)** : un complément d'information sur le contenu de la fiche via un accès hypertexte à d'autres fiches.
- **Références** : les références bibliographiques citées dans la fiche ou relatives à son contenu.

Pour une meilleure clarté de l'information contenue dans la fiche, des moyens de mise en forme de texte (police, taille, gras, italique, souligné, couleur) et de liaison hypertextes avec des documents (PDF, doc, etc.) et des sites Web sont disponibles. Ces moyens vont permettre de lier, par exemple, un titre à un document PDF d'une taille quelconque. À chaque auteur peut être associé ses coordonnées via un lien hypertexte : spécialité, affiliation, numéro de téléphone professionnel, adresses postale et électronique professionnelles et site personnel. À chaque mot clé peut être associé sa définition via un lien hypertexte.

Le taux de concentration de plomb de différentes fractions de deux échantillons d'un produit récupéré après une analyse de spectroscopie par torche à plasma (ICP) (2010)



La figure montre l'existence d'une corrélation entre l'augmentation de la concentration du métal et la diminution des tailles des particules. L'augmentation est quasi exponentielle et le niveau moyen est de 89,8 ppm

Crée le 24/02/2012

Auteur(s) [Jmal. Aymen](#)

Mots clés [Granulométrie] [Métaux lourds]

Voir aussi [Le taux de concentration de plomb de différentes fractions de deux échantillons d'un produit récupéré après une analyse de spectrométrie de fluorescence X](#)

Références bibliographiques

- Irle, M.A., fru, C. Maher, K. and sawyer, G. (2004). The Detection and Measurement of Metal Contaminants in Recycled Wood Intended for the Manufacture of Particleboards. In: Proceedings of Eighth European Panel Products Symposium, Llandudno, October, 2004.
- IRLE, M.A., JOUINI, Z., BOUSLAMTI, A., SALVADOR, V., BONDU, M. and CARON, B. (2010). Improving the cleanliness of recycled wood for particleboard production. In proceedings of Matériaux 2010, Nantes, France.
- Jermer, J., Ekvall, A. and Tullin, C. (2001). Inventering av Föroreningar i Returtå. Värmeforsk Rapport 732.
- Vogt, M. and Schulz, A. (2005). Findings of a Field Trial on Sampling of Recovered Wood Chips and Recommendations for a Future Sampling Strategy. In: Proceedings of 2nd European COST E31 Conference: Management of Recovered Wood, Bordeaux, September 2005.

Figure 20 : Fiche de connaissances sur le taux de concentration de plomb de différentes fractions de deux échantillons d'un produit récupéré après une analyse spectroscopique par torche à plasma

### 3.3. Les graphes d'influences

Les relations d'influence entre les concepts ont été représentées via des graphes dits d'influences. Un graphe d'influences comprend un concept principal avec au-dessus de lui les concepts qui l'influencent (relations Amont) et en dessous de lui les concepts qu'il influence (relation Aval). Les graphes d'influence sont pertinents pour la représentation des résultats des opérations unitaires des procédés d'analyse, de transformation et de valorisation d'un PRBB. Dans un processus d'analyse, de transformation ou de valorisation, une opération unitaire permet de transformer un PRBB d'un état (entrée de l'opération) à un autre état

(résultat de l'opération) relativement aux réglages effectués de l'opération via des variables spécifiques dites de contrôle. Le résultat de l'opération est décrit en fonction d'un ensemble de variables d'états. Dans ce cas-là, les graphes d'influence permettent de représenter l'influence des variables de contrôle sur les variables d'état (Figure 21).

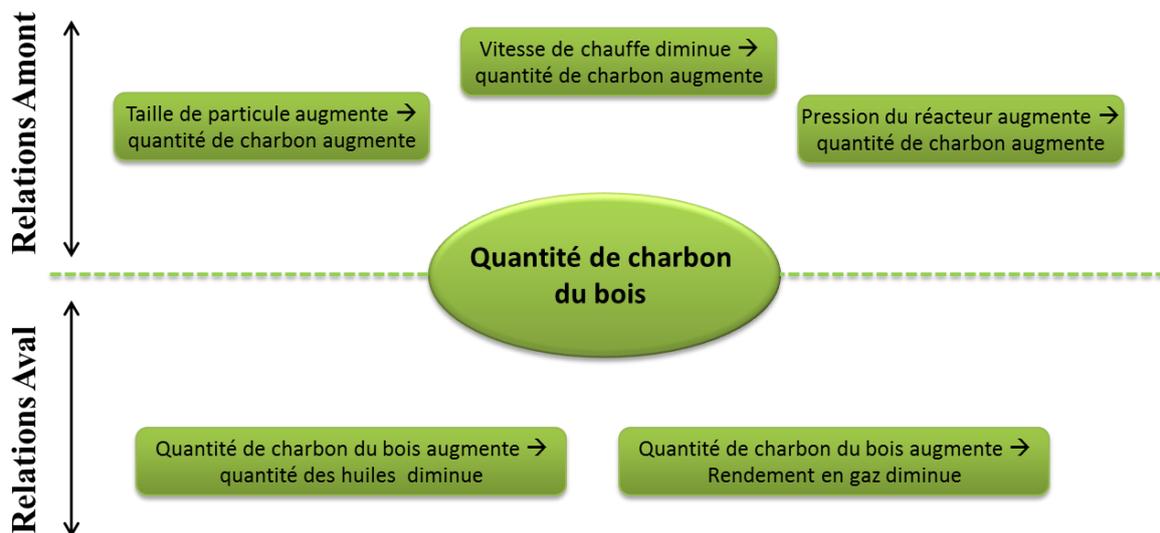


Figure 21 : Graphe d'influences de la quantité de charbon de bois produite au cours d'une pyrolyse

## 4. Conclusion

Dans ce chapitre, une méthodologie originale dédiée à l'acquisition et la représentation des connaissances scientifiques sur la valorisation des PRBB en vue de leur transfert vers l'industrie a été présentée. La démarche d'acquisition a permis de recueillir les connaissances scientifiques pertinentes du domaine d'étude et les connaissances préalables nécessaires pour sa compréhension. La prise en compte de la pertinence des connaissances à transmettre dans un processus de transfert est très importante. En effet, l'envoi des connaissances non utiles et peu pertinentes conduit à réduire les performances du transfert. Le travail de recueil a permis également de dresser un bilan de connaissances scientifiques sur le domaine de la valorisation des PRBB. Ce bilan est essentiel pour les scientifiques. Il permet de mettre en évidence à quels niveaux du processus de valorisation se situent les connaissances et de définir les trous de connaissances scientifiques. La définition de ces trous est fondamentale pour orienter de façon pertinente de futures actions de recherche.

La démarche de représentation de connaissances est basée sur l'utilisation de cartes conceptuelles respectant une carte canonique. Dans cette dernière sont utilisées des relations

ontologiques prédéfinis entre les concepts. La représentation proposée se révèle très pertinente pour le transfert car elle offre une représentation homogène de la connaissance à transférer permettant de faciliter son assimilation par le destinataire du transfert. Dans ce contexte, il est intéressant de mettre en œuvre la représentation développée dans une démarche de transfert et voir quel impact elle peut avoir sur les performances du transfert.

**Troisième partie :**  
**Transfert des connaissances scientifiques**

# **Chapitre 3 : Transfert des connaissances scientifiques sur la valorisation des PRBB**

## **1. Introduction**

Le choix d'une valorisation aux PRBB dépend de plusieurs facteurs tels que les facteurs techniques liés aux PRBB (ex : type de contamination, caractéristiques physiques) (Merl, 2004) et les facteurs environnementaux liés au processus de valorisation (ex : l'émission du CO<sub>2</sub> et des métaux toxiques dans l'air) (ADEME, 2005).

Le transfert de connaissances scientifiques sur la valorisation des PRBB a pour objectif d'aider les acteurs de la filière bois à choisir une valorisation optimale et durable des produits à base de bois en fin de vie.

Ce chapitre mettra en évidence la démarche proposée pour transférer les connaissances scientifiques sur la valorisation des PRBB vers les acteurs de la filière bois. L'un des enjeux est d'assurer une meilleure assimilation des connaissances scientifiques transférées par des industriels. Pour atteindre ce but, les connaissances sont reformulées et transmises via un livre électronique de connaissances. La reformulation est faite suivant une carte conceptuelle canonique, des graphes d'influence et des fiches de connaissances en se basant sur la démarche de représentation présentée dans le chapitre précédent. Dans la deuxième partie du chapitre, une évaluation empirique des performances de transfert à partir du livre de connaissances est proposée.

## **2. Démarche de transfert des connaissances scientifique sur la valorisation des PRBB vers les acteurs de la filière**

La démarche suivie pour transférer les connaissances scientifiques sur la valorisation des PRBB vers les acteurs de la filière bois est basée essentiellement sur trois opérations : transmission, assimilation et utilisation (Davenport et Prusak, 2000). La partie suivante représente comment ces trois opérations ont été prises en compte.

### **2.1. Transmission des connaissances scientifiques**

La transmission a été proposée via un livre électronique de connaissances construit de façon

spécifique (Ermine, 2000).

### 2.1.1. Livre électronique de connaissances sur la valorisation des PRBB

Le livre de connaissances est un outil informatique orienté web qui sera le principal média de transfert des connaissances. Il rassemble des connaissances scientifiques pertinentes sur la valorisation des PRBB détenues par un groupe de chercheurs et aussi des connaissances de base et le langage professionnel du domaine de la valorisation pour faciliter l'assimilation des connaissances transférées. Les connaissances ont été typées selon leur contenu : concepts, procédés, méthodes, résultats et références (Figure 22). Elles ont ensuite été représentées par des cartes conceptuelles suivant le modèle canonique de cartes conceptuelles (cf. section 3.1 du chapitre 2), des graphes d'influence (cf. section 3.3 du chapitre 2) et des fiches de connaissance pré-formatées (cf. section 3.2 du chapitre 2).

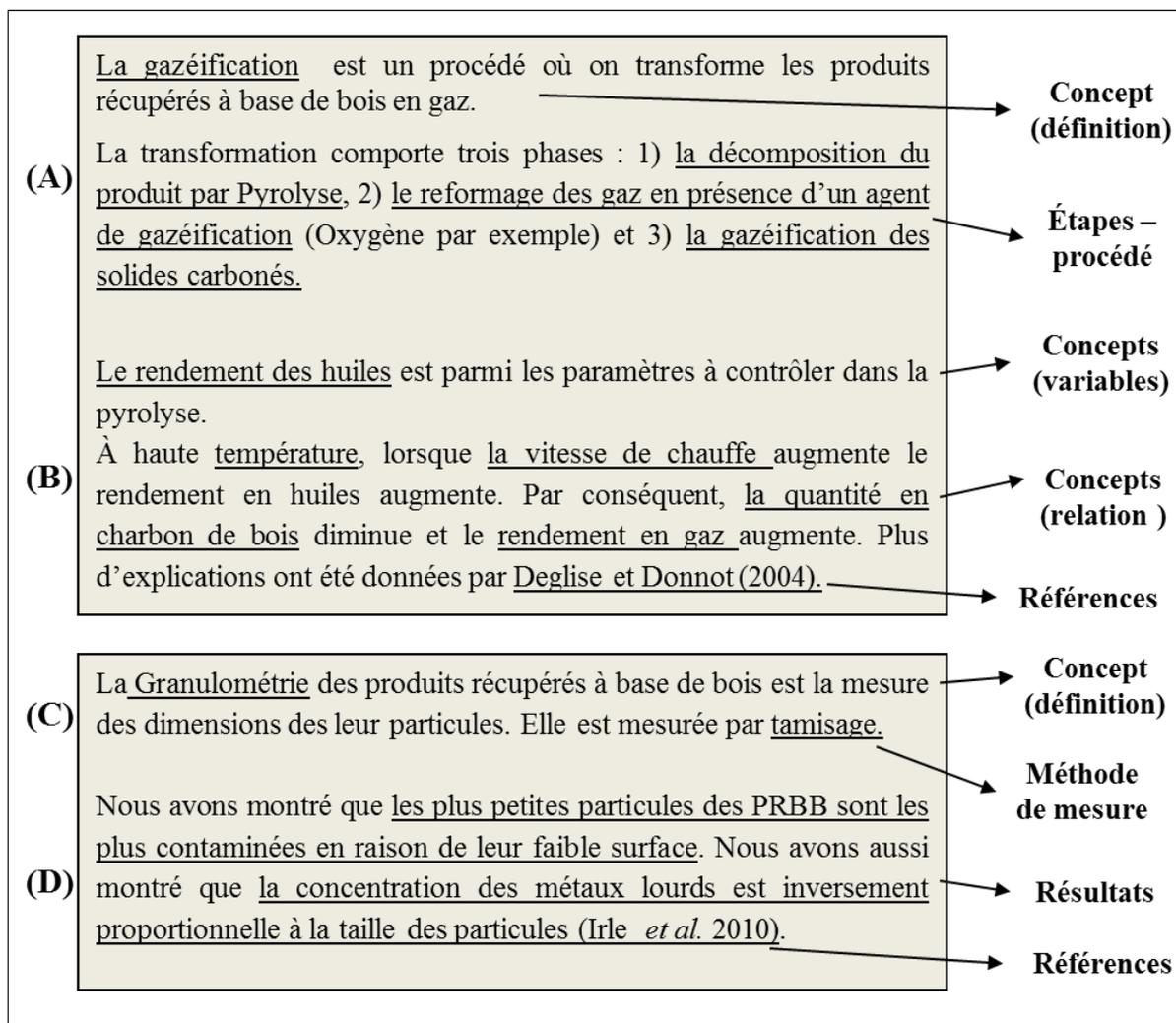


Figure 22: Exemples de connaissances (A) définition du concept Gazéification, (B) les variables qui influencent le concept rendement en huiles, (C) définition du concept Granulométrie et comment il est mesuré et (D) un résultat scientifique sur les PRBB

Les exemples de la Figure 22 illustrent des connaissances qui ont été typées et traduites en cartes conceptuelles, graphes d'influnces et fiches de connaissances :

- L'exemple (A) présente la définition d'un procédé de Gazéification et ses différentes phases. Ces connaissances ont été traduites en une carte conceptuelle suivant le modèle canonique (cf. section 3.1 du chapitre 2) (Figure 23). La carte réalisée déclare le concept Gazéification des produits récupérés à base de bois. La définition de ce dernier a été donnée par le biais de la relation taxonomique "est-un" et ses phases ont été données à travers la relation méréologique "a-pour-composants".

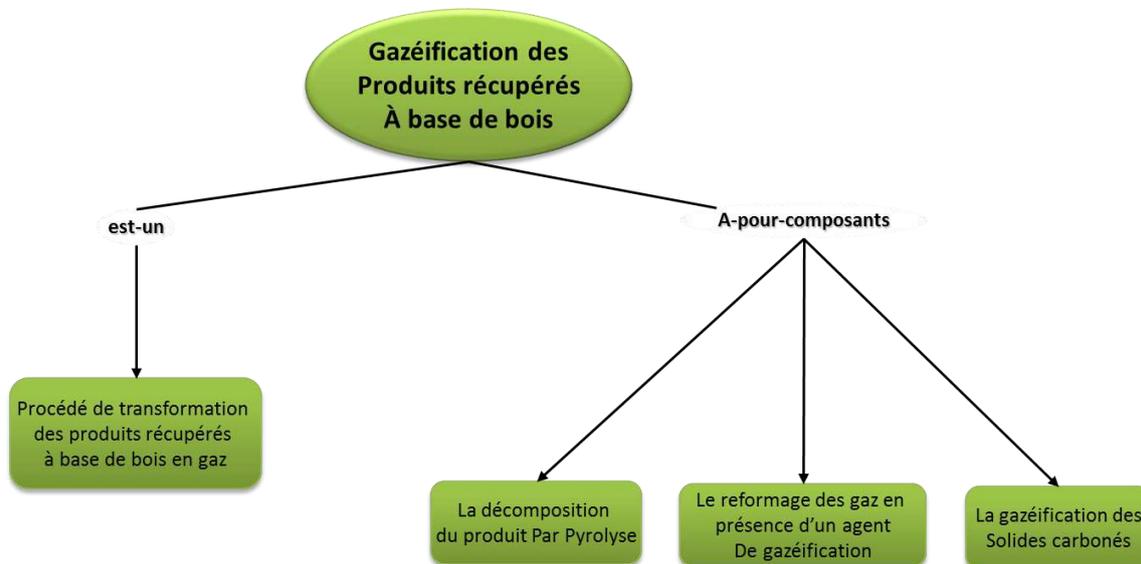


Figure 23 : Carte conceptuelle de déclaration du concept Gazéification des produits récupérés à base de bois

- L'exemple (B) indique des relations d'influences entre les variables Rendement en huiles au cours d'une pyrolyse, Température, Vitesse de chauffe, Rendement en gaz et Quantité du charbon bois. Ces relations ont été alors représentées par un graphe d'influence (Figure 24). La variable principale du graphe est Rendement en huiles avec, en amont les variables qui l'influencent (Température et Vitesse de chauffe) et en aval les variables qu'il influence (Rendement en gaz et Quantité du charbon bois). Ce graphe d'influences indique les variables permettant de faire évoluer le rendement en huiles au cours d'une pyrolyse et les effets de cette évolution sur les autres variables.

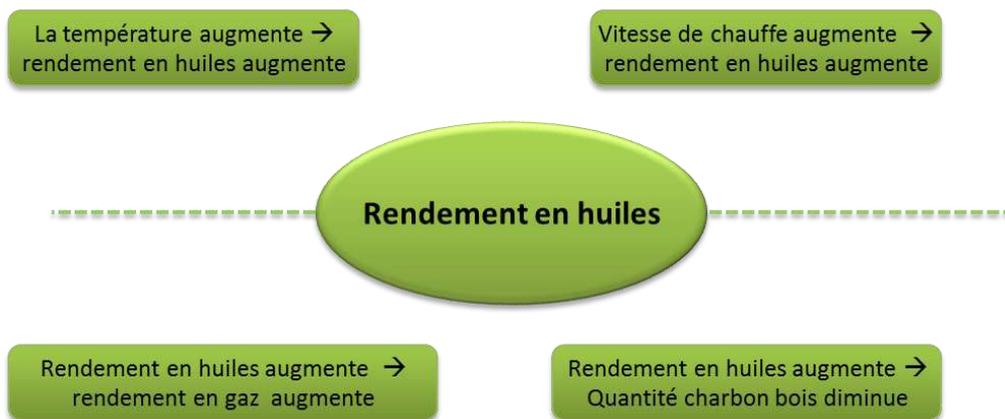


Figure 24 : Graphe d'influences de la variable Rendement en huiles

- L'exemple (C) indique la définition de la Granulométrie et par quelle méthode elle est mesurée. Ces connaissances ont été traduites en une carte conceptuelle de déclaration du concept Granulométrie suivant la forme canonique (Figure 25). La définition du concept a été donnée via la relation "est-un" et la méthode par la quelle est mesuré via la relation du domaine "est-mesuré-par".

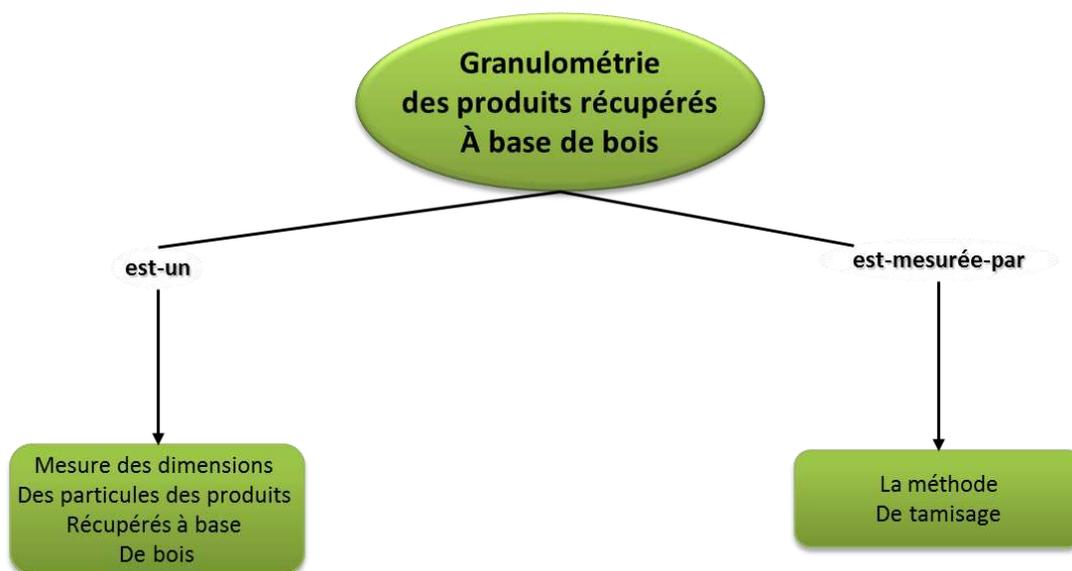
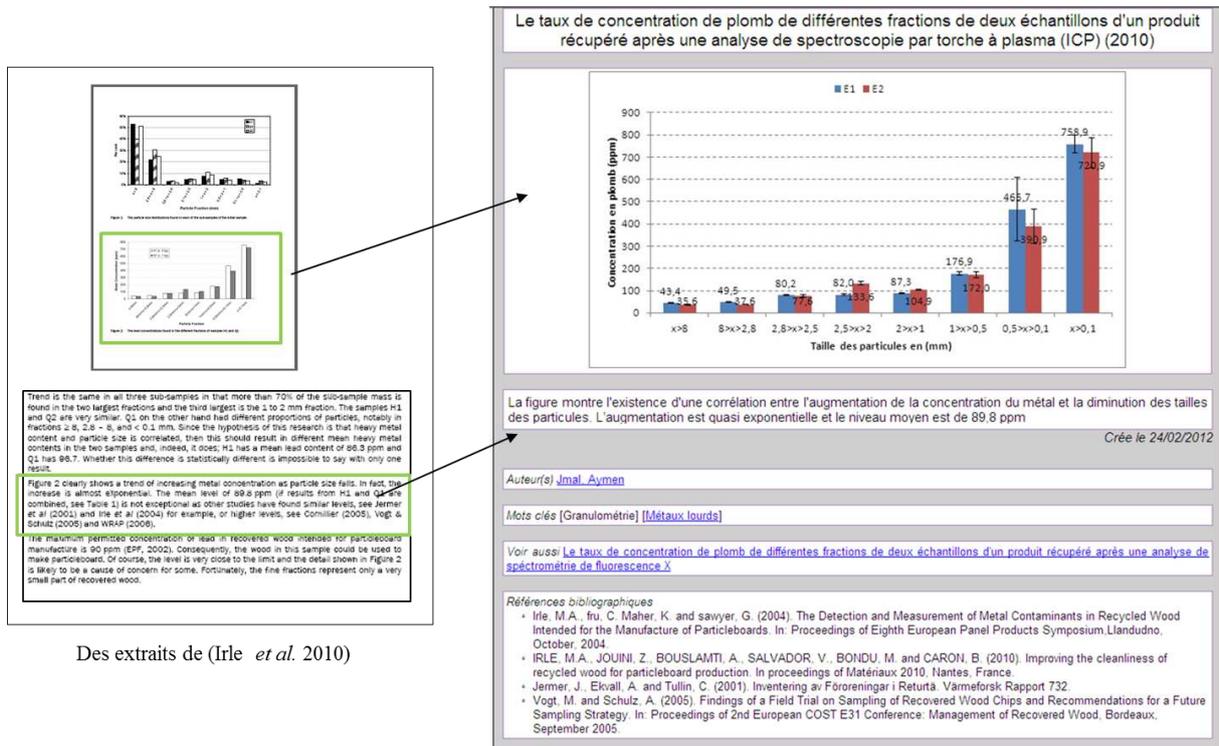


Figure 25 : Partie de la carte conceptuelle de la granulométrie

- L'exemple (D) présente un résultat scientifique d'une étude réalisée sur la relation entre la taille des particules de PRBB contaminés et leur degré de contamination. Des informations (graphiques, explications, références) ont été aussi extraites de l'article de Irle et al. (2010) donné en référence. Les informations extraites ont été traduites en

français, mises en forme et représentées par une fiche pré-formatée de connaissances (Figure 26).



Des extraits de (Irlle *et al.* 2010)

Figure 26 : Fiche de connaissances sur le taux de concentration de plomb de différentes fractions de deux échantillons d'un produit récupéré après une analyse spectroscopique par torche à plasma

Dans ce travail, 25 cartes conceptuelles, 5 graphes d'influences et 80 fiches de connaissances ont été réalisées. Les cartes conceptuelles et les graphes d'influences ont été conçus avec le logiciel CmapTools (Cañas et al. 2004). Les fiches de connaissances ont été créées en utilisant le logiciel de gestion de fiches WorksheetManager. Ce logiciel permet également aux autres participants du projet de commenter le contenu des fiches.

Les cartes conceptuelles, les fiches de connaissances et les graphes d'influences réalisés ont été soumis, individuellement et collectivement, aux experts pour validation de la justesse de la représentation des connaissances. Pour les cartes conceptuelles, l'ingénieur de connaissances commence par expliquer aux spécialistes la structure de la carte conceptuelle canonique. Ensuite, il vérifie avec eux :

- 1) l'exactitude de la dénomination de chaque concept (l'étiquette de chaque nœud) ;
- 2) la validité du positionnement de chaque concept sur chaque carte conceptuelle ;
- 3) l'exactitude de la définition représentée de chaque concept (s'il faut supprimer des nœuds ou en ajouter d'autres) ;

- 4) la validité de chaque relation établie entre les concepts ;
- 5) l'exactitude de l'étiquette de chaque lien est deux concepts.

Les graphes d'influences ont été vérifiés de la même façon que les cartes conceptuelles et les fiches de connaissances ont été présentées aux experts pour une relecture individuelle, en vue de leur correction et validation finale.

Les cartes conceptuelles, les graphes d'influences et les fiches validées ont été ensuite implémentés dans le livre de connaissances et reliés via trois sortes d'hyperliens :

- 1) l'hyperlien concept-carte qui permet d'accéder à la déclaration d'un concept présent sur une carte conceptuelle ou un graphe d'influence;
- 2) l'hyperlien concept-fiche qui permet d'accéder à une fiche de connaissances informative sur un concept ;
- 1) l'hyperlien fiche-fiche qui permet à partir d'une fiche d'accéder à d'autres fiches qui lui sont sémantiquement connexes afin d'avoir des informations complémentaires (notion de voir aussi).

L'implémentation a été faite via l'outil MakeBook© qui est un environnement de création de livre de connaissances développé avec des outils du Web 2.0.

La construction du livre de connaissances repose sur le principe de parcours hiérarchique progressif des différents niveaux de connaissances (du général au spécifique) des cartes conceptuelles. Une carte conceptuelle est située à un niveau de détails limité au concept principal et les hyperliens qu'elle contient pointent vers des connaissances à un niveau de détails supérieur (niveau plus spécifique). Cette structuration des connaissances a pour objectif d'explicitier le contenu des connaissances à transférer et par conséquent d'augmenter l'assimilabilité de ces dernières. En effet, elle offre à l'utilisateur du livre de connaissances la possibilité de le parcourir en descendant à des niveaux de connaissances dépendant de ses besoins ponctuels et de son niveau de compréhension. Ceci permet à l'utilisateur d'approfondir les points qui l'intéressent jusqu'au niveau de connaissances correspondant à ses connaissances préalables ; ce qui lui permet une compréhension suffisante pour l'utilisation des connaissances.

Une vue globale du contenu du livre de connaissances a été donnée dans la page principale de ce dernier pour permettre à l'utilisateur de visualiser d'un premier coup d'œil les thèmes des connaissances transmises (Figure 27). La vue a été proposée sous forme d'une représentation graphique et d'un menu textuel. La représentation met en avant les opérations d'un processus

de valorisation de PRBB et offre la possibilité d'accéder à la carte conceptuelle relative à chaque opération via des liens hypertextes. Le menu textuel est une reformulation textuelle de la représentation graphique. Chaque item du menu renvoie à la carte conceptuelle qui lui est associée.

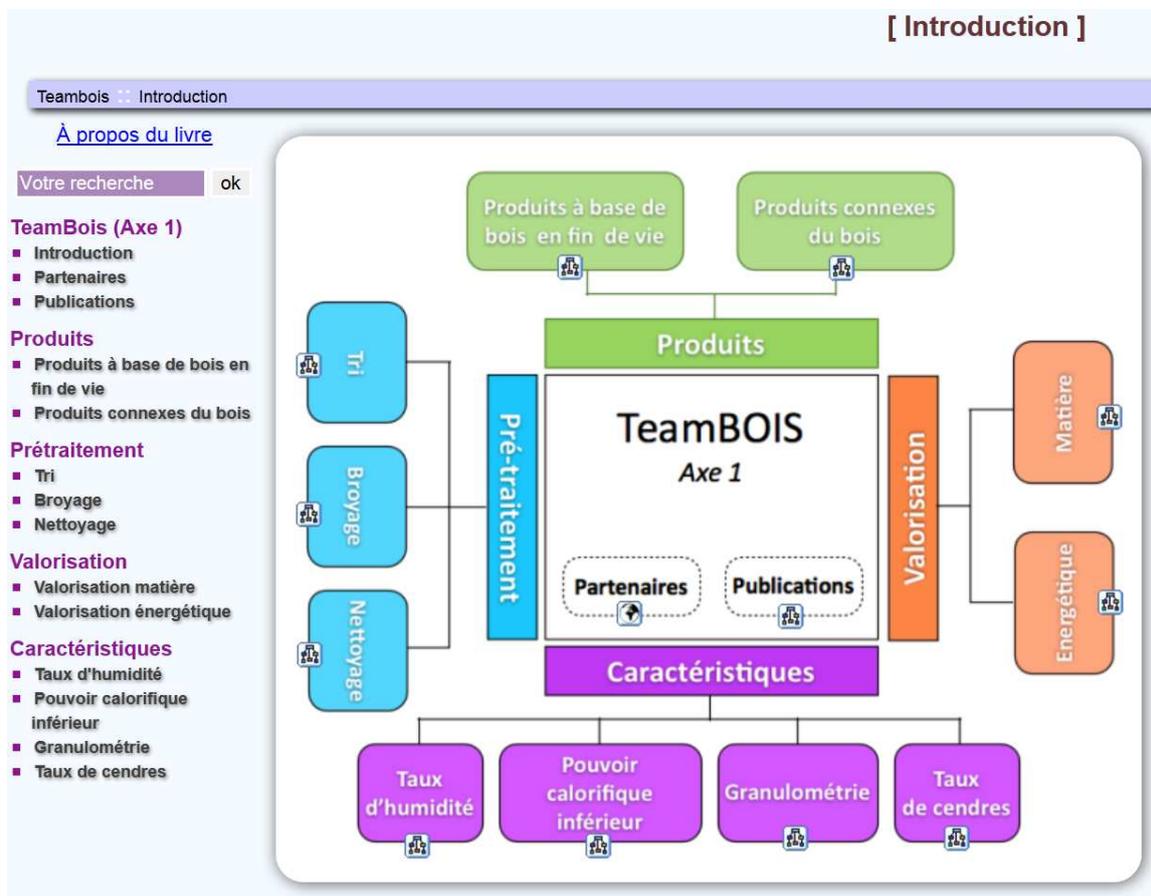


Figure 27 : Page principale du livre de connaissances

### Positionnement du livre de connaissances par rapport aux autres média de transmission

Dans cette partie, un positionnement du livre de connaissances par rapport aux différents médias de transfert de connaissances scientifiques vers les industriels existants est donné. Les médias considérés sont les publications scientifiques, les conférences-séminaires, les échanges informels et le recrutement d'un jeune diplômé. Deux critères principaux ont été analysés : l'accessibilité et l'assimilabilité (compréhension) par le destinataire des connaissances à transférer (Tableau 3).

Le livre de connaissances est un livre électronique et donc dématérialisé. Pour y accéder, il suffit de disposer d'un poste informatique connecté à internet. Dans ce cas, le destinataire pourra consulter à sa guise les connaissances mises à disposition, indépendamment de

l'horaire et du lieu géographique. Il est à conclure alors que le livre de connaissance est facilement accessible. Les médias de type document écrit tels que les publications scientifiques sont aussi facilement accessibles car dans la plupart des cas ils sont dématérialisés. Par contre, les médias de transfert de type discours oral tels que les conférences-séminaires ou échanges informels avec les chercheurs du domaine nécessitent un contact direct. L'accessibilité de ces derniers est soumise à des préalables telles que la proximité géographique entre le chercheur et l'industriel et leurs disponibilités respectives.

Le livre de connaissances à travers son architecture offre à l'utilisateur la possibilité de naviguer progressivement dans son contenu (du général au spécifique) jusqu'au niveau de détails suffisant à sa compréhension. Par contre, les publications scientifiques sont destinés aux scientifiques et sont donc adaptés à leur niveau de compréhension ; ce qui ne les rend pas facilement compréhensibles pour les non scientifiques. Il est à noter que les médias de type discours oral donnent la possibilité d'interagir avec l'orateur en lui posant des questions sur les points incompris, et ainsi permettre à l'orateur d'adapter son discours.

Un autre aspect de l'assimilabilité d'une connaissance mérite d'être mentionné c'est la possibilité d'interpréter une question afin d'y apporter une réponse approchante quand on ne dispose pas des éléments de réponse stricte. Par exemple, le développement d'un livre de connaissances offre la possibilité d'implémenter un raisonnement automatique sur les connaissances afin de permettre la recherche sémantique d'information, ce que les publications, même dématérialisées, ne permettent pas. Par contre, un orateur humain est tout à fait capable de donner des réponses approchantes à une question à laquelle il ne peut pas répondre strictement. Un autre point qui mérite d'être mentionné c'est que le livre de connaissances rassemble les connaissances d'un groupe de spécialistes alors que le média recrutement d'un jeune diplômé permet à l'industriel de n'accéder qu'aux connaissances individuelles du recruté.

Tableau 3: Principaux média de transmission de connaissance de l'université vers l'entreprise

| Média de transmission  |  | Disponibilité des ressources | Conservation (réutilisabilité) Des connaissances | Assimilabilité des connaissances |
|--|--|------------------------------|--|----------------------------------|
| Document écrit   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Publications</li> <li>- Brevets</li> <li>- licences</li> </ul>  | élevée                       | élevée   | faible                           |
| Discours oral  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conférences / séminaires</li> </ul>   | moyenne                      | très faible                                      | élevée                           |
| Document écrit et discours oral associés à des pratiques guidées | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Échanges informels</li> <li>- Contrats de recherche</li> <li>- Recrutement de diplômé</li> <li>- Consultance</li> </ul> | moyenne                      | moyenne  | élevée                           |
| - Livre de connaissances   |  | élevée                       | élevée   | élevée                           |

## 2.2. Assimilation des connaissances scientifiques

L'assimilation (**absorption**) a été prise en compte via la reformulation des connaissances et une représentation graphique des connaissances suivant une carte conceptuelle canonique et un format prédéfini de fiches. La reformulation a été guidée par des entités pertinentes du domaine des industriels et le typage des connaissances. L'assimilation des connaissances dans ce travail a été étudiée en fonction de deux paramètres : la charge cognitive (cf. section 7 du chapitre 2) et la désorientation (cf. section 8 du chapitre 2). La prise en compte de ces deux paramètres dans la reformulation des connaissances permet de favoriser leur assimilation.

### 2.2.1. Charge cognitive

Cette partie présente comment les trois charges cognitives : extrinsèque pertinente, extrinsèque inutile et intrinsèque (Sweller et al. 1998) ont été prises en compte dans la représentation et la reformulation des connaissances.

La proposition d'une représentation graphique et homogène des connaissances (carte conceptuelle canonique et format prédéfini de fiches) a pour objectif de faciliter la

transformation des connaissances contenues dans le livre de connaissances en images mentales par le destinataire du transfert et par conséquent, leur stockage dans la mémoire à long terme. Ceci permettra de réduire la charge de la mémoire de travail et donc de minimiser la charge cognitive extrinsèque pertinente lors de la navigation dans le livre (Leahy et Sweller, 2005).

Le typage des connaissances scientifiques en fonction de leur contenu (concepts, procédés, résultats) a pour but de proposer le formalisme de représentation le plus adapté à chaque contenu (ex : le choix des fiches de connaissances pour représenter les résultats). Ceci permettra d'éviter la charge cognitive extrinsèque inutile de l'utilisateur du livre (Sweller et al. 1998).

La mise à disposition des connaissances préalables (les connaissances de base, le langage parlé, les dernières avancées technologiques) sur le domaine de la valorisation des PRBB dans le livre de connaissances avec les connaissances à transmettre a pour objectif de faciliter l'acquisition d'une image mentale des relations entre les différents fragments de la connaissance scientifique dans le livre. Ceci permettra le traitement des différents grains en un seul élément dans la mémoire et par conséquent de réduire la charge cognitive intrinsèque du l'utilisateur.

### 2.2.2. Désorientation

Les deux types de désorientation structurelle et conceptuelle (Dias et Sousa, 1997) ont été aussi pris en compte.

L'organisation des connaissances suivant les étapes du processus de valorisation des PRBB utilisé quotidiennement dans l'industrie du bois a pour objectif d'aider l'utilisateur à appréhender la structure du livre de connaissances et de l'orienter pendant sa navigation dans ce dernier. Ceci devrait minimiser la désorientation structurelle de l'utilisateur du livre de connaissances. Il est à noter que la proposition d'une vue globale du contenu du livre sous une forme graphique, la présence d'un menu textuel et l'affichage du chemin parcouru pendant la navigation en cours aideront l'utilisateur à se situer (Figure 28).

Une représentation graphique homogène des connaissances et la proposition d'un moteur de recherche d'informations offrent à l'utilisateur une lecture standardisée et simplifiée de l'ensemble des cartes et un accès rapide aux connaissances souhaitées. Ceci permettra de réduire la désorientation conceptuelle au cours de la navigation dans le livre.

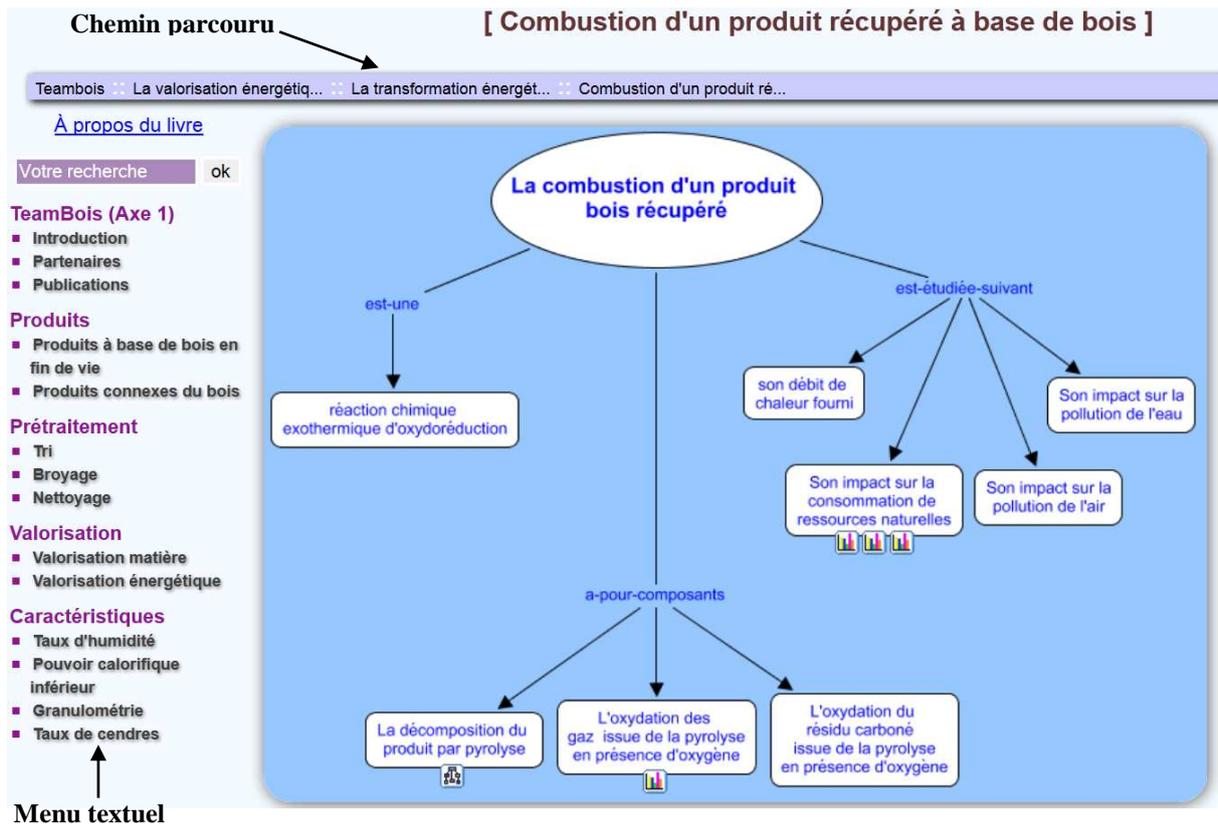


Figure 28 : La page du livre de connaissances relatives à la combustion d'un PRBB

### 2.3. Utilisation des connaissances scientifiques

L'utilisabilité des connaissances a été prise en compte via la représentation des résultats scientifiques et les procédures de mise en œuvre des procédés de valorisation sous forme de fiches.

Elle a été renforcée par la représentation des leviers d'action sur les concepts du domaine sous forme de graphes d'influences. Un graphe d'influences présente les variables qui influencent la variable de référence (les leviers à actionner pour faire évoluer la variable de référence) et les variables qui sont influencées par celle de référence (les variables qui vont évoluer si on fait évoluer la variable de référence). Donc, un tel graphe permet de savoir sur quelles variables agir pour faire évoluer une variable de référence et les variables qui sont affectées par l'évolution de la variable de référence. Cela permet de savoir à priori quelle est la cascade d'évolutions qui va se déclencher si nous faisons évoluer une variable "levier" et donc, de l'anticiper dans la conception d'un processus.

Les performances du transfert à partir du livre de connaissances ont été évaluées en fonction de la capacité du destinataire à assimiler les connaissances transférées. Trois critères ont été retenus : le degré de compréhension du contenu du livre, la charge cognitive de l'utilisateur au cours de l'utilisation du livre de connaissances et sa désorientation. La compréhension du

contenu du livre sans l'investigation d'un grand effort mental et sans être désorienté au cours de l'utilisation du livre favorise certainement l'assimilabilité des connaissances transférées.

### **3. Évaluation des performances de transfert**

L'objectif général de l'expérience est double :

- 1) explorer l'effet de l'utilisation d'une forme canonique des cartes conceptuelles comme grille de lecture(guide) lors de la navigation dans le livre de connaissances sur l'effort mental investi et la désorientation ;
- 2) analyser la capacité des participants à comprendre le contenu du livre de connaissances lors de son utilisation.

Les utilisateurs disposant de la carte conceptuelle canonique comme grille de lecture devraient avoir une charge cognitive plus importante que les utilisateurs non guidés. En effet, en plus de la navigation, ils devront gérer la charge cognitive liée à la lecture de la grille. En ce qui concerne la compréhension, la possibilité de parcourir le livre de connaissances à différents niveaux de connaissances devrait faciliter la compréhension du contenu de ce dernier.

#### **3.1. Participants**

Soixante-dix apprentis du domaine d'étude (élève-ingénieur en 2<sup>ème</sup> année science du bois à l'École Supérieure du Bois) ont participé à l'expérience, soit 16 filles et 54 garçons. Leur âge moyen est égal à 23 ans avec un écart-type de 1.98. Les participants maîtrisent parfaitement la langue française et ne présentent aucun problème comportemental ou perceptif pouvant affecter l'assimilation des connaissances. Ils ont tous les connaissances scientifiques de base et des connaissances spécialisées sur le bois acquises au cours de leur formation à l'École Supérieure du Bois. Pour des raisons d'organisation et de disponibilité de tous les participants, l'expérience a été menée à la fin du premier semestre, après l'enseignement d'un seul cours très généraliste d'une heure vingt sur la valorisation. Donc, les participants devraient avoir de faibles connaissances préalables sur la valorisation des PRBB.

L'échantillon a été reparti dans deux groupes, appelés respectivement participants avec grille de lecture (PAG) et participants sans grille de lecture (PSG). Cette répartition a été faite principalement en fonction de l'âge, du genre et de la disponibilité des salles pour l'expérience (Tableau 4).

Tableau 4: Composition des deux groupes

| Participants | Age moyen | Nombre de filles | Nombre de garçons | Nombre total |
|--------------|-----------|------------------|-------------------|--------------|
| PAG          | 21.9      | 8                | 14                | 22           |
| PSG          | 22.4      | 8                | 40                | 48           |

## 3.2. Matériel

Un livre électronique (hypermédia) de connaissances sur la valorisation des PRBB a été délivré à tous les participants sur des ordinateurs de mêmes caractéristiques (performance et taille de l'écran). Le livre contient un réseau de 25 cartes conceptuelles, 5 graphes d'influences et 80 fiches de connaissances.

## 3.3. Mesures

### 3.3.1. Mesure de degré de compréhension

Le degré de compréhension du contenu du livre de connaissances a été mesuré par l'intermédiaire de deux tests réalisés avant (pré-test) et après (post-test) la navigation dans le livre de connaissances (Vakilifard et Armand, 2011). Au cours de ce travail, deux niveaux de compréhension à partir du livre de connaissances ont été mesurés : le niveau littéral et le niveau inférentiel ou interprétatif (Kintsch, 1998). Le niveau littéral correspond à la compréhension directe des informations données explicitement dans le livre de connaissances. Le niveau inférentiel correspond à la compréhension des informations implicites supplémentaires déduites à partir des informations explicites.

Les deux tests de compréhension mis en place sont similaires et se présentent sous la forme d'un questionnaire à une seule réponse correcte (QCU). Le questionnaire est composé de 10 questions de types littérales et inférentielles sur la valorisation des PRBB. Les questions (1) : *De quelle variable dépend le pouvoir calorifique inférieur d'un produit récupéré à base de bois ?* et (2) : *Quelle est la méthode la plus rapide pour mesurer le taux d'humidité d'un produit récupéré à base de bois ?* (Figure 29) présentent respectivement un exemple de questions littérales et un exemple de questions inférentielles. L'ensemble des questions sont données dans l'annexe 1. La réponse à la question (1) nécessite la compréhension directe de l'équation du pouvoir calorifique inférieur qui est donnée explicitement dans le livre de connaissances. Par contre, la réponse à la question (2) nécessite la combinaison de plusieurs informations contenues dans le livre de connaissances : tout d'abord, il faut déterminer le

temps de mesure nécessaire pour chaque méthode qui est donné explicitement dans le livre de connaissances et ensuite comparer les temps afin d'en déduire la méthode la plus rapide.

|   |
|---|
| <p><i>Le pouvoir calorifique inférieur d'un produit récupéré à base de bois dépend principalement de :</i></p> <p>(1)</p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> L'élasticité du produit récupéré</li><li><input type="checkbox"/> La taille du produits récupéré</li><li><input type="checkbox"/> L'humidité du produit récupéré</li></ul> <p><i>Quelle est la méthode la plus rapide pour mesurer le taux d'humidité d'un produit récupéré à base de bois?</i></p> <p>(2)</p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> La méthode d'étuvage ventilée</li><li><input type="checkbox"/> La méthode de four micro-onde</li><li><input type="checkbox"/> La méthode de lampe infrarouge</li></ul> |
|---|

Figure 29 : Exemples de questions littérales et inférentielles à partir du questionnaire de mesure du degré de compréhension

Le score de niveau de compréhension correspond au nombre de réponses correctes des 10 questions du test. Le score varie alors entre 0 et 10 qui est le nombre maximal de bonnes réponses.

### 3.3.2. Mesure de la désorientation

La désorientation au cours de l'utilisation du livre de connaissances a été mesurée par la méthode d'auto-évaluation sur une échelle de Likert (Likert, 1932) à sept-points :

<très très faible, très faible, faible, moyen, élevé, très élevé, très très élevé>. Des valeurs allant de 1 à 7 ont été attribuées à chaque niveau pour pouvoir déterminer une valeur quantitative de la désorientation.

Dans le cas où un seul dispositif est testé, une désorientation de niveau très très faible à faible peut être considérée comme négligeable.

La désorientation a été mesurée en fonction de la capacité de l'utilisateur à identifier sa localisation dans le livre, à retrouver l'information et à comprendre les relations entre les différents documents du livre au cours son utilisation. Pour ce faire, un questionnaire de cinq questions (Annexe 2) a été mis en place en se basant sur les travaux d'Amadiou et al. (2009).

L'alpha de Cronbach (Cronbach, 1951 ; Santos, 1999) pour les questions posées a donné une valeur de 0.88. Cette valeur montre que les questions sont homogènes et mesurent bien le même élément qui est la désorientation. Donc, la valeur de la désorientation a été ramenée à la valeur moyenne des réponses des participants pour chaque item (notes de 1 à 7).

### 3.3.3. Mesure de la charge cognitive

La charge cognitive a été mesurée par la méthode d'auto-évaluation de l'effort mental investi au cours de l'utilisation du livre de connaissances sur une échelle de Likert à sept-points (très très faible jusqu'à très très élevé) (Pass, et al. 2003). Pareillement à la désorientation, une charge cognitive de niveau 'faible' est considérée comme négligeable dans le cas du test d'un seul dispositif. L'effort mental a été mesuré à deux niveaux : un niveau général et un niveau spécifique. Le premier niveau consiste à mesurer l'effort mental investi au cours de l'utilisation du livre d'une manière globale. Le deuxième niveau correspond à la mesure de l'effort mental investi au cours de l'exploration des cartes conceptuelles. Pour ce faire, deux questions (Annexe 2) ont été définies en se basant sur les travaux d'Amadiou et al. (2009b). L'alpha de Cronbach pour les questions posées a donné une valeur de .89. Cette valeur montre que les questions sont homogènes et mesurent bien le même élément qui la charge cognitive. Donc, la valeur de la charge cognitive a été ramenée à la valeur moyenne des réponses des participants pour chaque item (notes de 1 à 7).

## 3.4. Procédure

L'expérience a été menée en séances individuelles d'environ soixante-quinze minutes. Elle s'est déroulée en six phases (Figure 30). Les participants devaient tout d'abord répondre au questionnaire du pré-test sur une feuille A4. Ensuite, des consignes sur le déroulement de l'expérience et l'utilisation du livre de connaissances leur ont été données. L'utilisation du livre de connaissances leur a été présentée par l'expérimentateur et les participants ont été informés qu'ils devraient indiquer sur une échelle d'évaluation le niveau d'effort mental et de désorientation qu'ils ressentiraient au cours de l'utilisation du livre de connaissances. L'échelle d'évaluation, ses caractéristiques et sa fonction ont été présentées. Les deux groupes PAG et PSG ont été répartis dans leurs salles respectives. Le groupe PAG a été informé de l'utilisation systématique d'une forme canonique de carte conceptuelle et de sa grille de lecture sous-jacente, ce qui n'a pas été le cas pour le groupe PSG. Une première séance de navigation libre dans le livre de vingt-cinq minutes a été effectuée par tous les participants. À l'issue de cette navigation, chaque participant a répondu à un test de désorientation et de charge

cognitive (test 1). Les questions de désorientation et de charge cognitive et les échelles d'évaluation étaient disposées sur des feuilles de format A4 distribuées à chaque participant. Ensuite, une deuxième navigation libre de vingt-cinq minutes a été effectuée par les participants. La navigation a été suivie d'un deuxième test de désorientation et charge cognitive (test 2). La procédure des tests a été identique pour les deux groupes (PAG et PSG). À la fin de l'expérience, les participants ont répondu à un questionnaire de post-test. Ces derniers n'ont pas été informés de l'existence d'un post-test avant et au cours de la navigation afin d'éviter toute tentative de mémorisation du contenu du livre. En effet, l'objectif visé du test était d'évaluer le niveau de compréhension du contenu du livre par chacun des participants et non pas leur capacité de mémorisation.

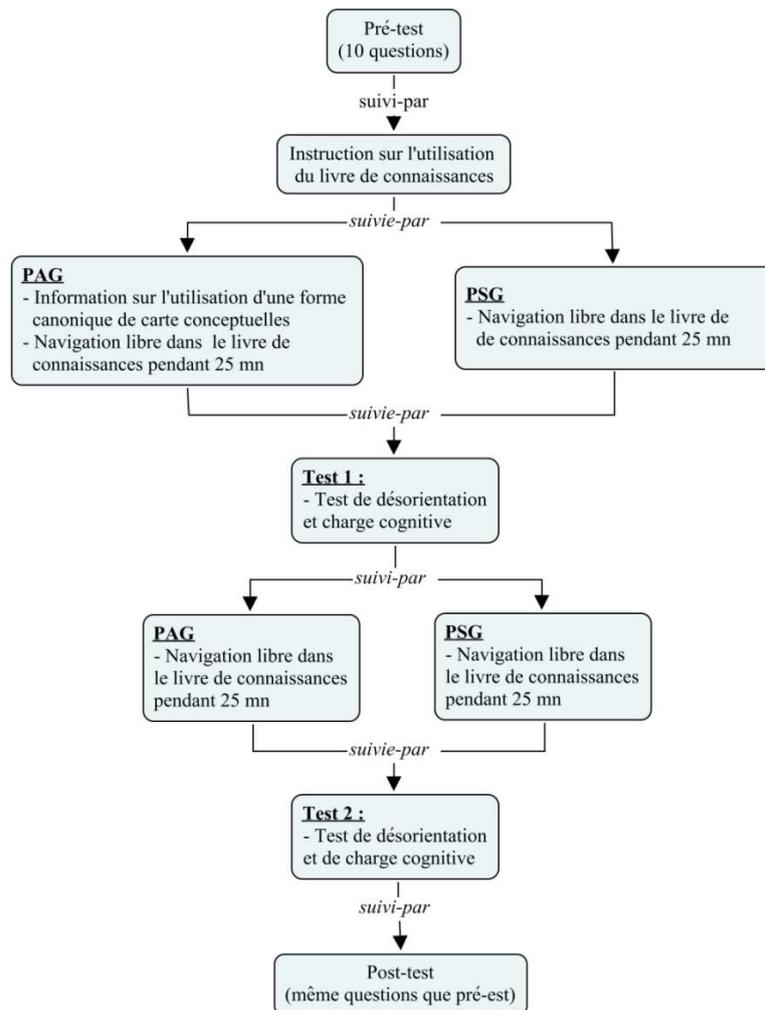


Figure 30 : Déroulement de l'expérience de mesure de la désorientation et de la charge cognitive

### **3.5. Résultats**

Les résultats portant sur la compréhension, la désorientation et la charge cognitive ont été présentés séparément. Dans cette partie, la moyenne et l'écart type seront respectivement désignés par  $m$  et  $\sigma$ . L'analyse statistique des résultats ici a été ramenée à l'analyse de la variance avec un niveau seuil de signification de .05.

#### **3.5.1. Connaissances préalables**

Les connaissances préalables des participants sur le domaine de la valorisation des PRBB ont été évaluées par le pré-test de compréhension (voir ci-dessus). L'objectif étant de vérifier le niveau de connaissances préalables de chacun des groupes (PAG et PSG) et l'homogénéité de ce niveau entre les deux groupes.

En pré-test, les PSG ont eu un score moyen  $m = 3.27$  sur 10 avec un écart type  $\sigma = 1.41$  et les PAG ont eu un score moyen  $m = 3.22$  sur 10 avec un écart type  $\sigma = 1.77$ , ce qui montre que les participants de chacun des deux groupes ont de très faibles connaissances préalables.

Une analyse de variance (ANOVA) à un facteur n'a indiqué aucun effet significatif entre les scores moyens du pré-test des deux groupes : coefficient de Fischer observé  $F(1,68) = .16$  avec un degré de signification  $p > .05$ , ce qui suggère que les PAG et les PSG ont des connaissances préalables similaires sur la valorisation des PRBB.

Les résultats étaient attendus car les participants ont le même niveau de formation sur le bois (2<sup>ème</sup> année science du bois) et n'ont pas suivis des cours spécialisés sur la valorisation des PRBB.

#### **3.5.2. Compréhension**

Une ANOVA à un facteur de l'ensemble des résultats des pré- et post-test a été utilisée pour comparer le degré de compréhension des connaissances du domaine d'étude des participants avant et après la navigation dans le livre de connaissances. Cette analyse a indiqué un effet significatif :  $F(1, 138) = 58.43$  ;  $p < .05$  entre le nombre des réponses correctes des pré-tests et le nombre de réponses correctes du post-test réalisés. Les participants ont eu plus de réponses correctes dans le post-test : moyenne de nombre de réponses correctes  $m = 8.14$  sur 10 avec un  $\sigma = 1.34$ , que dans le pré-test : moyenne de nombre de réponses correctes  $m = 6.10$  sur 10 avec un  $\sigma = 1.74$ . Ce résultat suggère qu'au cours de la navigation, les participants ont pu identifier et comprendre des nouvelles connaissances sur le domaine d'étude à partir du livre de connaissances.

### 3.5.3. Désorientation et charge cognitive

#### 3.5.3.1. Désorientation

Le niveau de désorientation de chacun des groupes a été évalué. Les PAG ont eu un niveau de désorientation égal à 3.60 sur 7 ( $\sigma = 1.10$ ) au cours de la première séance de navigation dans le livre de connaissances et de 3.55 sur 7 ( $\sigma = 1.30$ ) lors de la deuxième séance. Ceci suggère que l'utilisation du livre de connaissances a généré une faible désorientation aux PAG.

En ce qui concerne les PSG, le niveau de désorientation est de 3.62 sur 7 ( $\sigma = 0.95$ ) au cours de la première séance de navigation et de 3.09 sur 7 ( $\sigma = 1.18$ ) pour la deuxième (Tableau 5). Il apparaît aussi que le livre de connaissance a généré une faible désorientation aux PSG. Les valeurs de désorientation montrent aussi que l'utilisation du modèle canonique de cartes conceptuelles comme grille de lecture de ces dernières ne génère pas une désorientation significative.

Les niveaux de désorientation des PAG et PSG après chaque navigation dans le livre ont été comparés.

Au cours de la première séance de navigation dans le livre de connaissances, les PAG et PSG ont eu à peu près les mêmes moyennes de scores de désorientation : 3.60 sur 7 ( $\sigma = 1.10$ ) pour les PAG et 3.62 sur 7 ( $\sigma = 0.95$ ) pour les PSG (Tableau 5).

Une ANOVA à un facteur des scores moyens de désorientation du test 2 a été utilisée pour comparer le niveau de désorientation des PAG et PSG au cours de la deuxième séance de navigation. Cette analyse n'a montré aucune différence significative :  $F(1,68) = 1.97$  avec un degré de signification  $p > .05$  entre les moyennes des scores de désorientation (des cinq questions posées) des deux groupes. Les détails des résultats des ANOVA sont donnés dans l'Annexe 3. Les résultats suggèrent que les participants disposant d'une grille de lecture aient le même niveau de désorientation que les participants sans une grille de lecture au cours de la première et la deuxième séance de navigation.

#### 3.5.3.2. Charge cognitive

La charge cognitive liée à l'utilisation du livre de connaissances de chacun des deux groupes de participants a été évaluée. Au cours de la première séance de navigation dans le livre, les PAG et PSG ont investi un effort mental égal respectivement à 4.21 et 4.29 sur 7 lors du test 1. Pendant la deuxième séance de navigation, les PAG et PSG ont investi un effort mental égal respectivement à 3.89 et 3.59 sur 7 lors du test 2 (Tableau 5). Sur une échelle de sept-points, les valeurs obtenues correspondent à un niveau 'moyen' pour le test 1 et un niveau

‘faible’ pour le test 2. Cette interprétation suggère que les PAG et les PSG du livre de connaissances arrivent à naviguer dans son contenu sans avoir une charge cognitive importante (une surcharge cognitive).

Les niveaux d’efforts mentaux des PAG et PSG après chaque navigation dans le livre ont été comparés.

Une ANOVA des scores moyens de l’effort mental du test 1 a été utilisée pour comparer la charge cognitive des PAG et PSG au cours de la première séance de navigation dans le livre de connaissances. Cette analyse n’a indiqué aucune différence significative :  $F(1,68)=.06$  ;  $p > .05$  entre les moyennes des scores d’effort mental des participants des deux groupes.

Une autre ANOVA à un facteur appliquée sur les moyennes des scores de l’effort mental du test 2 n’a indiqué aussi aucun effet significatif :  $F(1,68) = .06$ ,  $p > .05$ . Les détails des résultats des ANOVA sont donnés dans l’Annexe 3. Les résultats obtenus suggèrent que les participants disposant d’une grille de lecture aient le même niveau de désorientation que les participants sans une grille de lecture au cours de la première et la deuxième séance de navigation.

Les résultats des ANOVA montrent clairement que les participants non prévenu de la forme canonique des cartes conceptuelles (PSG) avaient les mêmes niveaux de désorientation et d’effort investi que les participants prévenus de la forme canonique (PAG). Il apparaît que l’utilisation de la forme canonique pour établir les cartes conceptuelles facilite la lecture de ces dernières. Elle peut être considérée comme étant de compréhension intuitive, et qu’il n’était pas nécessaire d’accompagner le livre de connaissances d’une grille de lecture.

Tableau 5 : Moyenne (m) et écart type ( $\sigma$ ) du niveau de charge cognitive et de désorientation

|                        | PAG                  |                      | PSG                  |                      |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                        | Test 1 m( $\sigma$ ) | Test 2 m( $\sigma$ ) | Test 1 m( $\sigma$ ) | Test 2 m( $\sigma$ ) |
| Charge cognitive (1-7) | 4.21 (1.20)          | 3.89 (1.58)          | 4.29 (1.03)          | 3.59 (1.26)          |
| Désorientation (1-7)   | 3.60 (1.10)          | 3.55 (1.30)          | 3.62 (0.95)          | 3.09 (1.18)          |

### 3.6. Discussions

Les objectifs particuliers de l’étude étaient d’examiner l’effet d’utiliser la forme canonique de cartes conceptuelles comme grille de lecture pendant la navigation dans le livre de connaissances sur la charge cognitive et la désorientation et d’analyser la capacité de compréhension des nouvelles connaissances contenues dans le livre de connaissances.

L'analyse des résultats des tests d'évaluation de la charge cognitive des utilisateurs du livre de connaissances a révélé que l'effort mental déclaré par les participants disposant de la forme canonique utilisée pour établir toutes les cartes conceptuelles est similaire à celui déclaré par les participants ne disposant pas de cette grille de lecture. Ceci suggère que du point de vue de la complexité, la tâche de navigation dans le livre de connaissances a été exécutée de la même manière par les deux groupes. Ce résultat n'était pas attendu étant donné que les participants guidés avaient à exploiter la grille de lecture en plus de la navigation. Il est possible d'en conclure que l'utilisation de la grille de lecture, la forme canonique des cartes conceptuelles, ne génère pas un effort mental supplémentaire.

L'analyse des résultats des tests d'évaluation de la désorientation des utilisateurs du livre de connaissances a montré que le niveau de désorientation déclaré par les participants disposant de la forme canonique utilisée pour établir toutes les cartes conceptuelles est similaire à celui déclaré par les participants ne disposant pas de cette grille de lecture. Ceci qui suggère que les participants non informés de l'existence de la forme conique ont pu créer une image mentale de cette dernière et l'utiliser comme guide au cours de l'utilisation du livre de connaissances. Ce résultat montre que des cartes conceptuelles respectant la forme canonique sont de lecture intuitive.

L'analyse des résultats des tests d'évaluation de la compréhension du contenu du livre de connaissance par l'ensemble des participants a montré que ces derniers avaient une meilleure réussite dans le post-test que dans le pré-test. La moyenne des réponses correctes dans le post-test était 7.08 alors que celle du pré-test était 3.25. Il est important de remarquer que l'écart entre les deux tests est très élevé et significatif. Ceci suggère que les participants ont pu acquérir des nouvelles connaissances suite à la consultation du livre de connaissances. Ce résultat est en cohérence avec les résultats trouvés sur la charge cognitive et la désorientation. En effet, l'investissement d'un effort mental moyen accompagné d'une faible désorientation au cours de l'utilisation du livre de connaissances favorise la compréhension de son contenu.

Un résultat important mérite d'être discuté est que tous les participants ont des faibles connaissances préalables sur la valorisation et malgré cela ces derniers ont investi un effort mental moyen et acceptable et une faible désorientation au cours de la navigation dans le livre de connaissances. En se basant sur les travaux d'Amadiou et al. (2009b), nous pouvons déduire que la structure hiérarchique des cartes conceptuelles a permis d'orienter les participants au cours de la navigation dans le livre de connaissances, ce qui a favorisé la minimisation de leur désorientation et leur charge cognitive. D'une manière plus précise, la

représentation des cartes conceptuelles suivant la forme canonique proposée a fourni un guide de haut niveau pour les participants ayant des faibles connaissances préalables. Néanmoins, l'effet de la forme canonique sur la désorientation et la charge cognitive n'a pas été examiné par rapport à des participants avec des connaissances préalables élevées. Dans ce contexte, les travaux de Chen et al. (2006) et Amadiou et al. (2009b) ont montré que la structure des cartes conceptuelles n'a aucun effet sur les performances des utilisateurs avec des connaissances préalables élevées. Dans ce cas de figure, la forme canonique paraît moins utile pour les participants ayant des connaissances préalables très élevées. En effet, ces derniers arrivent à partir de leurs connaissances préalables à construire rapidement une image mentale du contenu du livre de connaissances, ce qui leur permet d'avoir plus de ressources cognitives et par conséquent d'éviter une situation de désorientation.

## **4. Conclusion et perspectives**

### **4.1. Conclusion**

Le but de ce chapitre était de mettre en place une méthodologie de transfert de connaissances scientifiques sur la valorisation des PRBB vers les acteurs de la filière bois. Trois critères ont été évalués : la compréhension, la charge cognitive et la désorientation. Les résultats trouvés dans ce chapitre montrent que le mode de représentation des cartes conceptuelle suivant la forme canonique proposée et les fiches suivant le format proposé a facilité le transfert des connaissances. L'utilisation d'une carte conceptuelle par concept à un niveau détail limité reliée à d'autres cartes conceptuelles et/ou fiches via des hyperliens permettant le passage d'un niveau de connaissance plus général à un niveau plus spécifique a permis d'explicitier sans complexifier les connaissances à transférer. Ce choix de représentation des connaissances ajouté aux études récentes (Orúe et al. 2008 ; Moon et al. 2011) qui montrent l'avantage et l'efficacité des cartes conceptuelles pour le transfert des connaissances par rapport à d'autres formats ont facilité le transfert. Le typage ontologique des relations entre concepts d'une même carte a aussi permis de les structurer d'une manière uniforme et hiérarchique. Cette structuration a permis la mise en évidence, sur chaque carte conceptuelle, du concept principal et des connaissances pertinentes et utiles qui lui sont rattachées et ceci via une représentation graphique standardisée. Le choix de la représentation graphique et donc visuelle des connaissances rend le contenu du livre facilement compréhensible et ainsi réduit la désorientation et la charge cognitive de l'utilisateur. Leutner et al. (2009) ont étudié l'influence de la représentation textuelle des connaissances dans les publications scientifiques

sur la charge cognitive. Ils ont montré que cette dernière augmente la charge cognitive de l'utilisation des publications scientifiques. Donc, la représentation graphique proposée dans le livre semble meilleure que la représentation textuelle proposée dans les publications scientifiques en terme de charge cognitive. Ceci montre un des avantages du livre de connaissances comme média de transmission des connaissances scientifiques vers les industriels par rapport aux publications scientifiques qui sont parmi les médias de transmission existants les plus utilisés (Cohen et al. 2002).

## **4.2. Perspectives**

La compréhension, la charge cognitive et la désorientation sont des critères importants pour évaluer certains aspects de l'assimilation des connaissances. Cependant, l'ambiguïté est aussi un critère qui pourrait être pris en compte. En effet, une situation d'ambiguïté affecte le processus de prise de décision de l'utilisateur du livre de connaissances et par conséquent sa capacité à assimiler la connaissance. La qualité et la quantité de la connaissance (par exemple connaissance incertaine et insuffisante) sont des sources d'ambiguïté et elles influencent la perception qu'à l'utilisateur d'une situation (Ellsberg, 1961 ; Fox et Weber, 2002). Dans le cadre de ce travail, les connaissances transférées sont des connaissances scientifiques et donc certaines. La faible désorientation et la faible charge cognitive de l'utilisateur du livre de connaissances, comme l'indiquent les résultats de l'expérience, lui facilitent une perception claire et concise du contenu du livre. Il est possible d'en conclure alors que théoriquement la probabilité qu'un utilisateur du livre de connaissances ait une situation d'ambiguïté est faible. Néanmoins, il est intéressant de confirmer ce propos par des tests expérimentaux.

Les performances du transfert ont été évaluées sur un échantillon d'apprentis du domaine de la valorisation des PRBB. Ces apprentis sont de futurs acteurs de la filière bois en phase d'apprentissage qui n'ont pas encore été confrontés à des problématiques industrielles réelles de valorisation. Leur intérêt pour les connaissances scientifiques est restreint à la simple compréhension sans aucune perspective d'utilisation dans la pratique à court terme. Ceci a empêché l'évaluation de la capacité d'utilisation de connaissances transférées en pratique au cours de l'expérience qui a été menée. Par conséquent, il est intéressant de réitérer l'expérience sur un échantillon de professionnels de la filière bois.

Il est important aussi de préciser que l'expérience qui a été mise en place ne permet pas d'évaluer la capacité d'une entreprise à utiliser les connaissances transférées en pratique. L'utilisation par une entreprise des nouvelles connaissances transférées dépend de plusieurs

paramètres qui ne sont pas forcément tous liés à la manière dont elles sont transférées. Elle dépend aussi de la caractéristique de l'entreprise telle que les compétences disponibles et les ressources matérielles.

## **Conclusion générale**

## 1. Synthèse

Le travail présenté dans ce manuscrit approche la question du transfert des connaissances scientifiques sur la valorisation des produits à base de bois en fin de vie de l'université vers l'entreprise. Ce choix s'explique par le rôle important que peuvent jouer les connaissances scientifiques dans les entreprises de la filière bois pour proposer une valorisation optimale et durable des produits récupérés à base de bois, ce qui est une des conditions nécessaires de compétitivité sur le marché. Les connaissances scientifiques sur la valorisation des PRBB sont disponibles sous forme d'articles scientifiques à destination des chercheurs. Il n'existe cependant que peu de démarches visant à rendre ces connaissances scientifiques exploitables par les industriels.

Le problème abordé est de proposer une méthodologie d'acquisition, de représentation et de transmission des connaissances scientifiques sur la valorisation des PRBB afin d'améliorer le processus de transfert.

Les objectifs de la thèse étaient de :

- Recueillir les connaissances scientifiques sur les PRBB relatives à leurs propriétés physico-chimiques et leur valorisation en matière ou en énergie.
- Proposer une représentation des connaissances adaptée au transfert de connaissances scientifiques sur les PRBB vers les acteurs de la filière bois.
- Développer un livre électronique de connaissances comme média de transfert et évaluer les performances potentielles du transfert

Ces objectifs ont été atteints en utilisant des méthodes d'ingénierie de connaissances, de gestion de connaissances et de sciences cognitives. Le travail réalisé pour atteindre les deux premiers objectifs a été présenté dans la partie 2 de ce manuscrit et le travail effectué pour atteindre le troisième objectif a été exposé dans la partie 3.

La démarche d'acquisition des connaissances mise en place s'appuie sur le cadre méthodologique ASK (Acquisition of Scientific Knowledge) (Suciu et al. 2012) qui utilise les techniques classiques de collecte (entretiens, ateliers) et met en œuvre des modèles de connaissances définis suivant une structure bien déterminée. Cette démarche a permis la collecte des connaissances scientifiques pertinentes relatives à la valorisation des PRBB détenues par un groupe de chercheurs. La conduite des entretiens a été basée sur une structure conforme à l'organisation habituelle des articles scientifiques d'où l'originalité de la méthode suivie pour la collecte des connaissances scientifiques.

La représentation des connaissances scientifiques développée est basée sur une représentation graphique suivant une carte conceptuelle canonique. La contribution apportée au formalisme des cartes conceptuelles a été de proposer un modèle de carte conceptuelle hiérarchique standardisée dédié à la représentation des connaissances scientifiques et avec des liens ontologiques prédéfinis entre les concepts. Ce modèle utilisé comme carte conceptuelle canonique a montré son intérêt pour le transfert des connaissances scientifiques vers les professionnels.

Deux aspects importants pour le transfert ont été pris en compte au cours du développement de la représentation : 1) La recherche par l'utilisateur de la connaissance pertinente par rapport à ses besoins et 2) l'assimilation des connaissances transférées. Dans la perspective d'assurer le premier point, des relations ontologiques (taxonomiques, mérologiques / méronimiques et du domaine) ont été utilisées pour relier les concepts d'une carte conceptuelle et leurs propriétés algébriques ont été spécifiées. La spécification des relations permet l'implémentation d'un moteur de recherche d'information guidée par une ontologie.

Pour assurer l'assimilation, la représentation a été homogénéisée à travers la définition et l'utilisation d'une carte conceptuelle canonique pour créer toutes les cartes conceptuelles du livre.

La transmission des connaissances scientifiques représentées a été proposée via un livre électronique de connaissances. Le livre de connaissances comme il a été conçu, assure une disponibilité, une réutilisabilité et une assimilabilité très élevée des connaissances scientifiques à transférer, d'où son originalité par rapport aux autres média tels que les documents écrits et les discours oraux qui ne permettent pas d'assurer les trois à la fois. La disponibilité et la réutilisabilité du contenu du livre ont été assurées par le format électronique de ce dernier et l'assimilabilité du contenu du livre a été facilitée par la possibilité de parcourir le contenu du livre de connaissances à des niveaux de détails différents jusqu'aux détails suffisants via des liens hypertextes.

Les performances potentielles du transfert (assimilabilité des connaissances) ont été évaluées en fonction de trois critères : le degré de compréhension du contenu du livre, la charge cognitive de l'utilisateur au cours de l'utilisation du livre de connaissances et sa désorientation. Le résultat principal de l'expérience est que la forme canonique développée est de lecture intuitive ; et n'occasionne pas de désorientation ou de surcharge cognitive de l'utilisateur.

## 2. Perspectives

Les études futures à mener pour poursuivre ces travaux de recherche sont de deux ordres différents : 1) la recherche sémantique d'information dans le livre guidée par une ontologie et 2) un raisonnement automatique sur les connaissances contenues dans le livre.

La recherche sémantique d'information dans le livre guidée par une ontologie aura pour objectif finalisé l'implémentation d'un moteur de recherche sémantique permettant d'améliorer la recherche d'information et par conséquent les performances du transfert. Elle sera basée essentiellement sur les relations ontologiques (taxonomie, mérologie /méronimie et du domaine) et leurs propriétés algébriques. Dans ce contexte, il est intéressant d'explorer les modèles de raisonnement proposés par Schulz et Hahn (2005) et Dapoigny et Bartelier (2009) sur la relation taxonomique et la relation partie-de. Une piste qui reste inexplorée est le raisonnement sur les relations du domaine d'une étude scientifique est-mesuré-par, est-observé-par et est-étudié-par . Au niveau du formalisme de la représentation, le langage semi-formel de cartes conceptuelles n'est pas très expressif et ne prend pas en compte les propriétés des relations et il est donc non adapté au raisonnement. Il pourrait être alors bénéfique d'explorer les langages formels de représentation qui sont plus expressifs que les cartes conceptuelles et qui se prêtent au raisonnement tels que la logique du premier ordre, les logiques de descriptions (Nardi et al. 2003) et la théorie des types (Dapoigny et Barlatier, 2009).

L'étude d'un raisonnement automatique sur les connaissances contenues dans le livre aura pour objectif finalisé le développement d'un outil d'aide à la décision en valorisation des produits à base de bois en fin de vie. L'assemblage des connaissances recueillies devra nous permettre de définir les critères de choix qui président à la détermination d'une solution optimale responsable quant au devenir des produits à base de bois en fin de vie. Plusieurs voies sont à considérer :

- Simuler le raisonnement humain dans un domaine où cohabitent connaissances scientifiques et règles expertes de décision : définir un système de raisonnement automatique permettant de prendre en compte dans un même processus de raisonnement aussi bien les modèles quantitatifs que les connaissances qualitatives ;
- Définir l'ensemble des critères à prendre en compte pour choisir une solution optimale de valorisation de produit à base de bois en fin de vie : définir un système automatique de décision multicritères ;

- Définir l'ensemble des fonctions (quantitatives et/ou qualitatives) objectif à optimiser simultanément pour définir l'ensemble de solutions optimales de valorisation des produits à base de bois en fin de vie : mettre en œuvre une optimisation multi-objectifs avec front de Pareto (Ndiaye et al. 2009b ; Michaud et al. 2009).



## Bibliographie

- Agrawal, A. (2001). "University-to-Industry knowledge transfer : literature review and unanswered questions" International journal of Management Reviews **3**(4): 285-302.
- Agrawal, A. et Henderson, R. (2002). "Putting patents in context: exploring knowledge transfer at MIT" Management Science **48**(1): 44-60.
- Ahuja, J.S. et Webster, J. (2001). "Perceived disorientation: an examination of a new measure to assess web design effectiveness" Interacting with Computers **14**(1): 15-29.
- Akerkar, R. et Sajja, P. "Knowledge-Based Systems" Jones & Bartlett Publishers. London, 2009, 300 p. ISBN 2603009451
- Alavi, M. et Leidner, D. (2001). "Knowledge Management and Knowledge Management Systems : Conceptual Foundations and Research Issues" MIS Quarterly **25**(1): 107-136.
- Amadiou, F., Tricot, A. et Mariné, C. (2009a). "Prior knowledge in learning from a non-linear electronic document: Disorientation and coherence of the reading sequences" Computers in Human Behavior **25**(2): 381-388.
- Amadiou, F., van Gog, T., Paas, F., Tricot, A. et Mariné, C. (2009b). "Effects of prior knowledge and concept-map structure on disorientation, cognitive load, and learning" Learning and Instruction **19**(5): 376-386.
- Anderson, J.R. "The Architecture of Cognition" Lawrence Erlbaum Associates. 1996, 345 p. ISBN 080582233
- Argote, L., Ingram, P., Levine, JM. et Moreland, RL. (2000). "Knowledge transfer in organizations: learning from the experience of others" Org Behav Hum Dec Process **82**(1):1-8.
- Ausubel, DP. "Educational Psychology: A Cognitive View". Holt McDougal 2nd ed Revised edition. New York, 1978, 752 p. ISBN 0030899516.
- Ayres, P. et Gog, VT. (2009). "State of the art research into Cognitive Load Theory" Computers in Human Behavior **25**(2): 253-257.
- Bayard, A., et M Gourdon, M. (2007). "Traitement biologiques des déchets" Sciences et techniques de l'ingénieur, 966-967.
- Bekkers, R. et Freitas Bodas, IM. (2008). "Analysing knowledge transfer channels between universities and industry : To What degree do sectors also matter ?" Research Policy **37**(10): 1837-1853.
- Bonnet, C., Ghiglione, R. et Richard, J-F. "Traité de Psychologie Cognitive tome 1 : Perception, action, langage". Dunod Vol. 3. Paris, 2003, 280 p. ISBN 2100078445.

- Brachman, R.J. (1983). "What is-a and isn't: an analysis of taxonomic relationships" Computer **16**(10): 30-36.
- Brahman, R. et Levesque, H. "Knowledge representation and reasoning". Morgan Kaufmann, Paris, 2004, 381 p. ISBN 1558609326.
- Cañas, A.J. et Novak, J.D. "Have your chocolate and eat it too: Integrating concept maps into a content management framework with relational database connectivity". In Proc. of the Second International Conference on Concept Mapping. San José, Costa Rica, 2006, pp 126-129.
- Cañas, A.J., Hill, G., Carff, R., Suri., N., Lott, J. et Eskridge, T. "A knowledge modeling and sharing environment". In Proc. of the first international conference on concept mapping. Pampola, Spain, 2004, pp 125-133.
- Chanquoy, L., Tricot, A. et Sweller, J. "La charge cognitive : Théories et applications". Armand Collin, Paris, 2007, 396 p. ISBN 2200347243.
- Chauvet, Vincent. "Absorptive Capacity and Knowledge Transfer Propensity: Towards the obtaining of a competitive advantage". In the Fourth European Conference on Organizational Knowledge, Learning, and Capabilities . Barcelone, 2003.
- Chen, S.Y., Fan, J.-P. et Macredie, R.D. (2006). "Navigation in hypermedia learning systems: experts vs. novices" Computers in Human Behavior **22**: 251-266.
- Cohen, W.M., Florida, R. , Randazzese, L. et Walsh, J. "Industry and the academy: uneasy partners in the cause of technological advance". Dans Noll, R.G. (ed.), Challenges to Research Universities, Brookings Institute Press, Ch. 7. Washington DC, 1998, pp 171-199.
- Cohen, W.M., Nelson, R.R. et Walsh, J.P. (2002). "Links and impacts: the influence of public research on industrial R&D" Management Science **48**(1): 1-23.
- Cohen, W.M. et Levinthal, A.D. (1990). "Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation" Administrative Science Quarterly Special Issue: Technology, Organizations, and Innovation **35**(1): 128-152.
- Colyvas, J., Crow, M., Gelijns, A., Mazzoleni, R., Nelson, R.R., Rosenberg, N. et Sampat, B.N. (2000). "How do university inventions get into practice?" Management Science **48**(1): 61-72.
- Conklin, E.J., et Burgess Yakemovic, S.C. (1991). "A process-oriented approach to design rationale" Human-Computer Interaction **6**(3): 357-391.
- Conklin, J. (1987). "Hypertext : an introduction and survey" IEEE computers **20**(9): 17-41.

- Cornuéjols, A. et Miclet, L. Apprentissage artificiel- Concepts et algorithmes. Eyrolles 2nd ed. , 2010, 803 p. ISBN 2212124716.
- Wodds, J.A. et Cortada, J. "The knowledge Management Yearbook 2000-2001". Routledge, 2011, 576 p. ISBN 0750672587.
- Cress, U, et Knabel. OB. (2003). "Previews in hypertexts: effects on navigation and knowledge acquisition" Journal of Computer Assisted Learning **19**: 517-527.
- Cronbach, L. J. (1951). "Coefficient Alpha and the Internal structure of tests" PSYCHOMETRIKA **16**(3): 297-335.
- Dapoigny, R. et Barlatier, P. "Reasoning about Relations with Dependent Types: Application to Context-Aware Applications" In Foundations of Intelligent Systems Lecture Notes in Computer Science, 2009, pp 171-180.
- Davenport, TH, et Prusak, L. "Working knowledge: How organizations manage what they know". Harvard Business School Press 2nd Revised ed., 2000, 224 p. ISBN 1578513014.
- Deglise, X. et Donnot, A. "Bois énégrie" Sciences et Techniques pour l'ingénieur, 2004.
- Dias, P. et Sousa, P.A. (1997). "Understanding Navigation and Disorientation in Hypermedia Learning Environments" Journal of Educational Multimedia and Hypermedia **6**(2): 173-185.
- Dieng-Kuntz, R., et al. "Méthodes et outils pour la gestion des connaissances : Une approche pluridisciplinaire du Knowledge Management" Dunod 2nd ed. , 2001, 384 p. ISBN 2100063006.
- Ellsberg, D. (1961). "Risk, Ambiguity, and the Savage axioms" Quarterly Journal of Economics **75**(1961): 643-669.
- Ermine, JL. La gestion de connaissances. Eds Hermes Sciences, 2003, ISBN 9782746227200.
- Ermine, JL. Les systèmes de connaissances. Hermés Sciences Publications 2nd ed. , 2003, 236 p. ISBN 2746201593.
- EU, Commission. "Improving knowledge transfer between research institutions and industry across Europe: Embracing open innovation" Implementing the Lisbon agenda, 2007, 182 p.
- FCBA. "Guide de gestion des déchets de bois et assimilés en France" Rapport technique , Paris, 2003.
- FCBA. "Référentiel combustible bois energie : les connexes des industriels du bois définition et exigences" 2008b.

- FCBA. "Référentiel combustible bois énergie : Produit en fin de vie définition et exigences" 2008a.
- Fox, C.R, et Weber, M. (2002). "Ambiguity Aversion, Comparative Ignorance" Organizational Behavior and Human Decision Processes **88**(1): 476-498.
- Garavelli, A., Gorgoglione, M. et Scozzi, B. (2002). "Managing knowledge transfer by knowledhe technologie" Technovation **22**(1): 269-279.
- Gerstl, P. et Pribbenow, S. (1995). "Midwinters, end Games, and body parts: A classification of part-whole relations" International journal of human-computers Studies **43**: 865-889.
- Gimino, A. "Students investment of mental effort". In The annual meeting of the American Educational Research Association. New Orleans, LA, 2002.
- Gómez-Pérez, JM., Erdmann, M., Greaves, M., Benjamins, O. et Corcho, R. (2010). "A Framework and computer system for Knowledge-level acquisition, representation, and reasoning with process Knowledge" International Journal of Human-Computer Studies **68**(10): 641-668.
- Graham, ID., Logan, J., Harrison, MB., Straus, SE., Tetroe, J., Caswell, W. et Robinson N. (2006). "Lost in translation : Time for a Map ?" The Journal of Continuing Education in the Health Professions **26**(1): 13-24.
- Gruber, T.R. (1993)."Translation Approach to portable Ontology Specifications" Knowledge Acquisition **5**(2):199-220.
- Guarino, N. (1995). "Formal ontology, conceptual analysis and Knowledge representation" International journal human-computer studies **43**(1): 625-640.
- Guarino, N, Oberle, D. et Staab, S. "What Is an ontology". In "Handbook on ontologies". Springer 2<sup>nd</sup> ed. , 2009, pp 1-17, ISBN 3540709991.
- Guarino, N. et Welty, C. "A Formal Ontology of Properties". In Proc. of 12th Int. Conf. on Knowledge Engineering and Knowledge. Springer Verlag, 2000.
- Guarino, N. et Welty, C. "An Overview of OntoClean" In "Handbook on ontologies". Springer 2<sup>nd</sup> ed. , 2009, pp 97-112, ISBN 3540709991.
- Guizardi, G. Ontological foundations for structural conceptual Models, Thèse de doctorat, 2005.
- Gunnar, D, Baneyx, A., Aimé, X., et Charlet, J. "A quoi servent les ontologies fondationelles ?". In Proc of 23ème Journées Francophones d'Ingénierie de Connaissances IC'12. Paris, 2012. pp 67-83.

- Helbig, H. Knowledge Representation and the Semantics of Natural Language (Cognitive Technologies). Springer, New York, 2006, 665 p. ISBN 3540244611.
- Héon, M. OntoCASE: Méthodologie et Assistant logiciel pour une ingénierie ontologique fondée sur la transformation d'un modèle semi-formel. Thèse de Doctorat, 2010.
- Irle, M., Jouini, Z. et Bouslamti, A. "Improving the cleanliness recycled wood for particleboard production" In Proc. of Matériaux 2010. Nantes, 2010. pp13-15.
- Jmal, A. et Michaud, F., Irle, M. et Ndiaye, A. "Acquisition et représentation des connaissances scientifiques en vue de leur transfert". 23ème Journées Francophones d'Ingénierie de Connaissances IC'12. Paris, 2012 (Poster).
- Jmal, A. Michaud, F., Irle, M. et Ndiaye, A. "Structuring and representation of scientific knowledge for transfer through an electronic knowledg book". In proc. of IEEE Internation Conference on Service-Oriented Computing and Applications SOCA'11. IRVINE, CA, 2011. pp 1-7.
- Jmal, A. Ndiaye, A, Michaud, F., et Irle, M. "How to transfer scientific Knowledge in Recovered Wood from research to industry" In proc. of 4th International conference on Engineering for Waste and Biomass Valorisation WasteEng'12 , Porto, Portugal, September 10-13, 2012. pp 1-6.
- Keet, C. M. et Artale A. (2008). "Representing and reasoning over a taxonomy of part-whole relations." Appl. Ontol. **3**(1-2): 91-110.
- King, WR. "Knowledge transfer". In Schwartz DG, Editor. " The Encyclopedia of Knowledge Management, Idea Group Pulishers, 2006, pp 538-543.
- Kintsch, W. "Comprehension: A paradigm for cognition. Cambridge". Cambridge University Press, 1998, 480 p. ISBN 0521629861.
- Lam, A. (2000). "Tacit knowledge, organizational learning and societal institutions: An integrated" Organization Studies **21**(3): 487-513.
- Lando, P., Fürst, F., Kassel, G. et Lapujade, A. "Premiers pas vers une ontologie générale des programmes informatiques" In Proc of 18es Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances IC'07 . 2007, pp 25-36.
- Laurencelle, L. "Abrégé sur les méthodes de recherche et la recherche expérimentale". Presses de l'Université du Québec, Québec, 2005, 115p, ISBN 2760513629.
- Le Blanc, B. et Claverie, B. "MKSM pour la formalisation des connaissances d'un article scientifique – Constitution d'une base de données Internet à visée pédagogique". In Actes de la Conférence Ergo-IHM'2000, Biarritz, France.

- Leutner, D., C. Leopold, et E. Sumfleth. (2009). "Cognitive load and science text comprehension: Effects of drawing and mentally imagining text content" Computers in Human Behavior **25**(2): 284-289.
- Likert, R. (1932). "A Technique for the Measurement of Attitudes" Archives of Psychology **22**(140): 1-55.
- MacLean, A., Young, R., Bellotti, V. et Moran, T. "Design space analysis : Bridging from theory to practice via design rationale" In Proc. of Esprit'91. Brussels, 1991. pp 720-730.
- Madrida, R., Oostendorpb, H. et Melguizob, M. (2009). "The effects of the number of links and navigation support on Cognitive load and learning with hypertext: The mediating role of reading order" Computers in Human Behavior **25**(1): 66-75.
- Masolo, C., Borgo, S., Gangemi, A., Guarino, N. et Oltramari, A. "Ontology Library. Wonder Web Deliverable D18 (ver. 1.0,31-12-2003)",2003.
- Maundu, P. (1995). "Methodology for collecting and sharing indigenous knowledge : a case study" Indigenous Knowledge and Development Monitor **3**(2) :14-17.
- McDonalds, S, et R.J. Stevenson. (1998). "Effects of text structure and prior knowledge for the learner on navigation in hypertext" Human Factors **40**(1): 18-27.
- McQueen, R. "Four views of knowledge and Knowledge management". In Proc. of the Americas Conference of AIS, 1998, pp 609-611.
- Merl, A. "Sustainable Ressources Management in the Building Sector-Management of Recovered Wood in the City of Vienna". In the Proc. of Management of Recovered Wood Recycling, Bioenergy and Other Options, European COST E31 Conferences. 2004. pp 22-24.
- Michaud, F, Jmal, A., Irle, M. et Ndiaye, A. "Quelle stratégie pour la valorisation des produits dérivés de bois en fin de vie" In Proc. of Matériaux 2010. Nantes, 2010. pp 91-99.
- Michaud, F., Castera, P., Fernandez, C. et Ndiaye, A. (2009). "A.Meta-heuristic Methods Applied to the Design of Wood-Plastic Composites, with Some Attention to Environmental Aspects" Journal of Composite Materials **43**(5): 533-548.
- Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement. "Directive n° 75-633 du 15 juillet 1975, code de l'environnement L 541-1 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux.
- Mitlon, NR. "Knowledge Acquisition in Practice : A Step-by-step guide". Springer London Ltd, London, 192 p. ISBN 1846288606.

- Moon, B, Hoffman, R., Novak, J., et Cañas, A. "Applied concept Mapping : Capturing, analyzing, and organizing Knowledge" CRC Press, 2011.
- Morrel, J. "Disposal of Treated Wood Products in the U.S. : Limited Options and Abundant Challenges" Environmental impacts of preservative-treated wood conference, Orlando, 2004, pp 27
- Motschnig-Pitrik, R. et Kaasboll, J. (1999). "Part-whole Relationship categories and their Applications in Object-oriented analysis" IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering **11**(5): 779-797.
- Mowery, DC. et Oxley, JE. (1995). "Inward Technology Transfer and Competitiveness : The role of national innovation systems" Cambridge Journal of Economics **19**: 67-93.
- Napoli, A. "Subsumption and classification-based reasoning in Object-based representations" In proc. of European Conference on Artificial Intelligence (ECAI92). Vienna, Austria, 1992. pp 425-429.
- Baader, F., Calvanese, D., McGuinness, D., Nardi, D. et Patel-Schneider, P. "The Description Logics Handbook : Theory, Implementation and Applications". Cambridge University Press 2 ed. , 2003, 624 p, ISBN 0521150116.
- Ndiaye, A., P. Castéra, C. Fernandez, et F. Michaud. (2009) "Multi-objective preliminary ecodesign" International Journal on Interactive Design and Manufacturing **3**(4): 237-245.
- Ndiaye, A., Della Valle, G. et Roussel, P. (2009). "Qualitative modelling of a multi-step process: The case of French breadmaking" Expert Systems with Applications **36**(2): 1020-1038.
- Nokes, T. (2009). "Mechanisms of knowledge transfer" Thinking & Reasoning **15**(1): 1-36.
- Nonaka, I, et Takeuchi, H. "La connaissance créatrice : La dynamique de l'entreprise apprenante". DeBoack Université, 1997, 303 p. ISBN 2744500348.
- Nonaka, I., et Takeuchi, H. "The Knowledge-Creating Company". Oxford University Press Inc, 1995, 298 p. ISBN 0195092694.
- Novak, JD. "Learning, Creating, and Using Knowledge: Concept Maps as Facilitative tools". In Schools and Corporations 2e. Taylor Francis, New York, 2010.
- Novak, JD, et Canas, AJ. "The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct Them". In Technical Report No. IHMC CmapTools 2006-01, Pensacola: Institute for Human and Machine Cognition, 2006.
- Novak, JD, et DB Gowin. Learning how to learn. Cambridge University Press, 1 edition, 1984, New York, 216 p. ISBN 0521319269.

- Odell, JJ. "Six different kinds of composition. In *Advanced Object-Oriented Analysis & Design using UML*". Cambridge University Press, 1998, Cambridge.
- Orúe, A.L., Alvares, M.G. et Montoya, VF. "Using Concept Maps to improve Scientific Communications". In *Proc. of International Conference on Engineering and Mathematics*, Balboa: ENMA Education, 2008.
- Paraponaris, C. et Simoni, G. (2006). "Diffusion des connaissances et outils de gestion" Revue Française de Gestion, pp 69-92.
- Pass, FG., Van merrienboer JJ. et Adam, JJ. (1994). "Measurement of cognitive load in instructional research" Perceptual and motor skills **79**(1): 419-430.
- Pass, FG, Tuovinen, JE., Tabbers, H. et Gerven, V. (2003). "Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory" Educational Psychologist **38**(1): 63-71.
- Pollock, E., Chandler, P. et Sweller, J. (2002). "Assimilating complex information" Learning and Instruction **12**: 61-86.
- Pommert, A., Schubert, R., Riemer, M., Schiemann, T., Tiede, U. et Höhne, HK. (1994). "Symbolic modeling of human anatomy for visualization and simulation" Visualization in biomedical Computing **23**(59): 412-423.
- Raboutet, C., Zemmou, M., LE Blanc B., Della Valle, G. et Ndiaye, A. "Connaissances scientifiques et préoccupations industrielles Projet CANAL-Salve : Notions d'assemblage de connaissances et de gestion de connaissances". In *Proc. of XIèmes Journées de Projectique*, 2005.
- Rector, A. "Analysis of propagation along transitive roles: Formalisation of the GALEN experience with medical ontologies". In the *Proc. of the International Workshop on Description Logics DL'2002*, Toulouse, France, 2002.
- Rouet, JF. "La compréhension des documents électroniques" Version de pré-publication, 2003.
- Rüter, S., Humar, M. et Frühwald, A. "Treatment of recovered wood- preliminary results from inquiry to delegates of COST Action E31 countries and Europe". In *Proc. of 2<sup>nd</sup> Management Of Recovered Wood*, Cost 31. Bordeaux, 2005, pp 52-74.
- Santos, J.R. (1999). "Cronbach's alpha: A tool for assessing the reliability of scales" Journal of Extension **37**(2).
- Schreiber, G. "Knowledge Engineering and Management : The CommonKADS Methodology" MIT Press, 200, 471 p. ISBN 0262193000.

- Schulz, s, et Hahn, U. "Parts, locations, and holes - formal reasoning about anatomical structures". In Proc. of 8th Conference on AI in Medicine in Europe, AIME'01, 2001, p 293-303.
- Schulz, S. et Hahn, U. (2005). "Part-whole representation and reasoning in formal biomedical ontologies." Artificial Intelligence in Medicine **34**(3): 179-200.
- Schulz, S, U Hahn, et M Romacker. (2000)."Modeling Anatomical Spatial Relations with Description Logics" Proc. of the Annual Symposium of the American Medical Informatics Association. Converging Information, Technology, and Health Care AMIA'00, Los Angeles, CA, 2000, pp. 779–783
- Shah, N, et Musen, M. "Ontologies for Formal Representation of Biological Systems" Handbook on ontologies". Springer 2<sup>nd</sup> ed. , 2009, 445-461 p. ISBN 3540709991.
- Smith, P.A. (1996). "Towards a practical measure of hypertext usability" Interacting with Computers, **8**(4): 365-381.
- Staab, S., et Studer, R. "Handbook on ontologies". Springer 2<sup>nd</sup> ed. , 2009, 830 p. ISBN 3540709991.
- Suciu, I., Le Blanc, B., Raboutet C., Fernandez C. et Amadou N. "How to Acquire Scientific Knowledge". In Proc. of the Fourth IEEE International Conference on Information Process and Knowledge Management, E-know'12. IARIA, Spain, 2012, pp 24-27.
- Sweller, J. (1988). "Cognitive load during problem solving : effect learning" Cognitive Science **12**(2): 257-285.
- Sweller, J. (2003). "Evolution of humain cognitive architecture" The Psychology of Learning and Motivation : Advanced in research and theory **43**: 12-30.
- Sweller, J., van Merriënbor, J.G. et Pass, F. (1998). "Cognitive Architecture and Instructional Design" Educational Psychology Review **10**(3): 251-296.
- Szulanski, G. (1996). "exploring internal stickiness: Impediments to the transfer of best practice within the firm" Strategic Management Journal **17**: 27-43.
- Uschold, M. et Gruninger, M. (1996). "Ontologies: Principles, Methods and Applications" Knowledge Engineering Review **12**(2): 93-155.
- Vakilifard, A., et Armand, F. (2011). "Les effets de la carte conceptuelle hiérarchique sur la compréhension littérale et inférentielle de textes informatifs en langue seconde" The Canadian Modern Language Review **67**(2): 217-245.
- Van de Ven, AH. et Johnson, PE. (2006). "Knowledge for theroy and practice" Academy of Management review **31**(4): 802-821.

- Van Merriënboer, J., Kester, L. et Paas, F. (2006). "Teaching complex rather than simple tasks" Applied cognitive psychology **20**: 343-352.
- Varzi, AC. "Mereology" Stanford Encyclopedia of Philosophy. <http://plato.stanford.edu/entries/mereology/> (consulté le 02.07.2013).
- Welty, C, et N Guarino. (2001). "Supporting ontological analysis of taxonomic relationships" Data & Knowledge engineering **39**: 51-74.
- Winston, ME., Chaffin, R. et Herrmann, D. (1987). "A taxonomy of part-whole relations" Cognitive Science **11**(4): 417-444.
- Xie, B. et Salvendy, G. (2000). "Prediction of mental workload in single and multiple task environments" International Journal of Cognitive Ergonomics **4**(1): 213-242.
- Zack, M.H. (1999). "Managing codified knowledge" Sloan Management Review **40**(4): 45-58.
- Zahra, S. et George, G. (2002) "Absorptive capacity : a review, reconceptualization, and extension" Academy of management review **27**(2): 185-203.
- Zhuge, A. (2003) "Active e-document framework ADF: model and tool" Information and Management **41**: 87-97.

# **Annexes**

## Annexe 1 : Questionnaire pré et post test sur la valorisation des PRBB

- 1) Un produit commerciale à base de bois qui ne satisfait pas les standard de qualité est un :
  - Produit à base de bois en fin de vie
  - Sous-produit bois
- 2) Les déchets fortement traités sont :
  - Valorisés
  - Éliminés
  - Stockés
- 3) La masse de l'échantillon à prélever pour mesurer le pouvoir calorifique inférieur d'un produit récupéré à base de bois par une bombe calorimétrique ne devra pas dépasser :
  - 2 grammes
  - 4 grammes
  - 6 grammes
- 4) La liquéfaction des produits récupérés à base de bois est une transformation :
  - Thermo-chimique
  - Mécanique
  - Biochimique
- 5) À basse température, lorsque la vitesse de chauffage diminue au cours d'un précédé de pyrolyse :
  - Le rendement des huiles de pyrolyse augmente
  - Le rendement des huiles de pyrolyse diminue
  - Le rendement des huiles de pyrolyse reste constant
- 6) En 1996, la quantité des déchets de bois collectés en déchetterie a été estimée à :
  - 81 500 tonnes
  - 118 500 tonnes
  - 261 800 tonnes
- 7) Le pouvoir calorifique inférieur d'un produit récupéré à base de bois dépend principalement de :

- L'élasticité du produit récupéré
- L'humidité du produit récupéré
- La taille du produit récupéré

8) La gazéification des produits récupérés à base de bois se fait en :

- Absence d'oxygène
- Présence d'oxygène

9) Quelle est la méthode la plus rapide en temps pour mesurer le taux d'humidité d'un produit récupéré à base de bois :

- La méthode d'étuvage ventilée
- La méthode de four micro-onde
- La méthode de lampe infrarouge

10) Quelle est la quantité maximale autorisée d'Arsenic dans un bois recyclé pour la construction d'un panneau :

- 25 mg/ kg de bois recyclé
- 35 mg/ kg de bois recyclé
- 40 mg/ kg de bois recyclé

## Annexe 2 : Test de charge cognitive et de désorientation

1. Indiquez sur une échelle de 1 à 7 combien d'effort mental as-tu investi pour explorer le livre de connaissances?

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>1</b>              | <b>2</b>              | <b>3</b>              | <b>4</b>              | <b>5</b>              | <b>6</b>              | <b>7</b>              |
| <input type="radio"/> |
| Très très faible      | Très faible           | Faible                | Moyen                 | Élevé                 | Très élevé            | Très très élevé       |

2. Indiquez sur une échelle de 1 à 7 combien d'effort mental as-tu investi pour explorer les cartes conceptuelles?

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>1</b>              | <b>2</b>              | <b>3</b>              | <b>4</b>              | <b>5</b>              | <b>6</b>              | <b>7</b>              |
| <input type="radio"/> |
| Très très faible      | Très faible           | Faible                | Moyen                 | Élevé                 | Très élevé            | Très très élevé       |

3. Indiquez sur une échelle de 1 à 7 le niveau de difficulté à comprendre les relations entre les pages du livre de connaissances ?

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>1</b>              | <b>2</b>              | <b>3</b>              | <b>4</b>              | <b>5</b>              | <b>6</b>              | <b>7</b>              |
| <input type="radio"/> |
| Très très faible      | Très faible           | Faible                | Moyen                 | Élevé                 | Très élevé            | Très très élevé       |

4. Indiquez sur une échelle de 1 à 7 le niveau de difficulté à savoir quelle est la page prochaine à visiter dans le livre de connaissances ?

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>1</b>              | <b>2</b>              | <b>3</b>              | <b>4</b>              | <b>5</b>              | <b>6</b>              | <b>7</b>              |
| <input type="radio"/> |
| Très très faible      | Très faible           | Faible                | Moyen                 | Élevé                 | Très élevé            | Très très élevé       |

5. Indiquez sur une échelle de 1 à 7 le niveau de difficulté à savoir votre localisation dans le livre de connaissances ?

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>1</b>              | <b>2</b>              | <b>3</b>              | <b>4</b>              | <b>5</b>              | <b>6</b>              | <b>7</b>              |
| <input type="radio"/> |
| Très très faible      | Très faible           | Faible                | Moyen                 | Élevé                 | Très élevé            | Très très élevé       |

6. Indiquez sur une échelle de 1 à 7 le niveau de difficulté à trouver des informations déjà lues dans le livre de connaissances ?

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>1</b>              | <b>2</b>              | <b>3</b>              | <b>4</b>              | <b>5</b>              | <b>6</b>              | <b>7</b>              |
| <input type="radio"/> |
| Très très faible      | Très faible           | Faible                | Moyen                 | Élevé                 | Très élevé            | Très très élevé       |

7. Indiquez sur une échelle de 1 à 7 le niveau de difficulté à être dans la bonne voie ?

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>1</b>              | <b>2</b>              | <b>3</b>              | <b>4</b>              | <b>5</b>              | <b>6</b>              | <b>7</b>              |
| <input type="radio"/> |
| Très très faible      | Très faible           | Faible                | Moyen                 | Élevé                 | Très élevé            | Très très élevé       |

## Annexe 3 : Résultats des ANOVA

Tableau 6 : ANOVA sur les pré-tests des deux groupes

| Groupes  | Nombre d'échantillons | Somme | Moyenne | Variance |
|----------|-----------------------|-------|---------|----------|
| Groupe 1 | 22                    | 137   | 6,22    | 3,13     |
| Groupe 2 | 48                    | 290   | 6,04    | 3,06     |

| Source des variations     | Somme des carrés | Degré de liberté | Moyenne des carrés | F    | Probabilité (p) | Valeur critique pour F |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------------|------|-----------------|------------------------|
| Entre Groupes             | 0,51             | 1                | 0,51               | 0,16 | 0,68            | 3,98                   |
| À l'intérieur des groupes | 209,78           | 68               | 3,08               |      |                 |                        |
|                           |                  |                  |                    |      |                 |                        |
| Total                     | 210,30           | 69               |                    |      |                 |                        |

Tableau 7 : ANOVA sur les scores du pré et posttest de tous les participants

| Groupes   | Nombre d'échantillons | Somme | Moyenne | Variance |
|-----------|-----------------------|-------|---------|----------|
| Pré-test  | 70                    | 427,0 | 6,10    | 3,05     |
| Post-test | 70                    | 568   | 8,11    | 1,81     |

| Source des variations     | Somme des carrés | Degré de liberté | Moyenne des carrés | F     | Probabilité (p) | Valeur critique pour F |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------------|-------|-----------------|------------------------|
| Entre Groupes             | 142,01           | 1                | 142,01             | 58,43 | 3,22E-12        | 3,91                   |
| A l'intérieur des groupes | 335,39           | 138              | 2,43               |       |                 |                        |
|                           |                  |                  |                    |       |                 |                        |
| Total                     | 477,39           | 139              |                    |       |                 |                        |

Tableau 8 : ANOVA sur le score des moyennes de désorientation des deux groupes du test 1

| Groupes  | Nombre d'échantillons | Somme  | Moyenne | Variance |
|----------|-----------------------|--------|---------|----------|
| Groupe 1 | 48                    | 172.80 | 3.6     | 1.22     |
| Groupe 2 | 22                    | 79.8   | 3.62    | 0.91     |

| Source des variations     | Somme des carrés | Degré de liberté | Moyenne des carrés | F     | Probabilité (p) | Valeur critique pour F |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------------|-------|-----------------|------------------------|
| Entre Groupes             | 0.01             | 1                | 0.01               | 0.009 | 0.92            | 3.98                   |
| A l'intérieur des groupes | 76.50            | 68               | 1.12               |       |                 |                        |
|                           |                  |                  |                    |       |                 |                        |
| Total                     | 76.51            | 69               |                    |       |                 |                        |

Tableau 9 : ANOVA sur le score des moyennes de désorientation des deux groupes du test 2

| Groupes  | Nombre d'échantillons | Somme | Moyenne | Variance |
|----------|-----------------------|-------|---------|----------|
| Groupe 1 | 48                    | 170.4 | 3.55    | 1.7      |
| Groupe 2 | 22                    | 68    | 3.09    | 1.40     |

| Source des variations     | Somme des carrés | Degré de liberté | Moyenne des carrés | F    | Probabilité (p) | Valeur critique pour F |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------------|------|-----------------|------------------------|
| Entre Groupes             | 3.17             | 1                | 3.17               | 1.97 | 0.16            | 3.98                   |
| A l'intérieur des groupes | 109.53           | 68               | 1.61               |      |                 |                        |
|                           |                  |                  |                    |      |                 |                        |
| Total                     | 112              | 69               |                    |      |                 |                        |

Tableau 10 : ANOVA sur le score des moyennes d'effort mental des deux groupes du test 1

| Groupes  | Nombre d'échantillons | Somme | Moyenne | Variance |
|----------|-----------------------|-------|---------|----------|
| Groupe 1 | 48                    | 202.5 | 4.21    | 1.44     |
| Groupe 2 | 22                    | 94.50 | 4.29    | 1.06     |

| Source des variations     | Somme des carrés | Degré de liberté | Moyenne des carrés | F    | Probabilité | Valeur critique pour F |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------------|------|-------------|------------------------|
| Entre Groupes             | 0.08             | 1                | 0.08               | 0.06 | 0.79        | 3.98                   |
| À l'intérieur des groupes | 90.28            | 68               | 1.32               |      |             |                        |
|                           |                  |                  |                    |      |             |                        |
| Total                     | 90.37            | 69               |                    |      |             |                        |

Tableau 11 : ANOVA sur le score des moyennes d'effort mental des deux groupes du test 2

| Groupes  | Nombre d'échantillons | Somme | Moyenne | Variance |
|----------|-----------------------|-------|---------|----------|
| Groupe 1 | 48                    | 187   | 3.89    | 2.52     |
| Groupe 2 | 22                    | 79    | 3.59    | 1.61     |

| Source des variations     | Somme des carrés | Degré de liberté | Moyenne des carrés | F    | Probabilité | Valeur critique pour F |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------------|------|-------------|------------------------|
| Entre Groupes             | 1.40             | 1                | 1.40               | 0.62 | 0.43        | 3.98                   |
| A l'intérieur des groupes | 152.29           | 68               | 2.23               |      |             |                        |
|                           |                  |                  |                    |      |             |                        |
| Total                     | 153.7            | 69               |                    |      |             |                        |

# Annexe 4: Structuring and representation of scientific knowledge for a transfer through an electronic knowledge book

Aymen JMAL<sup>1</sup>, Franck MICHAUD<sup>1</sup>, Mark IRLE<sup>1</sup>, Amadou NDIAYE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*L'UNAM Université, Laboratoire Matériaux Composites Bois, Ecole Supérieure du Bois, rue C. Pauc 44306 Nantes Cedex 3, {aymen.jmal ; mark.irle ; franck.michaud}@ecoledubois.fr*

<sup>2</sup>*INRA, UMR927 I2M, Université Bordeaux 1, CNRS-INRA F-33405 Talence, France, ndiaye@bordeaux.inra.fr*

---

**IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA'2011)**

---

**ABSTRACT :**

The use of scientific knowledge on waste wood management is the main factor that facilitates the responsible use of recovered wood respecting the environment. Nowadays, numerous scientific results are generated and published by universities and research institutions; but small quantities are exploited by nonscientific people. This problem is due to the difficulty of transfer and assimilation of this knowledge in its current representation. In this paper, we propose a new structure and representation of both type of scientific knowledge (declarative and procedural) to facilitate its transfer to non-scientific people through a hypertext electronic knowledge-book. The declarative scientific knowledge has been represented by concept maps and hierarchically structured through semantic relationships and the procedural scientific knowledge has been represented by technical sheets.

**MOTS-CLES:** scientific knowledge representation, University-to-Industry knowledge transfer, use recovered wood, environment.

---

## I. INTRODUCTION

Today, the amount of recovered wood (RW) available in the world and in France is continually increasing. [1] estimates the quantity of RW in France to be 16 million tons per year. In the sustainable development context, the development of a platform for making use of RW is an appropriate first step for many companies wishing to demonstrate their commitment to the environment. In addition, using certain waste wood types can limit the release of harmful substances into the environment. Unfortunately, an inappropriate exploitation of RW can generate greenhouse gas emissions and release chemical pollutants into the atmosphere, soil or water, which cause negative impacts both for the environment and mankind.

In this context, the scientific knowledge generated by public research (universities) can have a crucial and positive effect on the responsible use of RW because it helps to explain current recycling processes. Its integration into the “capital knowledge” of a firm will allow them to expand their knowledge and refine their skills on RW management and value adding. At the same time, this will help them to protect the environment from the dangers related to the recovered wood. However, the most of the knowledge generated from research is presented in a form that is unsuitable for its translation into practice.

The gap between the universe of scientific research and the practitioners (industry) has always been a subject of discussion whether on the side of researchers or on the side of industrial, or both of them. The concerns of researchers and practitioners are two very different orders: the researchers are mainly interested in the fundamental level of science. Their aim is the explanation and the theoretical understanding of how things work and what their properties are, to acquire new knowledge of the foundations of phenomena and observable facts, without focus to the application in practice. On the other side, practitioners are particularly interested in the “development” level. Their main objective is to master the implementation of scientific knowledge gained from research into practice, in order to produce new products, establish new processes or significantly improve existing ones. This step is vital for the company to create added value, increase its capacity for innovation and therefore remain more competitive in the market.

The focus of this study is essentially on the issue of scientific knowledge transfer process from universities to industry. Today, this issue is a fundamental challenge for several scientific communities such as information science, cognitive science and particularly knowledge management [2]. Knowledge management is concerned with understanding how knowledge is obtained, who has the knowledge and how it can be modeled, organized, represented, absorbed and used.

Few researchers have discussed the influence of the organization and representation of scientific knowledge on its transfer to practitioners. Indeed, the scientific knowledge, as its structure and representation in transfer channels exists today (such as publications and conferences), are difficult to understand and are generally used only by other researchers which do not necessarily take into account its absorption and usability by non-scientific people.

Consequently, the transfer of this knowledge to firms is slow. So, how to transfer the scientific knowledge gained by research works in universities (i.e. restructuring, modeling and represent knowledge) so that it might be absorbed and used by the non-scientific people and specifically by industrials?

A proposed solution to this question is a new transfer channel of scientific knowledge from university to industry in the form of an electronic knowledge-book. This book integrates a new structuring and representation of knowledge adapted to industrial world that promotes their transmission, absorption and their exploitation in practice by the industries. This channel

will be applied to transfer the scientific knowledge generated by universities on waste wood to industries. The integration of this knowledge in wood industry allows their practitioners to control and explain the global behavior of a value-adding process and its environmental and economic impacts, and thereby, improves its capacity to choose an eco-responsible and optimal use for its recovered wood.

The aim of this paper is to present this approach of organizing and representing scientific knowledge established in the electronic knowledge-book. Firstly, there is a brief introduction to the basic concepts of knowledge transfer. Secondly, the proposed framework of scientific knowledge structure, modeling and representation is described. This is followed by an investigation of the methods for assessment and validation of the framework and finally, the paper concludes with an outlook on future research directions.

## II. BASIC CONCEPT OF KNOWLEDGE TRANSFER

### A. Knowledge transfer from university to industry

In this study, knowledge transfer is defined as the process by which scientific knowledge is “transmitted” by universities to be “absorbed” (and used) by non-scientific people based on Davenport and Prusak definition’s that says the transfer = “Transmission” + “Absorption” (and Use) [3]. Transmission means that the information is conveyed from a sender across a transmission channel to a receiver at the right time. For this study, the sender is the university, the transmission channel is the knowledge book and the recipients are the non-scientific people, and specifically the industries.

In order to reach the transfer, knowledge not only needs to be sent to a recipient but also be absorbed and put to use. For that, it is necessary to explore to what extent this knowledge is absorbed and used by non-scientific-people.

The absorptive capacity of non-scientific people differs depending on their prior knowledge, such as knowledge base and spoken language [4], and depends also on knowledge structure and representation. This implies that a good design and representation structure of scientific knowledge in the e-book will be more easily understood by non-scientific people and can improve the chances that the scientific knowledge will be absorbed and used.

### B. Scientific knowledge characteristics

Scientific knowledge is an explicit knowledge that can be codified, stored and transferred to others [5]. After a quick analysis of scientific interests, two kinds of scientific knowledge were identified:

- **Declarative knowledge**, this type corresponds to the theoretical knowledge such as facts, rules and laws. It answers a question of type “what?”. This type of knowledge is static [6] as it relates to a general meaning, independent of any context. Nevertheless, it must be converted into procedures to allow a research action. Equation (1) shows an example of declarative knowledge from the recovered wood domain.

$$Q = Q_0 \cdot \frac{1 - H}{100} \quad (Equation 1)$$

The quantity of energy Q (per unit mass or volume) dissipated by a recovered wood during its complete combustion depends on its calorific value in the anhydrous state  $Q_0$  and the moisture content H using the above formula.

<sup>4</sup> ADEME / FCBA (2008) Référentiels combustibles bois-énergie Définition et exigences, 124 pages.

- **Procedural knowledge**, this type specifies the control structures directly used in achievement of a task (e.g. the sub-tasks, conditions etc.). This type answers the question “how to do or what is the procedure to be executed to carry out a task?”

The scientific knowledge is also granular and fragmented. In the field of recovered wood, the relevant information concerns two broad types of use, i.e. recycling in to new materials or energy production and including technical, economic, environmental and even social data. The identification of the type and nature of scientific knowledge is decisive for determining the adequate support for its transfer.

### C. Conceptual and ontological tools for knowledge transfer

In this study, the aim is to use conceptual and ontological tools of knowledge representation enabling access to a declarative level of scientific knowledge. Therefore, concept maps and the specialization and composition relationships of a tool for organization and representation of scientific knowledge have been chosen. In the following part, a short overview of these different concepts is presented.

#### 1) Concepts map:

Concept maps are graphical tools developed in 1972 by Novak [7, 8, 9, 10], which consists in organizing; modeling and representing a declarative type knowledge base. In a concept map, nodes represent concepts that are connected with arcs expressing relationships existing between them. Several researches have shown that this method of graphic representation of knowledge contributes to (i) the explicit content of processed knowledge, especially when these are structurally complex, (ii) identify the relevant knowledge and (iii) promote the graph traversal. This demonstrates its usefulness and effectiveness for transferring knowledge compared to other formats [11, 12, 13].

#### 2) Taxonomy: the specialization relationship:

Specialization is the most intuitive method to organize the knowledge hierarchically. It is useful to present limited views and plays a critical role in integration and reuse [15]. It also allows representation of different levels of generality and to propagate the characteristics of the most general concept to the most specific inheritance. Specialization between concepts based on the notion of subsumption that is a partial order relation reflexive, transitive and anti-symmetrical. In this present work, the specialization hierarchy is based on taxonomic relationship is-a. Its semantics is that of the hybrid subsumption defined by [16]). The concept A “is- a” concept B if all that is described by B is also represented by the more general description of A.

#### 3) Mereology: the part-whole relationships of [14]:

Mereology is a branch of philosophy, which studies the general principles that apply to the relationship between the whole and its parts. It has received great interest in conceptual modeling and knowledge representation [17, 18, 19]. Winston, Chaffin and Hermann (WCH) have identified six kinds of part-whole relationships based on three criteria: whether the parts of the whole are functional or not, whether the parts are similar (homeomeric) or not and whether the parts and whole are separable or not (Table 1). These relationships are anti-reflexive, anti-symmetrical and separately transitive [14].

Table 1: The six kinds of part-whole relationships defined by (WCH) [14]

| Relation           | Functional | Similar | Separable |
|--------------------|------------|---------|-----------|
| Component/Integral | +          | -       | +         |

|                   |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|
| object            |   |   |   |
| Member/Collection | - | - | + |
| Portion/Mass      | - | + | + |
| Stuff/Object      | - | - | - |
| Feature/Activity  | + | - | - |
| Place/Area        | - | + | - |

The basic concepts defined above are fundamental for this paper's aim because the determination of scientific knowledge characteristics allows us to propose an effective and efficient representation to this latter. The concepts maps and both kinds of relationships have been used to structure and represent a part of scientific knowledge.

### III. FRAMEWORK OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE STRUCTURE AND REPRESENTATION

#### A. Hypertext electronic knowledge-book on recovered wood

The knowledge-book (k-book) is a web-based, electronic hypertext medium (channel) for the transmission of scientific knowledge gained by research works in the recovered wood domain to non-scientific people. Its main aim is to reorganize and represent scientific knowledge, to make it more accessible to several types of potential users without denaturing it. The more the knowledge is codified in a form that is familiar to the target group, the easier and more rapid the transfer and then the absorption and the use will be.

The development of the k-book started with the acquisition of scientific knowledge from the field of study. The process followed included an analysis of scientific documents such as scientific publications and an open-interviews followed by semi-structured interviews with three researchers. These researchers have many complementary skills (recycling, energy production and chemistry and contamination of recovered wood), which limit the knowledge contradictions that can be difficult to manage.

These two kinds of interviewing techniques were chosen because they are the most effective for acquiring explicit knowledge that is both declarative and procedural [20]. Thereafter, these knowledge are structured and represented according to their characteristics in order to increase the ability of non-scientific people to absorb and use them.

#### B. Structuring and representation of the scientific knowledge in the knowledge-book

The granular and fragmented aspect of scientific knowledge makes its representation impossible using linear path- ways. A hypertext technique has been chosen that allows a non-linear and non-sequential structuring of knowledge. As a consequence, the user will not be forced to acquire scientific knowledge in a sequential linear way. Through links, she/he has the ability to navigate (browsing) freely in the hypertext and choose between different pathways in the content. From a cognitive view, the hypertext structure is very similar to human cognitive architecture and allows concepts to be described within different contexts. This feature improves cognitive flexibility and increases the transfer of learned concepts [21,22].

The declarative scientific knowledge in the knowledge- book has been represented by concept maps. It is built on the semantic networks of cognitive psychology and object models of computer science. The concepts are the scientific objects of study, which are connected by links expressing relationships, existing between them. The choice of such a representation creates a favorable situation to assimilate external scientific knowledge because it represents explicitly the knowledge contents and requires users to activate their prior knowledge.

Moreover, the concept map facilitates an abstract representation at high level which allows an instantiation to a different context.

### 1) Hierarchical structure of concept:

Concept maps with hierarchical structure have been chosen because they allow users to acquire a large quantity of knowledge without a lot of disorientation or a large cognitive load whilst reading them [23].

The concepts in each concept map are hierarchically structured through three kinds of semantic relationships. First, by the specialization relationship “is-a” that answers to the question what is this concept? This relationship results in a precise and unambiguous definition of classes of objects. Each general concept is defined from other more specific sub-concepts or by a natural language explanation (e.g. recovered wood is a wood product that has already completed at least one useful life cycle). Then, by a mereological hierarchy through the (WCH) relationship “has-parts” that answers the question “what is this concept composed of”. This relationship describes the various components of each object of study (e.g. the recovered wood has-parts the material wood, the fixing elements and treatments) and its type depends on the nature of the whole (Table 1). For example, if the component is a member of a collection then the relation is of collection / member type. Finally, by the relationships “is-studied-as”, “is-observed-by”, “is-measured-by” and/or “is-characterized-by” which answers the questions how the concept is studied, observed, measured and/or characterized? (Figure1).

The identification of relationships defined between objects of study has richness and specifies semantics essential to scientific knowledge modeling. Furthermore, recent work such as [24, 25] showed that the precise definition of semantic relationships between concepts led to the explanation of some critical thinking in decision-making.

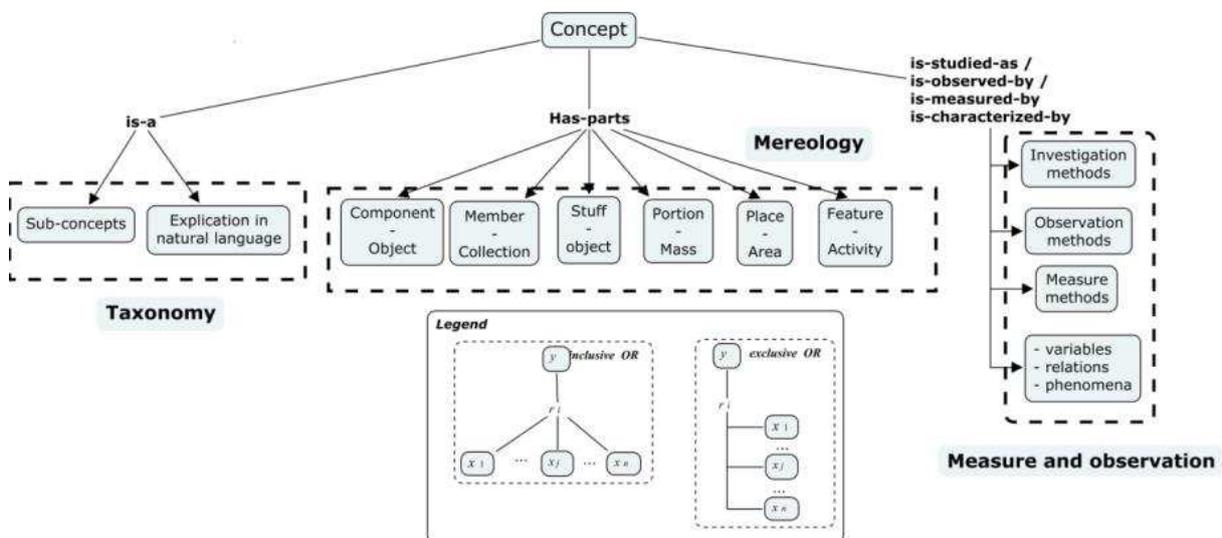


Figure 1. Hierarchical structure of the concepts

The standardization of relationships between concepts allows a standardized and simplified reading for all maps. It also facilitates the browsing from one map to another and then the absorption of a detailed concept in the k-book.

The algebraically properties (symmetry, reflexivity, transitivity, anti-symmetry, anti-reflexivity) of each relationship have been explicitly defined. As defined above (in section II. 2) and 3)), the relationship “is-a” is reflexive, transitive and anti-symmetric and the relationship of part- whole composition “has-parts” is an anti-reflexive, transitive and anti-

symmetric. The algebraically properties of relationships related to the characteristics, measurements and observations were defined as follows: the relationship “Is- observed-by”, “Is-measured-by”, “Is-studied-as” are anti- reflexive, non-transitive and anti-symmetric and the relationship “Is-characterized-by” is anti-reflexive, transitive and anti-symmetric. This explicit representation of relationship properties completes the semantic of the model, in the sense that they have contributed to clarify the links and differences between the primitive cognitive of the domain of knowledge. They also offer the possibility of implementing an automated reasoning as information retrieval. For example, through the transitivity of the relation “is-a”, entities located in a low level in the hierarchy inherit properties of higher entities that are attached.

## 2) Technical sheets :

The technical sheets, used to represent procedural scientific knowledge, carry direct information on the concepts. A sheet is composed of several fields of information that are clickable (chart of title, illustrations, an explanation associated to the illustrations, authors, keywords, links to other technical sheets and references, etc.) (see figure 3).

## IV. REALIZATION

The analysis of scientific documents and the reports from the interviews identified 416 different concepts related to wood products at the end of their useful lives. A top-down approach was chosen for the identification process. This started with an identification of the most general concepts and then specializing them. Then, many different concept maps synthesizing the information were prepared.

These maps have been constructed on the basis of the following structure. Each map contains a general level of information adequate for understanding the main concept and limited to avoid information overload. The concepts were structured hierarchically according to the identified relationships, and Hypertext links used to move from a general concept to more specific concepts. The maps are designed by the CmapTools [26], which is a software toolkit to support designed constructing and sharing concept map- based KM models. Figure2 presents an illustration of a concept map representing the efficient declarative scientific knowledge relied to the recovered product slightly treated.

In addition, a technical sheet has been created for most concepts. These have been prepared by manual extraction of procedural knowledge from principal documents. Indeed, each illustration, photograph, drawing, equation, procedure in a document has been selected and transformed into a sheet. Figure 3 presents an example of a technical sheet.

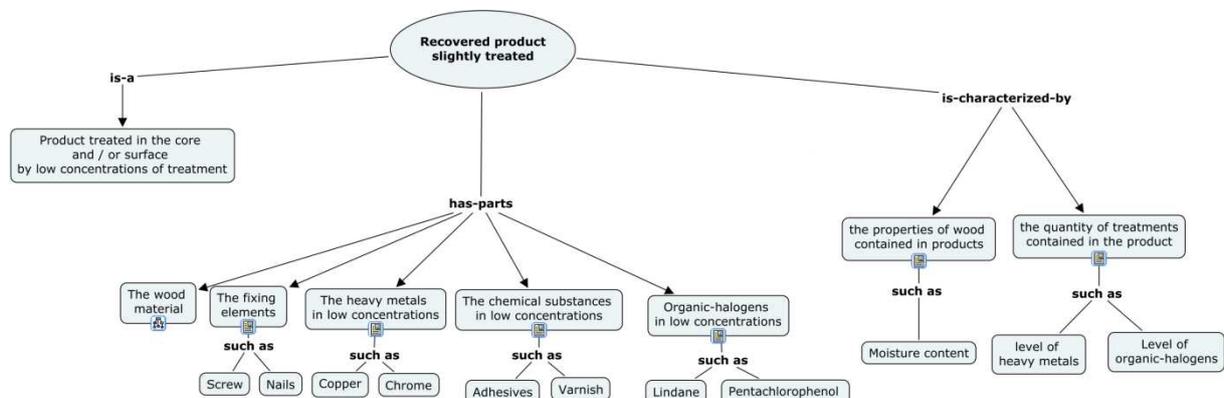


Figure 2. Illustration of a concept map of the concept product recovered slightly treated

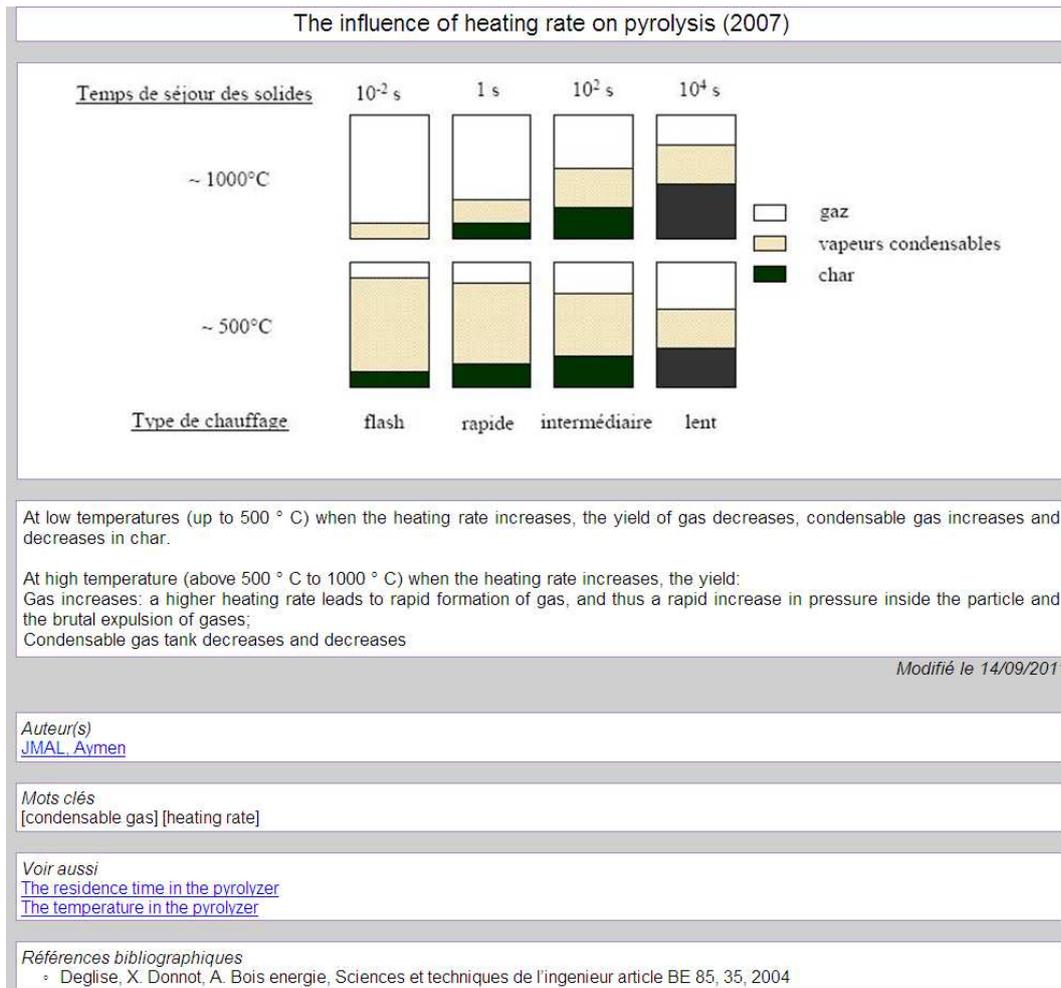


Figure 3. Example of technical sheet: the influence of heating rate on pyrolysis

## V. CONCLUSION

A new approach for structuring and representing scientific knowledge using an electronic knowledge-book has been proposed because it should facilitate knowledge transfer to non-scientific people. This approach is based, firstly, on hypertext techniques to model the granular aspect of scientific knowledge. Secondly, on the use of concept maps with hierarchical structures to represent the declarative scientific knowledge and finally, using technical sheet to represent the procedural scientific knowledge. This approach will be implemented within a knowledge-book through the Makebook tool developed by [27]. The absorptive capacity of scientific knowledge of the proposed representation in the knowledge-book will be assessed according to the cognitive load required and the disorientation of the user. The cognitive load can be measured with objectives and subjective techniques. For this study it is proposed to use the subjective self-rating technique based on 9-point mental effort rating scale, which was developed by [28]. A mental effort rating scale is easy to use (non-intrusive) and provides a good indication cognitive load [29]. The disorientation will also be measured using a Disorientation Scale consisting of five items based on the work of [30]. The response scale in both measures (cognitive load and disorientation) will be ranged from 1 (extremely low) to 9 (extremely high).

## REFERENCES

- [1] S. Ruiter, M. Humar and A. Fruhwald. Treatment of recovered wood- preliminary results from inquiry to delegates of COST Action E31 countries and Europe, Proceedings of 2<sup>rd</sup> Cost 31, pp. 52-74, 2005.
- [2] A. Alavi and D. Leidner. Review: Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations and Research Issues, MIS Quarterly 25:1, pp. 107-136, 2001.
- [3] T. Davenport and L. Prusak. Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know, Boston (Mass.) : Harvard business school press, 1998.
- [4] W. M. Cohen, and D. A. Levinthal. Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation, Administrative Science Quarterly, 35: 128-152, 1990.
- [5] I. Nonaka and H. Takeuchi. The Knowledge-Creating Company New York: Oxford University Press Inc., 284p, 1995.
- [6] C. Jiamu. The great importance of the distinction between declarative and procedural knowledge. AnlisePsicologica, 4.19 559-566. Print, 2001.
- [7] J. D. Novak and D. B. Gowin. Learning how to learn. New York, NY: Cambridge University Press, 1984.
- [8] J. D. Novak. Learning, Creating, and Using Knowledge: Concept Maps as Facilitative Tools in Schools and Corporations. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1998.
- [9] J. D. Novak and A. J. Canas. The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct Them (Technical Report No. IHMC CmapTools 2006-01). Pensacola, FL: Institute for Human and Machine Cognition, 2006a.
- [10] D. Roger, J. Lavandier and E. Kolmeyer. Navigation et interfaces : cartes conceptuelles et autres outils, Programme d'Aide la Recherche en INfOrmation, 2005.
- [11] B. Moon, R. Hoffman, and L. Shattuck et al. Rapid and accurate idea transfer: Evaluating concept maps against other formats for the transfer of complex information. In Concept mapping: Connecting educators, eds. A. Canas, P. Reiska, M. Hlberg, and J. Novak. Proceedings of the third International Conference on Concept Mapping. Tallinn, Estonia and Helsinki, Finland, 2008.
- [12] B. Moon, R. Hoffman, J. Novak and A. Canas. Applied Concept Mapping: Capturing, Analyzing, and Organizing Knowledge. CRC Press; 1 edition (Feb 7 2011).
- [13] A.L. Orue, M.G. Alvares and VF. Montoya. Using Concept Maps to improve Scientific Communications. In: ENMA Education: International Conference on Engineering and Mathematics., Bilbao, 2008.
- [14] M.E. Winston, R. Chaffin and D. Herrmann. A taxonomy of part-whole relations. Cognitive Science, 11(4), 417-444, 1987.
- [15] A. Welty and N. Guarino. Supporting ontological analysis of taxonomic relationships. Data Knowledge Engineering, 39(1):5174, 2001.
- [16] A. Napoli. Subsumption and classification-based reasoning in object-based representations. B. Neumann (édité par), European Conference on Artificial Intelligence (ECAI92), Vienna, Austria, pp. 425-429. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, 1992.
- [17] A. Artale, E. Franconi, N. Guarino and L. Pazzi. Part-whole relations in object-centered systems: An overview. Data Knowledge Engineering, 20(3):347-383, 1996.
- [18] A.C. Varzi. Spatial reasoning and ontology: parts, wholes, and locations. In: The Logic of Space, Aiello, M., Pratt-Hartmann I., van Benthem J. (eds.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2006a.

- [19] A.C. Varzi. "Mereology", The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2011 Edition), Edward N. Zalta (ed.).
- [20] N. R. Milton. Knowledge Acquisition in Practice: A Step-by- step Guide. London: Springer, 2007.
- [21] R. J. Spiro, P. J. Feltovich, M. J. Jacobson and R. L. Coulson. Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext: Random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill- structured domains. In Duffy, T. M., and Jonassen, D. H. (Eds.), Constructivism and the technology of instruction: A conversation (pp. 57-75). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1992.
- [22] M. J. Jacobson and R. J. Spiro. Hypertext learning environments, cognitive flexibility, and the transfer of complex knowledge: An empirical investigation. *Journal of Educational Computing Research*, 12(5), 301-333,1995.
- [23] F. Amadieu and A. Tricot and C. Mariné´. Prior knowledge in learning from a non-linear electronic document: Disorientation and coherence of the reading sequences. *Computers in Human Behavior*, 25, 381-388, 2009.
- [24] N-A. Ernst, M-A. Storey and P. Allen. Cognitive support for ontology modeling, *International Journal of Human-Computer Studies*, 62, 553-577, 2005.
- [25] S. Schulz and U. Hahn. Part-whole representation and reasoning in formal biomedical ontologies, *Artificial Intelligence in Medicine*, 34, 179-200, 2005.
- [26] A. J. Can˜ as, G. Hill, R. Carff, N. Suri, J. Lott and T. Eskridge, CmapTools: A knowledge modeling and sharing environment. In A. J. Can˜ as, J. D. Novak and F. M. Gonzlez (Eds.), *Concept maps: Theory, methodology, technology*. Proceedings of the first international conference on concept mapping (Vol. I, pp. 125-133). Pamplona, Spain: Universidad Pblica de Navarra, 2004b.
- [27] A. Ndiaye and C. Fernandez. *MakeBook: Make a Book of Knowledge*. Copyright 001.160014.000. Place Published, Agence pour la Protection des Programmes, 2010.
- [28] F. Paas, J. E. Tuovinen, H. Tabbers and P. W. M. Van Gerven. Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38, 6371, 2003.
- [29] F. Pass, J.J.G. Van merrienboer and J.J. Measurement of cognitive load in instructional research. *Perceptual and motor Skills*, 79, 419-430, 1994.
- [30] J. S. Ahuja and J. Webster . "Perceived disorientation: an examination of a new measure to assess web design effective- ness." *Interacting with Computers* 14(1): 15-29, 2001.

# Annexe 5 : Acquisition et représentation de connaissances scientifiques en vue de leur transfert

Aymen JMAL<sup>1</sup>, Ioana SUCIU<sup>2</sup>, Mark IRLE<sup>1</sup>, Benoit LeBLANC<sup>3</sup>, Franck MICHAUD<sup>1</sup>, Christophe FERNANDEZ<sup>2</sup>, Amadou NDIAYE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>L'UNAM Université, Laboratoire Matériaux Composites Bois, Ecole Supérieure du Bois, rue C. Pauc 44306 Nantes Cedex 3, {aymen.jmal ; mark.irle ; franck.michaud}@ecoledubois.fr

<sup>2</sup>INRA, UMR927 I2M, Université Bordeaux 1, CNRS-INRA F-33405 Talence, France, { ionana.suciu ; christophe.fernandez ; an}@bordeaux.inra.fr

<sup>3</sup>IPB, École Nationale Supérieure de Cognitique, Bordeaux, France, Benoit.leblanc@ensc.fr

## 23es Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances (IC 2012)

---

### RESUME:

*Ce travail présente une méthodologie, en cours de formalisation, de l'acquisition et la représentation de connaissances scientifiques en vue de leur transfert vers une communauté industrielle. L'acquisition des connaissances est basée sur la méthode AsK (Acquisition of scientific Knowledge) qui utilise les techniques classiques de collecte (entretiens, ateliers) suivant une structure conforme à l'organisation classique des articles scientifiques (données initiales, problème, hypothèses, tests, résultats, interprétation et conclusion). La représentation de connaissances est faite suivant une carte conceptuelle canonique et des fiches de connaissances. Les cartes conceptuelles sont des arbres sémantiques qui décrivent un concept (la racine) suivant trois axes ontologiques : taxonomique, méronymique et du domaine. Les fiches de connaissances respectent un format prédéfini incluant les mots clés, les références bibliographiques et les fiches sémantiquement connexes. L'approche proposée a été appliquée à deux domaines de recherche différents, la conception biscuitière et la valorisation de produits récupérés à base de bois.*

**MOTS-CLES :** *transfert de connaissances de l'université vers l'industrie, connaissance scientifique, acquisition de connaissances, représentation de connaissances*

---

## 1. Introduction

Du point de vue de la connaissance, les préoccupations des chercheurs et des industriels sont d'ordres différents : les premiers sont principalement intéressés par l'explication du monde alors que les seconds s'attachent au développement de produits. Nous nous intéressons ici au transfert de connaissances scientifiques (CS) de l'université vers l'industrie. Les CS ont pour principale caractéristique d'avoir fait l'objet de publications dans des revues scientifiques dans le but d'expliquer les lois qui lient des prémisses à des conclusions. Pour le transfert, nous avons opté pour la définition de Davenport & Prusak (1998) "Transfer = Transmission + Absorption (and Use)". Celle-ci implique que le transfert de CS vers l'industrie passe par une représentation de CS qui facilite leur absorption par les industriels. Les CS sous leur forme habituelle de publications scientifiques, ne sont pas accessibles aux non-scientifiques. Pour faciliter leur absorption par les industriels, les CS doivent être reformulées (représentées) sous une forme appropriée. Il existe, dans la littérature, plusieurs méthodes de gestion de connaissances des entreprises (CommonKads, MASK, MOKA, etc.) orientées capitalisation de savoir-faire ; ici nous nous préoccupons de connaissances scientifiques et leur transfert vers l'industrie.

## 2. Recueil et modélisation des connaissances scientifiques

Nos sources de connaissances sont des documents et des spécialistes. Nous utilisons la méthode de recueil AsK (Acquisition of scientific Knowledge) (Suciu et al. 2012) et des outils de modélisation de la connaissance au sens de Milton (2007) (tableaux, arbres, graphes etc.). La méthode AsK a pour objectif d'aider à recueillir les CS suivant les cinq parties habituellement présentes dans les articles scientifiques : introduction, matériel et méthodes, résultats, discussion et conclusion. Pour ce faire, nous nous focaliserons sur les données et connaissances relatives aux données initiales, problème posé, hypothèses de travail, tests requis, résultats obtenus et leurs interprétations et conclusion. AsK comporte trois phases : 1) acquérir et structurer les CS à partir des sources de connaissances, 2) identifier les CS nécessaires mais manquantes afin de mettre en place des entretiens avec les spécialistes permettant de les recueillir et 3) vérifier pour chaque CS à recueillir que l'ensemble des données et connaissances ont été examinés.

### **3. Représentation des connaissances scientifiques**

Nous distinguons les CS déclaratives de celles procédurales. Les CS déclaratives sont représentées sous forme de cartes conceptuelles suivant un modèle canonique (Jmal et al. 2011). Ce modèle de cartes conceptuelles est un arbre à trois branches dont la racine est le concept à déclarer, la branche de gauche est la déclaration de ce qu'est le concept via la relation de généralisation /spécialisation est-un, la branche du milieu est la déclaration des composants du concept via la relation méronymique a-pour-parties, et la branche de droite est la déclaration de comment le concept est mesuré (observé) via les relations du domaine est-mesuré-par, est-observé-par, est-caractérisé-par et est-étudié-suivant. Les propriétés algébriques des relations sont définies afin de permettre un raisonnement automatique à travers le modèle canonique. Les CS procédurales ont été traduites en fiches de connaissance.

### **4. Vérification de la représentation des connaissances**

Les cartes conceptuelles et les fiches de connaissances établies sont soumises aux spécialistes scientifiques pour qu'ils vérifient la justesse de la représentation des connaissances. Elles sont ensuite reliées entre elles en un réseau sémantique. Trois types d'hyperliens sont identifiés : les liens concept-carte, concept-fiche et fiche-fiche.

### **5. Résultats**

La démarche d'acquisition et de représentation des CS a été appliquée à deux domaines différents : la conception des biscuits à bénéfice satiété et la valorisation des déchets à base de bois. 53 graphes sémantiques et 520 fiches ont été établis pour le premier domaine applicatif, et 40 cartes conceptuelles et 100 fiches pour le second.

### **6. Conclusion**

Les CS représentées seront implémentées dans un livre électronique de connaissances pour chacun des domaines d'application. Celui-ci sera le support du transfert de connaissances. La désorientation et la charge cognitive liées à l'utilisation de chaque livre seront évaluées.

### **Références**

- DAVENPORT T. & PRUSAK L. (1998). Working knowledge-How Organization Manage What They Know, M. A. Harvard BS Press.
- JMAL A., MICHAUD F., IRLE M. C. & NDIAYE A. (2011). Structuring and representation of scientific knowledge for a transfer through an electronic knowledge-book. Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications. SOCA'11. p 1-7.
- MILTON N. R. (2007). Knowledge Acquisition in Practice: A Step-by-step Guide, Springer Publishing Company.
- SUCIU I., LE BLANC B., RABOUTET C., FERNANDEZ C. & NDIAYE A. (2012). How to Acquire Scientific Knowledge for University to Industry Knowledge Transfer. Proceedings of the Fourth IEEE International Conference on Information Process and Knowledge Management. eKNOW'12; p 24-27.

# Annexe 6: How to transfer scientific knowledge from the research to the industry in the field of the recovered wood

Aymen JMAL<sup>1</sup>, Amadou NDIAYE<sup>2</sup>, Franck MICHAUD<sup>1</sup>, Mark IRLE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>L'UNAM Université, Laboratoire Matériaux Composites Bois, Ecole Supérieure du Bois, rue C. Pauc 44306

Nantes Cedex 3, {aymen.jmal ; mark.irle ; franck.michaud}@ecoledubois.fr

<sup>2</sup>INRA, UMR927 I2M, Université Bordeaux 1, CNRS-INRA F-33405 Talence, France,  
ndiaye@bordeaux.inra.fr

---

## 4th International Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorisation (WasteEng 2012)

---

### RESUME :

The creation and the use of scientific knowledge on recovered wood allow to industry to refine their skills on recovered wood management and to propose an ecologically responsible choice as the future of this waste respecting the environment. Nowadays, numerous scientific results are generated and published by university but little quantities are translated to the practice. This limitation is due to the difficulty to transfer this knowledge in its typical format i.e. scientific papers. In this paper, a new channel in the form of the electronic knowledge book on the recovered wood is proposed. It is believed that it will facilitate the transfer of scientific knowledge from research to industry. It contains a new approach for representing scientific knowledge adapted to the industrial word. The declarative scientific knowledge has been represented by concepts maps and the procedural scientific knowledge has been represented by a knowledge-sheets. The tests realized have demonstrated that the user of the k-book experiences has a low disorientation and a cognitive load level, which promotes the absorption and the use of the transferred scientific knowledge.

**KEYWORDS:** knowledge transfer from research to industry, scientific knowledge, knowledge representation, recovered wood valorization

---

## 1- INTRODUCTION

Knowledge transfer here is the process where scientific knowledge (SK) is transmitted across a transmission channel so that it might be absorbed and used by the receiver (industrialists) [1]. The absorptive capacity of industry is its ability to recognize the value of new, external information, assimilate it, and apply it to commercial ends [2]. It is dependent on a person's prior knowledge and also on the format of the knowledge.

The transfer of SK generated by universities on recovered wood to industry will help the sector to develop [3, 4] and encourage the responsible recycling of waste wood. The European commission has highlighted the importance of improving knowledge transfer between public research and industry [5].

In its typical format, i.e. scientific papers, SK is not readily accessible nor easily understood by industrialists, partly due to the fact that the scientific language can be very specific and then difficult to comprehend without specific training. Knowledge transfer to industrialists can be facilitated by the existence of dedicated structures e.g. R&D departments, within the company [6], employee training and/or using Industry Mediators [7]. These structures require a large investment and so are largely inappropriate to the wood sector, which consists mainly of small or medium-sized enterprises that cannot afford such investment. This study is therefore looking for alternative ways of transferring SK on recovered wood to the industry. For a successful transfer, SK must be acquired and represented into a formalism adapted to the knowledge domain of the industrialist. The representation depends on the nature of the knowledge. The SK on recovered wood is an explicit knowledge, and by the way can be acquired, represented and transferred through an electronic medium. It consists of both declarative and procedural knowledge. The declarative knowledge corresponds to the

theoretical knowledge such as facts, rules and laws. The procedural knowledge corresponds to necessary knowledge for the achievement of tasks, e.g. sub-tasks, parameters and conditions etc. The SK on recovered wood also is granular and fragmented. The relevant SK includes the technical, environmental and economic data associated to the two broad types of use: recycling into new materials or energy production.

In this paper, a new transfer channel of SK on the recovered wood from research to industry is developed in the form of an electronic knowledge book (k-book). Below is a description of the proposed framework for the SK acquisition and representation and its application to recovered wood. This is followed by an evaluation of the absorptive capacity from the k-book as assessed by the disorientation and cognitive load when exploring the k-book.

**2- MATERIALS AND METHODS**

The knowledge book (k-book) is a web-based medium dedicated to the transfer of knowledge, here SK about recovered wood. Its development started with the acquisition of SK. Firstly, the recovered wood valorisation process was identified and modelled. The model of the valorisation process (Figur) is a succession of unit operations and it corresponds to the industrial process of recovered wood valorisation. This model defines the scope of the knowledge domain (necessary and sufficient knowledge to determine the optimal use of the recovered wood). Then, the second step consists in collecting the available SK for each process unit operation. In order to do this, individual unstructured and semi-structured interviews were organized with a set of researchers who had complementary skills covering the knowledge domain. An adapted knowledge models (trees, semantic network, etc.) [8] has been used to model each collected knowledge; and then proposed to the knowledge provider for the validation of its accuracy. Thereafter, the collected data were structured and represented.

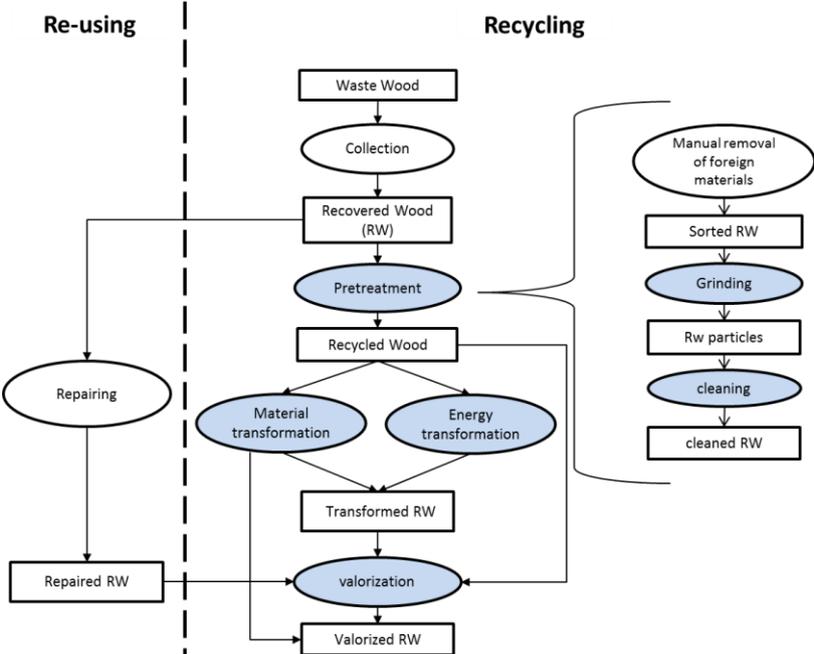


Figure 1 Representation of a valorization recovered wood process

The declarative scientific knowledge has been represented using the concept maps formalism [9]. The nodes represent the scientific concepts and the links the relationships existing

between them. Only taxonomical, meronymical and domain relationships have been used in the representation of declarative knowledge according to a specific canonical form of concept maps [10]. The canonical form is a tree which declare at a sufficient level a concept (the root) through three ontological axes: 1) a taxonomic axe to declare what is the principal concept across the generalization/specialization relationship “is-a”, 2) a meronymic axe to enumerate the parts of the principal concept across the part-whole relationship “has-parts” and 3) a SK domain axe to declare how the concept is observed, measured, characterised or studied across the relationships “is-observed-by”, “is-measures-by”, “is characterised-by” or “is-studied-by”. The procedural scientific knowledge has been represented through knowledge sheets (k-sheet). A k-sheet is composed of several information fields including: title, illustration, explanation of the illustration, author of the k-sheet, keywords, related k-sheets and references (see Figure ). The set of concept maps and k-sheets has been proposed to the knowledge providers during interviews for the validation of the correctness of the knowledge representation.

In the k-book, the network of concepts maps and k-sheets, a hypertext, has been implemented. Three kinds of hyperlinks are used: concept to concept-map (the declaration of the concept), concept to k-sheet (a procedural knowledge associated to the concept) and k-sheet to k-sheet (a related k-sheet). The model of the valorization process (Figur) which is the industrial recovered wood valorization process is used as transfer structure in the k-book in the form of a clickable menu. To each unit operation is associated a concept map, through a hyperlink, that declare what is the operation. The associated concept map will provide access to more detailed information (more specific concept maps and k-sheets) through the hyperlinks contained within.

The ease of absorbing knowledge from the k-book was evaluated using 45 under-graduates from the Ecole Supérieure du Bois. The evaluation was based on the disorientation and the cognitive load required whilst exploring the k-book. The cognitive load was measured with the 7-points rating scale of mental effort [11]. The disorientation was measured using the disorientation scale method [12]. The participants were divided into 2 groups: the first group was informed of the canonical form of the k-book prior to navigation and the second was not informed about the form. An assessment of mental effort and disorientation was performed after 2 navigation tasks of 25 minutes using a questionnaire with a response scale of 1 (extremely low) to 7 (extremely high) to a set of questions.

The k-sheets have been created using a specific computer program developed to facilitate the creation of k-sheets. So far, 39 concepts maps and 100 k-sheets have been created. An illustration of a concept map representing the relevant declarative knowledge related to the concept of “recovered wood” is shown in Figure . An example of a k-sheet is shown in Figure . The results of mental effort and disorientation tests are presented in Table and show that the use of k-book generates a low level of disorientation ( $M = 3.4$ ,  $SD = 1.27$ ) and requires low level of mental effort ( $M = 3.8$ ,  $SD = 1.49$ ) while exploring the k-book. The disorientation and cognitive load observed are mainly due to the use of the network of concepts maps and k-sheets. This network and its main menu, the k-book main page, promote knowledge transfer because it offers to user the possibility to explore the k-book from multiple perspectives and navigate freely in the k-book content [13].

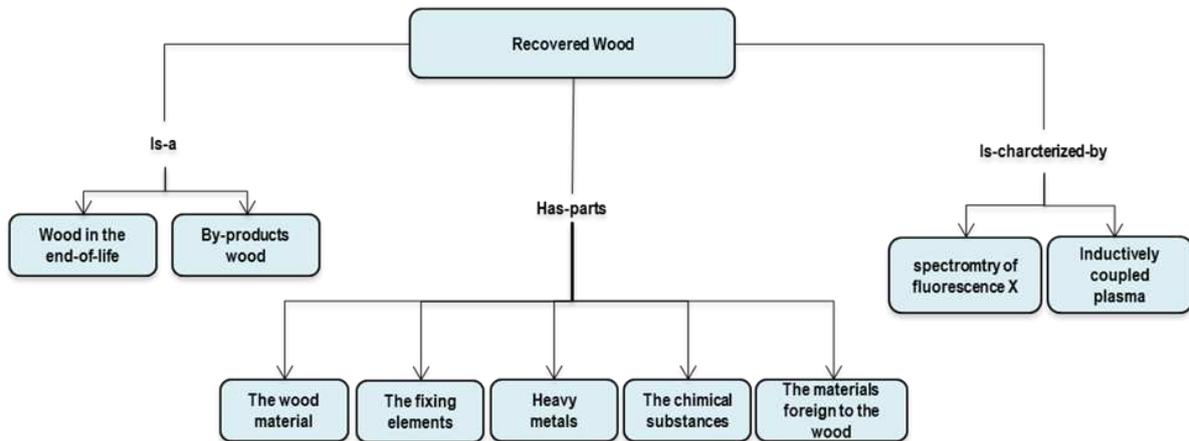


Figure 2 : Concept map of the recovered wood

The representation of the information space using concept maps and hypertext minimize the disorientation and cognitive load of users of the k-book. The use of concept map with hierarchical structure creates a favorable situation to absorb external SK [14]. Therefore, it allows the creation of a mental representation which reduces disorientation and cognitive load [14]. The recovered wood valorization process used as a transfer structure should reduce the disorientation and cognitive load of the industrialists who has some knowledge of recovered wood because he will navigate the k-book according to his prior knowledge. At the same time, he will be acquiring new SK related to each operation in the process.

A one factor ANOVA indicated no significant effect (all  $p > 0.05$ ) between the average mental effort rating for the first group of participants who had the canonical form (PCF) compared to those without the canonical form (PWCF). This implies that the two kinds of participants are investing the same effort mental. Another ANOVA applied on disorientation scores of two kinds of participants also indicates no significant effect (all  $p > 0.05$ ) which means that all participants (PCF and PWCF) had the same disorientation level. According to these results, we can conclude that the canonical form of concept map is intuitive. During navigation, the participants (PWCF) rapidly understood the form. In fact, it offers a standardized, simplified and uniform reading for the set of maps and a direct access to the relevant information.

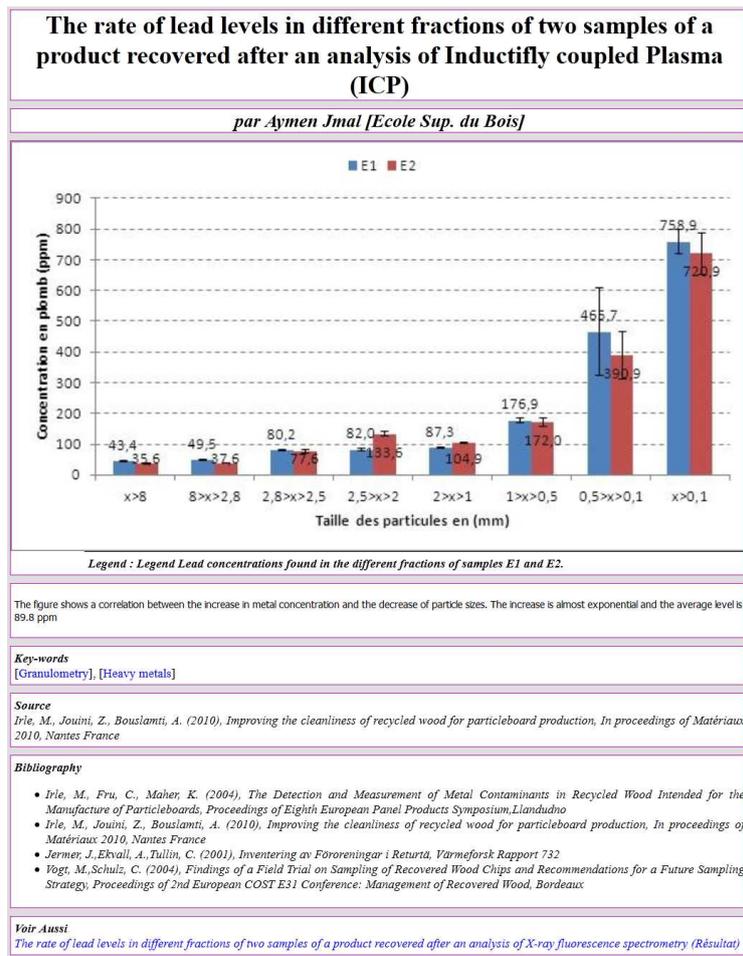


Figure 3 : Example of a k-sheet

|                | Group1 (PCF) |              | Group2 (PWCF) |              |
|----------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
|                | Test 1 M(SD) | Test 2 M(SD) | Test 1 M(SD)  | Test 2 M(SD) |
| Mental effort  | 3.75(0.91)   | 3.59(1.31)   | 4.29(1.03)    | 3.59(1.26)   |
| Disorientation | 3.75(1.13)   | 3.89(1.13)   | 3.62(0.95)    | 3.09(1.18)   |

Table 1 : Means (M) and standard deviations (SD) of the mental effort and disorientation rating

#### 4- CONCLUSIONS

A new transmission medium in the form of the electronic knowledge book on the recovered wood is proposed. The first results tend to show that it will facilitate the transfer of scientific knowledge from university to industry. It contains a new approach for representing scientific knowledge adapted to the industrial word. The tests realized have demonstrated that the user of the k-book experiences low disorientation and cognitive load level, which promotes the absorption of the transferred scientific knowledge. In addition, the developed k-book provides a review on scientific knowledge generated in the domain of recovered wood, which helps users of recovered wood to find answers to their technical problems. In addition, the k-book provides an opportunity to identify knowledge gaps and therefore aids researchers in the development of new, relevant research projects. The next aim of this study is to enrich the k-

book with industry knowledge (know-how) and determine its better representation in order to develop a decision support tool for industrialists when deciding on the optimal solutions for their recovered wood streams.

## REFERENCES

- [1] Davenport, T. H., Prusak L.: Working knowledge-How Organization Manage What They Know. M. A. Harvard BS Press. 100-104(1998)
- [5] Cohen, W. M., Levinthal, D. A.: Absorptive capacity: A new perspective on learning an innovation. *Administrative Science Quarterly*. 35, 128-152 (1990)
- [3] Agrawal, A.: University-to-industry knowledge transfer: literature review and unanswered questions. *International Journal of Management Reviews*. 3(4), 258–302 (2001)
- [4] Herrera, L., Munoz-Doyague, M.F., Nieto, M. : Mobility of public researchers, scientific knowledge transfer, and the firm’s innovation process. *Journal of Business Research*. 63, 510-518(2010)
- [5] EU commission: improving knowledge transfer between research institutions and industry across Europe: Embracing open innovation. Implementing the Lisbon agenda. 182 (2007)
- [6] Dowling, M., Helm, R.: Prodcut development success through cooperation : a study of entrepreneurial firms. *Technovation*. 26, 283, 488(2006)
- [7] Braun, S., Hadwiger, K.: knowledge transfer from research to industry. *Trends in Food science & Technology*. 22, 90-96 (2010)
- [8] Milton, NR.: Knowledge acquisition in practice: A step-by-step Guide. Springer (2007)
- [9] Novak, J. D.: The theory underlying concept maps and how to construct them, IHMConcept map software. 28(1), 117-153(2005)
- [10] Moon, B., Hoffman, R., Shattuck L.: Rapid and accurate idea transfer: Evaluating concept maps against other formats for the transfer of complex information. *Proceedings of the Third International Conference on Concept Mapping*. 2, 571-578(2008)
- [11] Jmal, A., Michaud, F., Irle, M. C., Ndiaye A.: Structuring and representation of scientific knowledge for a transfer through an electronic knowledge-book. *IEEE International workshop on Knowledge and Service Technology for Life, Environment and Sustainability*. 1-7(2011)
- [12] Pass, F., Van Merriënboer, J.J.: Measurement of cognitive load in instructional research. *Perceptual and motor Skills*.79, 419-430(1994)
- [13] Ahuja, J. S., Webster, J.: Perceived disorientation: an examination of a new measure to assess web design effectiveness. *Interacting with Computers*. 14(1),15-29(2001)
- [14] Amadiou, F., van Gog, T., Paas, F., Tricot, A., Mariné, C.: Effects of prior knowledge and concept-map structure on disorientation, cognitive load, and learning. *Learning and Instruction* 19(5), 376-386(2009).

# Thèse de Doctorat

Aymen JMAL

*Représentation des connaissances scientifiques en vue de leur transfert vers l'industrie*

*Representation of scientific knowledge in order to transfer it to industry*

## Résumé

La thèse s'intéresse au transfert de connaissances scientifiques en valorisation des produits à base de bois en fin de vie vers les acteurs de la filière bois. La question de recherche est: Comment transférer les connaissances scientifiques (recueil et représentation des connaissances) sur la valorisation des produits à base de bois en fin de vie pour qu'elles puissent être assimilées et utilisées par les acteurs de la filière bois ? Le recueil des connaissances a combiné des séances d'interview de spécialistes avec l'acquisition des connaissances à partir d'articles scientifiques. Les connaissances recueillies ont été reformulées afin de faciliter leur transfert vers les acteurs de la filière bois : les concepts pertinents, relations d'influence entre les concepts et résultats scientifiques ont été respectivement représentés via des cartes conceptuelles, graphes d'influence, et fiches de connaissances. Un modèle canonique de cartes conceptuelles a été proposé afin de permettre une représentation homogène des concepts. La transmission, l'assimilation et l'utilisation potentielle des connaissances à transférer ont été traitées comme suit : La transmission a été proposée via un livre électronique (hypermédia) de connaissances, L'assimilation a été prise en compte via la reformulation des connaissances et une représentation graphique des connaissances suivant une carte conceptuelle canonique et un format prédéfini de fiches. L'utilisation potentielle des connaissances transférées a été renforcée par la représentation des leviers d'action sur les concepts du domaine sous forme de graphes d'influence. Les performances de transfert à partir du livre ont été évaluées en fonction du degré de compréhension du contenu du livre, la charge cognitive de l'utilisateur au cours de l'utilisation du livre de connaissances et sa désorientation. L'expérience a montré que la forme canonique développée est intuitive ; et, tout comme la navigation dans le livre, n'occasionne pas de désorientation ou surcharge cognitive de l'utilisateur. Les résultats obtenus montrent, au sein de la filière bois, tout l'intérêt de la représentation proposée pour le transfert de connaissances scientifiques vers des professionnels.

## Mots clés

**Transfert de connaissances, connaissances scientifiques, Représentation de connaissances, carte conceptuelle, fiche de connaissances, livre de connaissances**

## Abstract

This thesis focuses on the transfer of scientific knowledge on recovered wood to practitioners of the wood sector. The research question is: how to transfer the scientific knowledge (collect and representation of knowledge and the transmission medium) on the recovered wood so that they may assimilate and used by non-scientific personnel of the wood sector? Knowledge was first collected through interviews with specialists in the re-use of recovered wood and combined with acquisition of knowledge from scientific publications. The collected knowledge was then reformulated to facilitate its transfer to practitioners in the wood sector. The relevant concepts, the influences between concepts and relevant scientific results were respectively represented via concept maps, influence graphs, and knowledge sheets. A canonical model of concept maps is proposed to enable a homogeneous representation of concepts. Transmission, assimilation and potential utilization of knowledge transfer were treated as follows: The transmission is proposed via an electronic (hypermedia) knowledge-book, the assimilation (absorption) has been taken into account through the reformulation of knowledge and a graphical representation of knowledge following a canonical concept map and sheets with a predefined format and The potential use of the transferred knowledge is facilitated by the representation of the action levers on the domain concepts in the form of influence graphs. The efficiency of knowledge transfer via the knowledge-book has been evaluated according to the degree of understanding of the book content, the cognitive load of the user during use of the knowledge-book and the disorientation it caused. The experience has shown that the developed canonical form is intuitive and, like navigation in the book, does not cause disorientation or cognitive overload to the user. This promotes the assimilation and the use of the knowledge-book content. The obtained results indicate that the representation of relevant knowledge in a knowledge-book should facilitate the transfer of scientific knowledge to professionals in the wood sector.

## Key Words

**Knowledge transfer, scientific knowledge, knowledge representation, concepts maps, knowledge sheet, knowledge book**