



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

---

UNIVERSITE HENRI POINCARÉ, NANCY 1  
Ecole Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois

**THESE**

Présentée pour l'obtention du

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE HENRI POINCARÉ, NANCY 1**

Discipline : **Sciences du bois**

Spécialité: **Mécanique - Energétique**

par

**Cecilia FUENTEALBA**

**Approche biométrique  
pour l'identification automatique des produits bois**

Soutenue publiquement le 17 novembre 2005  
devant la commission d'examen composée de

Rapporteurs :

Pr. Patrick MARTIN, Professeur à l'ENSAM de Metz - Président du jury  
Pr. Luisa Maria HORA DE CARVALHO, Professeur à l'Institut Polytechnique  
de Viseu - Portugal

Directeurs de Thèse :

Pr. Patrick CHARPENTIER, Professeur à l'ENSTIB, Epinal  
Pr. Daniel MASSON, Professeur à l'ENSTIB, Epinal

Responsable de recherche :

MdC Denise CHOFFEL, Maître de Conférences à l'ENSTIB, Epinal

Examineur :

Dr Raphaël VOGRIG, Directeur de LuxScan Technologies, Luxembourg

*Dedico esta tesis a  
a mi esposo Cristian y  
a nuestro hijo Felipe*

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé dans le cadre du Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN – U.M.R. 7039) dans les locaux de l'Ecole Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois (ENSTIB).

Je tiens en premier lieu à remercier le Centre de Ressource des Industries du Bois (CRITT bois) et le Conseil Général de Lorraine pour leur soutien financier pendant le développement de ce travail.

Egalement, je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements aux personnes qui ont composé le jury. Monsieur le Professeur MARTIN pour avoir accepté d'en être le président, Madame le Professeur HORA de CARVALHO et Monsieur VOGRIG pour s'être intéressés à mon travail par delà des frontières françaises.

Je tiens à remercier mes Directeurs de thèse : Messieurs MASSON et CHARPENTIER pour leurs conseils et leur aide.

Je voudrais aussi exprimer ma reconnaissance à Denise CHOFFEL, responsable de recherche, avec laquelle j'ai eu l'honneur de travailler très étroitement. Je tiens donc à lui exprimer toute mon amitié et mes sincères remerciements pour tout le temps qu'elle m'a consacré et sans qui je n'aurais jamais eu cette réussite.

J'adresse mes plus sincères remerciements à Christophe SIMON, pour sa précieuse aide dans la partie traitement de signal.

Mes plus vifs remerciements à mes amis thésards : Marie-Laure RABOT-QUERCI et Marion NÖEL pour leur sympathie, amitié et encouragements à la réalisation de cette thèse.

Je ne voudrais pas oublier les personnes qui m'ont rendu mon temps à l'ENSTIB très agréable : Marie-Jo, Madame LAURANT, Sophie, Valérie, remerciements tous particuliers à Madame GREMILLET pour sa tendresse et gentillesse. Je n'oublie pas non plus toutes les personnes que j'ai rencontré pendant mon séjour en France et avec qui j'ai partagé de très grands moments. Spécialement, je dirige mes plus chaleureux remerciements à Elisabeth BECKER et Simone MANGIN –GARDIOL pour l'apprentissage du français et pour l'amitié qu'elles m'ont offerte, amitié que je garderai pour toujours.

Je tiens à remercier infiniment mes parents et mes sœurs qui, malgré la distance m'ont donné tout leur amour et leur soutien pour aboutir. Finalement, à mon mari qui m'a accompagné dans cette aventure en me donnant la confiance et tout son amour.

---

Introduction	1
Chapitre I	
Traçabilité et systèmes d'identification automatique	
I.1. Introduction	4
I.2. Emergence de la traçabilité et concepts	6
I.2.1 Les raisons de l'émergence de la traçabilité	6
I.2.1.1 Législation et sécurité	7
I.2.1.2 Qualité et exigence des consommateurs	7
I.2.1.3 Chaîne logistique	9
I.2.1.4 La valeur consommateur	10
I.2.2 Le concept de traçabilité	12
I.2.2.1 Définitions standardisées de la traçabilité	12
I.2.3 Les différents aspects de la traçabilité	15
I.2.3.1 La traçabilité sur la chaîne logistique	15
I.2.3.2 Traçabilité dans la chaîne logistique	16
I.2.4 L'utilisation de la traçabilité	17
I.2.5 Les impacts de la traçabilité	19
I.2.6 La traçabilité en pratique	21
I.2.7 Autres domaines d'études incluant la traçabilité	25
I.2.7.1 La traçabilité dans une vision de produit intelligent	25
I.2.7.2 La traçabilité dans le cycle de vie produit	27
I.3. Conclusion	28
I.4. Systèmes d'identification automatique	29
I.4.1 Introduction	29
I.4.2 Constitution d'un système d'identification automatique	30
I.4.3 Techniques d'identification automatique	32
I.4.3.1 Marquage	32
I.4.3.2 Codes à barres	33
I.4.3.3 Etiquettes Radio Fréquence – RFID	33
I.4.3.4 La biométrie	35
I.4.4 Classification des systèmes d'identification automatique	35

I.4.5 Standardisation de l'identification automatique	38
I.5. Conclusion	39

## Chapitre II

### La traçabilité dans les industries du bois

II.1. Traçabilité dans la filière bois	41
II.1.1 L'augmentation de la conscience environnementale	41
II.1.2 Recherche de l'efficience des processus de transformation du bois	43
II.2. L'identification des produit bois	49
II.2.1 Nouvelles solutions de traçabilité	51
II.2.1.1 Utilisation de la biométrie par ADN	52
II.2.1.2 Utilisation de la biométrie par signature interne	52
II.2.1.3 Utilisation de marqueurs	53
II.2.1.4 Marqueur olfactif	54
II.2.1.3 Utilisation de RFID pour l'industrie du meuble	55
II.2.1.4 Traçabilité de la chaîne forêt-bois : LINESET	55
II.3. Conclusion	61

## Chapitre III

### Signature interne comme outil d'identification pour les industries du bois

III.1. Introduction	63
III.2. Caractéristiques des micro-ondes et interactions avec le bois	63
III.3. Concept de signature interne	66
III.3.1. Description du système et acquisition des signatures	67
III.3.2. Analyses des facteurs influents pour l'utilisation de micro-ondes	69
III.3.2.1. Le milieu	70
III.3.2.2. La matière	71
III.3.3. Influence des processus de transformation sur la signature et l'identification	83
III.4. La reconnaissance de formes	88
III.4.1. Processus d'identification	90
III.4.2. Méthode de k plus proches voisins	91

III.4.3. Situation de reconnaissance	92
III.4.4. Expérimentation	93
III.4.4.1. Produits	93
III.4.4.2. Acquisition de signatures	93
III.4.4.3. Traitement des signatures	95
III.4.5. Descripteurs utilisés pour la reconnaissance de produit bois par signature interne	96
III.4.5.1. Extraction des caractéristiques numériques à partir des signatures	97
III.4.5.2. Utilisation de la transformée de Fourier	98
III.4.5.3. Utilisation de la signature numérique complète	98
III.4.6. La discrimination	99
III.4.7. Coefficient de confusion	100
III.5. Résultats	101
III.5.1. Taux d'erreur d'identification	106
III.5.2. Coefficient de confusion pour l'identification	106
III.5.3. Sensibilité de l'erreur d'identification	108
III.6. Conclusion	108

## Chapitre IV

### Intégration de la traçabilité dans le système d'information de l'entreprise

IV.1. Introduction	109
IV.2. Le système d'information et le concept d'intégration	110
IV.3. Représentation de la traçabilité	115
IV.4. Positionnement de la traçabilité	121
IV.5. Construction du modèle	124
IV.5.1 Exigences	124
IV.5.2 Explication du diagramme	125
IV.6. Implantation	129
IV.6.1 Application du modèle sur un atelier de finition de fenêtres	131
IV.6.1.1 Fabrication d'un dormant de fenêtre	131
IV.6.1.2 Problème d'identification	132
IV.6.1.3 Problèmes rencontrés lors de l'implantation	133

IV.7. Exemple de saisie de données pour l'assemblage	134
IV.8. Conclusion	136
Conclusion	138
Références bibliographiques	141
Sommaire de figures	
Chapitre I	
Figure I.1. Traçabilité ascendante et descendante dans la chaîne logistique forêt – bois	16
Figure I.2. Traçabilité interne, amont et aval	17
Figure I.3. Système d'identification en boucle ouvert et en boucle fermée	18
Figure I.4. Exigences pour la mise en place de la traçabilité	22
Figure I.5. Modèle informationnel d'une entreprise et les liens entre les différents systèmes	22
Figure I.6. La traçabilité comme base d'un système MES	23
Figure I.7. Standards à travers les phases du cycle de vie produit	24
Figure I.8. Exemple de produit intelligent	25
Figure I.9. Constituants d'un système d'identification	32
Figure I.10. Constituants d'un système RFID	34
<b>Chapitre II</b>	
Figure II.1. Certification de bois	43
Figure II.2. Intégration chaîne logistique forêt –bois	44
Figure II.3. Accumulation d'information des produits bois dans la chaîne forêt -bois	46
Figure II.4. Flux divergent et convergent dans la chaîne forêt –bois	48
Figure II.5. Modèle montrant la grille avec ses coordonnées polaires et radiales	54
Figure II.6. La traçabilité dans les deux chaînes forêt –bois développée par LINESET	56
Figure II.7. (a) étiquette électronique, (b) insertion de l'étiquette électronique pendant l'opération de récolte et (c) lecture de l'étiquette électronique	57
Figure II.8. (a) marquage CCM et (b) installation marquage CCM à la station de tri	57
Figure II.9. Etiquettes plastiques avec code à barre	58
Figure II.10. Impression du code sur des planches	58

Figure II.11. Types d'erreurs de lecture pour le marquage sur planches	59
Figure II.12. Synchronisation de données entre les étiquettes électroniques et le cubeur	60
Figure II.13. Systèmes d'identification automatique utilisés par LINESET	61

### Chapitre III

Figure III.1 Spectre électromagnétique	64
Figure III.2 Absorption et réflexion d'une onde sur un matériau donné	66
Figure III.3 Concept de signature interne	67
Figure III.4 Banc d'essai micro-onde	68
Figure III.5 Répétabilité des mesures micro-onde	68
Figure III.6 Exemple de signature sur un produit bois	69
Figure III.7 Diagramme de cause -effet (diagramme d'Ishikawa)	70
Figure III.8 Les trois directions principales du bois	71
Figure III.9 Effet de la teneur d'humidité du bois sur les propriétés diélectriques	72
Figure III. 10 Amplitude moyenne des signaux en fonction de l'humidité	73
Figure III.11 Influence de la densité sur constante diélectrique $\epsilon'$	74
Figure III.12 Emission d'un signal micro-onde dans les trois plans d'anisotropie	75
Figure III.13 Influence de l'anisotropie sur les caractéristiques diélectriques	75
Figure III.14 Quelques causes de la pente du fil	76
Figure III.15 Influence de la pente de fil sur le signal micro-onde	77
Figure III.16 Différents types de nœuds avec forte ou faible déviation de la fibre (a) nœud adhérent, (b) nœud non adhérent et (c) nœud avec forte déviation de fil	78
Figure III.17 Signaux provenant d'une planche sans nœuds et avec nœuds	78
Figure III.18 Signaux représentatifs de divers types de nœuds	79
Figure III.19 Comparaisons de signaux avec présence de pente du fil	80
Figure III.20 Graphique de moyenne pour la moyenne des signaux	80
Figure III.21 Graphique de moyenne pour l'écart type des signaux	80
Figure III.22 Poches de résine	81
Figure III.23 Signature micro-onde pour une poche de résine	82
Figure III.24 Influence de la température sur la constante diélectrique $\epsilon'$	82
Figure III.25 Effet du rabotage sur la même voie micro-onde	83
Figure III.26 Coefficient de corrélation pour la comparaison des signaux avec rabotage	84

Figure III.27 Signaux micro-onde provenant de trois voies pour l'état raboté et peint d'une même planche (situation 1)	86
Figure III.28 Signaux micro-onde provenant de trois voies pour l'état raboté et peint d'une même planche (situation 2)	86
Figure III. 29 Codage de Fremman appliqué aux signatures micro-ondes	89
Figure III.30 Espace de représentation pour le plus proche voisin	91
Figure III. 31 Identification de produits avec retournement de pièces	93
Figure III.32 Trajectoire de l'acquisition d'une signature sur un produit bois	94
Figure III.33 Acquisition des signatures avec retournement de pièces	94
Figure III.34 Signatures sur une planche voilée	95
Figure III. 35 Signature corrigée	96
Figure III.36 Histogramme de la variation d'écarts de la moyenne orientations A et C	98
Figure III.37 Coefficients de pondération en fonction de la position des points mesure	100
Figure III.38 Coefficient de confusion	101
Figure III. 39 Signatures d'une identification simple	102
Figure III. 40 Signatures d'une identification plus complexe	102
Figure III.41 Courbe de proximité pour la moyenne	104
Figure III.42 Courbe de proximité pour l'écart type	104
Figure III.43 Courbe de proximité pour la pente du signal	105
Figure III.44 Histogramme du degré de confusion, distance de Manhattan	107
Figure III.45 Histogramme du degré de confusion, distance euclidienne	107

## Chapitre IV

Figure IV.1 Flux d'information intégré, état projeté	110
Figure IV.2 Système d'information et système informatique	111
Figure IV.3 Origine du langage UML	112
Figure IV.4. Hiérarchie fonctionnelle et les progiciels de gestion intégrée.	114
Figure IV.5 Modèle ontologique de la traçabilité	116
Figure IV.6 Structure fondamentale d'un système de traçabilité selon [Moe 98]	117
Figure IV.7 Exemple d'un graphique gozinto	118
Figure IV.8 Modèle de référence pour l'industrie agroalimentaire	119
Figure IV.9 Structure du système d'information associé à la traçabilité produit	120
Figure IV.10 Modèle fonctionnel de MES	121

Figure IV.11 Modèle de gestion d'opérations de système manufacturier	122
Figure IV.12 Modèle de performance de production [AINSI /ISA -95-00-01-2000]	123
Figure IV.13 Cas d'un produit assemblé et un produit désassemblé	125
Figure IV.14 Diagramme de classe système d'information intégrant la traçabilité	128
Figure IV.15 Méthodologie de création du système d'information	129
Figure IV.16 Diagramme relationnel	130
Figure IV.17 Etapes de fabrication d'une fenêtre	131
Figure IV.18 Du cadre au produit fini, conservation de la trace	133

## *Introduction*

---

## Introduction

Depuis les premiers événements mettant en jeu la sécurité alimentaire, le concept de traçabilité a pris de l'importance dans tous les secteurs industriels. La traçabilité représente, en fin de compte une rencontre entre le client et l'entreprise dans un univers virtuel de communication et d'information [Lezin 01].

La traçabilité est définie selon le standard [ISO 8402/94] comme "l'aptitude à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'une entité au moyen d'identifications enregistrées". Par conséquent, la traçabilité est un concept dont le succès est entièrement dépendant de la capacité des entreprises à suivre leurs produits, donc à disposer de systèmes d'identification automatique en adéquation avec les types de produits et les types de transformations qu'elles utilisent.

L'évolution technologique et la réduction du prix des systèmes de collecte de données et des systèmes d'identification automatique ainsi que le développement des technologies de communication ont contribué à la faisabilité de la traçabilité dans de nouvelles applications. Par exemple, nous pouvons remarquer que ces derniers temps l'utilisation des étiquettes radiofréquence (RFID) est de plus en plus considérée comme la solution panacée pour le suivi des produits. Pour le moment, le coût associé à cette technologie est encore trop élevé pour une adaptation massive, et elle est plutôt envisagée pour le suivi par lots.

Les nouvelles technologies permettent de multiplier les points de rencontre entre le flux physique et le flux d'information. Les systèmes d'échange de données et la traçabilité confèrent une vision globale du flux physique aux acteurs de la chaîne de production. Ainsi, la traçabilité peut fournir des informations utilisées :

- d'amont en aval : pour gérer le flux de produits, contrôler et commander les processus de fabrication et plus largement gérer les relations entre clients et fournisseurs (EDI, e-commerce),
- d'aval en amont : pour assurer le consommateur de l'origine du produit ou de la matière qu'il utilise.

La mise en place d'un système de traçabilité génère des retombées positives telles que l'amélioration de performances à l'intérieur de l'entreprise et l'amélioration de la communication entre les différents acteurs de la chaîne logistique à l'extérieur de l'entreprise.

La connaissance complète de la trace d'un produit individuel et des différentes opérations depuis son origine jusqu'à son utilisation finale n'est pas facile à obtenir. Les données de traçabilité doivent se transformer en informations utiles pour qu'à chaque étape du processus on soit capable de répondre aux questions suivantes :

- De quel produit s'agit-il ?
- Quelles sont ses caractéristiques et son histoire ?
- A quel stade de transformation se situe-t-il ?
- Quelle est sa destination ?

Dans cette thèse, la problématique de traçabilité est appliquée dans le cadre particulier des industries du bois. Les technologies existant dans des autres secteurs industriels n'y sont pas directement transférables pour des raisons aussi bien économiques que techniques. Le principaux freins actuels sont liés à :

- la faible valeur ajoutée des produits, principalement dans la scierie, provoque un certain recul devant l'investissement des systèmes de traçabilité,
- la nature du matériau bois (matériau biologique et hétérogène),
- les caractéristiques particulières des processus de production.

De ce fait, l'identification automatique des produits bois représente une des principales contraintes à la mise en place de la traçabilité. Cette contrainte impose actuellement que plusieurs systèmes d'identification coexistent pour le suivi du produit tout au long de la chaîne.

La finalité de ce travail est technologique, il a pour objectif d'instrumenter une partie des processus de production dans la filière bois.

De nouvelles solutions pour l'identification des produits bois commencent à être étudiées, on peut citer l'utilisation des étiquettes radiofréquence dans l'industrie du meuble, l'identification des essences par l'ADN utilisé dans la certification et la signature interne pour le suivi des produits. Nous nous situons dans cette dernière, elle correspond à l'utilisation d'une technique de contrôle non destructif (technologie micro-ondes) pour la lecture de la signature interne ; ce concept a été introduit par [Charpentier 99]. Ici, le caractère unique d'une signature pour chaque produit bois a été prouvé.

Dans cette thèse nous utilisons cette technique d'identification de type biométrique, que nous avons appelé identification par signature interne. Le premier objectif est de montrer que la trace d'un produit bois peut être suivie et que nous sommes capables de l'identifier

individuellement à chaque étape d'un processus sans avoir besoin de lui adjoindre des étiquettes. C'est le produit qui porte son identité et nous sommes capables de le reconnaître. Pour ceci, nous proposons une méthode de reconnaissance qui apporte ainsi une solution possible à la problématique d'identification pour les produits bois.

Notre second objectif est de proposer un modèle de système d'information qui intègre de manière explicite l'identification automatique et la traçabilité.

Notre mémoire, développé en quatre chapitres, illustre notre démarche avec le plan suivant :

Le premier chapitre présente tous les aspects concernant la traçabilité : son origine, la standardisation, sa mise en place et les impacts sur l'organisation. Ensuite, l'identification automatique est analysée comme une partie incontournable de la traçabilité.

Dans le deuxième chapitre, la traçabilité et l'identification automatique sont étudiés dans le cadre spécifique des industries du bois. Dans ce contexte, nous avons montrons comment la traçabilité est mis en œuvre pour cette filière et nous avons cherché à comprendre pourquoi sa mise en place n'est pas aussi avancée que dans les autres secteurs industriels. Les techniques d'identification automatiques utilisées par cette filière et leurs limites d'utilisation sont ainsi données.

Le troisième chapitre présente le développement de l'approche biométrique par signature interne. Une analyse des facteurs influant sur la signature a été réalisée, afin de déterminer quels seront ceux qui pourront être maîtrisé et ceux qui seront à prendre en compte dans le processus d'identification.

Parmi la multitude de méthodes d'identification possibles, nous présentons ensuite celle qui a été mise en œuvre : la méthode du plus proche voisin. Adaptée pour notre situation de reconnaissance, elle nécessite l'extraction de descripteurs des signatures. L'évaluation de la décision d'identification est faite au travers du calcul d'un coefficient de risque. Trois types de descripteurs ont été sélectionnés, leurs performances en terme de risque de décision et pourcentage de reconnaissance seront comparées.

Le quatrième et dernier chapitre de ce mémoire concerne le système d'information. Après une brève description conceptuelle nous avons mis en évidence ce qui existe dans la littérature sur les systèmes d'information intégrant la traçabilité, ensuite la place de celle-ci dans l'entreprise a été analysée selon la perspective de la norme ANSI/ISA-95. Nous avons proposé un modèle de système d'information intégrant la notion de traçabilité et les différents systèmes d'identification automatique. Ce modèle à été développé en utilisant le langage UML, en raison de son caractère normalisé. Nous avons finalisé avec l'implantation de ce

modèle au niveau informatique, ceci pour assurer que la saisie de données garde la même cohérence du modèle. Pour ce faire, nous avons proposé un cadre d'application, ceci correspond à une industrie de fenêtres, où les étapes les plus importantes comme l'assemblage ont été vérifiées.

## ***Chapitre I***

### ***Traçabilité et systèmes d'identification automatique***

---

## **Chapitre I**

### **Traçabilité et systèmes d'identification automatique**

#### **I.1. Introduction**

Aujourd'hui, la traçabilité des produits est un concept intégré dans la vie quotidienne avec des applications bien connues dans la chaîne alimentaire, la fabrication d'automobiles, etc.

Depuis les premiers événements mettant en jeu la sécurité alimentaire, le concept de traçabilité a pris de l'importance dans les autres secteurs industriels. La finalité est d'être capable de tracer le produit et d'accéder à son historique à travers toute ou partie de la chaîne logistique, c'est-à-dire, depuis sa conception jusqu'à sa destruction ou le recyclage.

Le client est de plus en plus demandeur d'informations, il veut savoir ce qu'il achète, comment et avec quoi son produit a été réalisé, si son produit est bien conforme aux normes de sécurité et ainsi obtenir la garantie que son acte d'achat est justifié. Ainsi, l'entreprise doit être capable de fournir cette information et faire preuve de transparence pour établir le lien avec le client, contact inexistant auparavant. Ici la traçabilité représente en fin de compte une rencontre entre le client et l'entreprise dans un univers virtuel de communication et d'information [Lezin 01].

L'évolution technologique et la réduction du prix des systèmes de collecte de données et des systèmes d'identification automatique ainsi que le développement des technologies de télécommunications ont contribué à la faisabilité de la traçabilité dans de nouvelles applications. Ces nouvelles technologies permettent de multiplier les points de rencontre entre le flux physique et le flux d'information. Les systèmes d'échange de données et la traçabilité conféreront une vision globale du flux physique aux acteurs de la chaîne.

Comme nous le verrons dans ce chapitre, plusieurs auteurs donnent de bonnes raisons pour mettre en place système de traçabilité. Parmi les plus récurrentes, l'assurance de la qualité du produit, la sécurisation du flux physique par la maîtrise des aléas (en action préventive ou curative), la capacité d'identifier les dysfonctionnements, mais également de responsabiliser les intervenants.

Dans ce chapitre, nous développerons de façon générale comment la traçabilité a émergé dans le domaine industriel, les différentes définitions et aspects qu'elle recouvre à présent, comment elle se situe dans l'industrie, ainsi que les impacts qu'engendrent sa mise en œuvre.

De plus, nous avons voulu montrer brièvement de nouveaux concepts émergents, comme le produit intelligent, où la traçabilité est implicite. Dans une seconde partie, nous développons l'identification automatique, par ses concepts basiques et techniques, comme une ressource incontournable de la traçabilité.

## **I.2. Emergence de la traçabilité et concepts**

### **I.2.1 Les raisons de l'émergence de la traçabilité**

L'émergence de la traçabilité est constatée dans la littérature sous des formes et des domaines d'applications différents. Nous verrons ainsi que l'introduction de la "responsabilité produit"<sup>1</sup> et l'augmentation du consumérisme ont joué un rôle considérable dans l'histoire de la traçabilité depuis la fin des années 1960.

Goddard mentionne que l'existence de la traçabilité était moins connue auparavant, cependant, elle est présente depuis de nombreuses années dans le secteur agroalimentaire. A la fin des années 60, il existait des entreprises qui utilisaient un système d'étiquettes pour tracer leurs animaux [Goddard 03]. C'est seulement au milieu des années 80 que la traçabilité fait son apparition auprès du grand public. Deux événements nous la font connaître. Le premier, est lié à la crise de la maladie d'origine bovine, l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB). Il pose alors un véritable problème de santé publique. Le second, concerne le sang contaminé utilisé dans les transfusions sanguines en France, dans les années 1984 et 1985. Après ces événements mettant en jeu la vie humaine, la traçabilité apparaît comme un concept incontournable qui redonne confiance et rassure les consommateurs.

La conséquence majeure de ces événements a été pour le gouvernement la nécessité de légiférer. Ensuite, en plus de cet aspect légal, les entreprises utilisent la traçabilité comme garantie de la qualité de leurs produits, mais également comme facteur d'amélioration des performances de leurs outils de production.

On peut constater la présence de traçabilité sous divers aspects, vis à vis de la loi et de la sécurité, de la qualité et de l'exigence des consommateurs, sur la chaîne logistique, et plus récemment liée à la valeur- consommateur<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Responsabilité produit : terme traduit de l'anglais "product liability"

<sup>2</sup> valeur consommateur de l'anglais "consumers value", c'est un concept qui décrit et analyse les attentes du consommateur.

### **I.2.1.1 Législation et sécurité**

Dans la traçabilité, l'aspect légal est synonyme de protection du consommateur. Cet aspect recouvre les différentes lois promulguées par le gouvernement ainsi que les normes existantes, lesquelles servent de guide aux différentes industries.

Une des exigences légales pour les entreprises est la traçabilité du produit et du flux de l'information, comme outil pour assurer la sécurité du consommateur. En particulier, dans la norme 178/2002 de la loi générale alimentaire européenne, article 14, il est indiqué que tout aliment placé sur le marché doit être sûr [Food Standards Agency 02]. De plus, il est ajouté que dans le cas d'un incident ou d'une crise où un système de traçabilité par lot est employé, la conséquence sera le retrait de tous les articles fabriqués à partir du lot incriminé. Si le problème ne peut pas être attribué à un lot spécifique, alors la production complète devra être retirée. Ici, apparaissent clairement les enjeux des systèmes de traçabilité pour les entreprises de ce type de filière. L'ECR<sup>3</sup>, organisme traitant particulièrement de la sécurité des produits, mentionne qu'aujourd'hui la traçabilité est une exigence légale claire et que les entreprises n'ont pas d'autre choix que de mettre en place des systèmes appropriés pour rester compétitives.

D'autre part, il est particulièrement important de porter attention à la problématique de la responsabilité produit. La garantie de conformité oblige le vendeur à livrer une marchandise qui corresponde aux spécifications de l'offre. Il ne faut cependant pas confondre cette garantie avec la "responsabilité du fait des produits". Celle-ci concerne les "effets" du produit et les dommages qu'il peut engendrer à cause de son niveau de sécurité insuffisant. Une directive européenne crée un système de responsabilité indépendant de la notion de faute. Ces deux types de responsabilités peuvent être garantis avec une traçabilité suffisante [conseil des communautés européennes 98].

### **I.2.1.2 Qualité et exigence des consommateurs**

L'importance de la traçabilité dans le domaine de la qualité a été soulignée par de nombreux auteurs.

Pour [Gryna 88], la traçabilité est justifiée par l'augmentation des exigences de qualité de la part des consommateurs. Moe mentionne que les exigences de qualité sont à l'origine de normes comme l'ISO 9000 sur la gestion de la qualité et aussi de l'implémentation croissante

---

<sup>3</sup> ECR Europe : Efficient Consumers Response, plateforme de collaboration entre les industriels et les détaillants.

des “bonnes pratiques manufacturières<sup>4</sup>”. Ces normes ont été un très bon support pour les systèmes de traçabilité qui ont commencé à se développer en couvrant plus d'information et plus d'étapes dans la chaîne de production [Moe 98].

Dans les normes de la famille ISO 9000 version 1994, la traçabilité est mentionnée dans le chapitre intitulé “identification et traçabilité du produit”. La nouvelle version 2000 plus étendue met la traçabilité dans le chapitre de la réalisation du produit. En particulier, il est mentionné que “les organisations doivent prendre des mesures pour identifier l'état du produit et/ou du service, concernant les mesures requises et la vérification des activités et, doit quand il est nécessaire, identifier le produit et/ou le service en utilisant les moyens appropriés pendant tout le processus. Cela devrait s'appliquer à toutes les parties concernées du produit et/ou du service là où leur interaction a une incidence sur la conformité aux exigences. Quand la traçabilité est une exigence, les organisations devraient contrôler et enregistrer l'identité unique du produit et/ou du service” [Norme ISO 9000/2000].

Selon Petroff, les systèmes de traçabilité ont un impact sur la qualité et agissent sur le coût des produits en permettant une meilleure compétitivité des entreprises [Petroff 91].

D'ailleurs, dans le travail de Kim : “ontologie de qualité pour la modélisation de l'entreprise”, la traçabilité est qualifiée de sous-domaine de la qualité et elle doit être prise en compte dans tout système de qualité. De même, il remarque que le diagnostic d'un problème de qualité peut être aidé et amélioré si les ressources consommées et/ou fabriquées et la quantité de ressources nécessaires pour une activité sur une période de temps sont connues [Kim 95]. Kim a été un des premiers à exprimer explicitement que l'identification sur chaque ressource pouvait affecter la qualité du produit. De cette manière, le suivi du produit est garanti pendant tout le cycle de vie en permettant entre autre de détecter l'origine en cas de défectuosité.

[Barjolle 00] met en évidence l'importance croissante de la traçabilité dans la filière agroalimentaire. En accord avec [Gryna 88], il explique que cette situation est fortement liée au comportement des consommateurs, devenus de plus en plus exigeants sur les produits labellisés mais également sur le respect des bonnes pratiques agricoles et industrielles. De même, Salaün insiste sur le besoin des consommateurs d'être informés sur les produits qu'ils utilisent. D'une part, pour être rassurés sur la conformité du produit, d'autre part, pour avoir la certitude d'avoir réalisé un bon achat. La traçabilité devient ainsi logiquement un support de communication [Salaün 01].

---

<sup>4</sup> Traduction du terme anglais Good Manufacturing Practices ou GMP

Pour conclure, on peut dire que la mise en place d'une traçabilité n'est pas synonyme en soi de qualité. Elle doit être considérée comme un outil, une composante intrinsèque du système qualité de l'entreprise.

### **I.2.1.3 Chaîne logistique**

Au-delà de la sécurité et de la qualité, la traçabilité a toujours été fortement associée au suivi des flux physiques et donc perçue comme un outil logistique. Plus particulièrement, Lezin remarque que le pilotage d'une organisation n'est possible que si elle possède une visibilité des processus qui composent son activité [Lezin 01]. En effet, la traçabilité des produits et des activités sur la chaîne logistique permet une mise à jour continue des données qui alimentent les prises de décision. La transparence des processus permet d'avoir une image fiable de leur état et aussi d'éviter les décisions erronées

Dans un point de vue plus général, l'ECR mentionne que la traçabilité dans la chaîne logistique est un processus "bout à bout" où les différentes entreprises collaborent pour optimiser les interfaces entre les différents secteurs d'activités, les systèmes de gestion et les processus [ECR 04].

Töyrylä dans la première partie de son étude "potentiel et impacts de la traçabilité", énumère les facteurs qui fondent la nécessité de la traçabilité dans les entreprises. Ce besoin de traçabilité paraît émerger comme le résultat des différences entre articles apparemment identiques. Six facteurs sont identifiés [Töyrylä 99] :

- L'âge : au cours du temps, on peut trouver des différences entre produits semblables. Ces différences peuvent être liées, entre autres, aux changements de conception du produit, aux réductions des coûts du produit et aux changements du processus de production.
- L'origine : des différences sur les caractéristiques d'un produit peuvent être causées par l'utilisation de différents fournisseurs des matières premières.
- La destination : des produits similaires peuvent être situés à différents emplacements physiques dans la chaîne d'approvisionnement ou livrés à différentes destinations dans le marché.
- La personnalisation : une diversité des caractéristiques dans un produit peut être créée intentionnellement sur les produits en accord avec les exigences du consommateur.
- Erreurs et variations : une diversité involontaire est causée par des erreurs et des variations dans le processus de production et de distribution.

- Activités illégales : la traçabilité peut être utilisée pour contrôler les activités illégales. Par exemple, connaître la localisation de vente de produits illégaux ou connaître si un produit est contrefait.

Une des premières approches de l'utilisation de la traçabilité dans le domaine manufacturier a été menée par [Cheng et Simmons 94]. Dans leur travail, ils suggèrent qu'à chacun des trois niveaux décisionnels de l'entreprise - stratégique, tactique et opérationnel- il est nécessaire de définir trois fonctions :

- Une traçabilité état : c'est la capacité d'un système de fournir la connaissance de la situation courante du système de production.
- Une traçabilité de performance : c'est la capacité d'un système de fournir à tout moment l'évaluation des performances en cours, en comparant ce qui a été planifié avec la réalisation.
- Une traçabilité objectif : c'est la capacité d'indiquer ce qui est nécessaire pour atteindre les objectifs du système et de fournir l'information nécessaire pour une prise de décision optimale.

Pour Cheng et Simons, la fonction de traçabilité sert à contrôler la succession des événements dans le système, lesquels sont objet d'incertitude et complexité, c'est-à-dire, que les industriels peuvent connaître l'état courant de leur système, comment ils se positionnent par rapport à leurs objectifs et les décisions qui doivent être prises pour arriver à ces objectifs. L'avantage de l'approche de Cheng et Simons est qu'elle fournit une façon de penser par rapport à l'information qui doit être collectée pour l'entretien et la gestion d'un système de production performante. Ils remarquent aussi, l'importance des aspects : mesure, détection et représentation de l'information aux différents niveaux de l'entreprise pour une prise de décision effective. La mesure et la détection de l'information ont également été mise en évidence par [Sohal 97].

#### **I.2.1.4 La valeur consommateur**

Le concept de valeur consommateur a été développé au début des années 1999 et son fondement est de servir et satisfaire le client [Holbrook 99]. Selon [De Montgros 03], la valeur consommateur, aussi appelée valeur pour le client, est un défi pour toute entreprise qui peut être décrit en quatre mots : "maintenant, pas cher, personnalisé et le meilleur".

Dans le travail de [Kaärkkäinen 01], il est mentionné que la capacité de fabriquer des produits centrés sur le client dépend de la capacité à traiter les articles de façon individuelle à travers toute la chaîne logistique. Cela implique des systèmes de traçabilité adaptés, pour que toute l'information du produit soit retenue et utilisée pour créer plus de valeur consommateur.

Pour ce faire, l'implémentation de la traçabilité permet aux entreprises de mieux répondre aux exigences du consommateur et en même temps d'améliorer la valeur consommateur et de gérer l'efficacité de la gestion de l'entreprise.

Il est important de mentionner que, lorsque la personnalisation des produits devient très forte, la traçabilité devient plus difficile à gérer. La personnalisation de masse de produits est un concept qui a émergé vers la fin des années 80 et se rapporte à l'aptitude à fournir des produits ou des services personnalisés dans des quantités importantes, grâce à des processus flexibles et à des coûts raisonnables [Da Silveira *et al.* 01].

Dans [Gouyon 04], il est expliqué que la personnalisation de masse des produits, exige une exécution et une gestion de la production spécifique à chaque produit et que la maîtrise de la variabilité de produits impose de pouvoir adapter le contrôle de la production aux particularités de chaque produit, de manière à assurer individuellement leur traçabilité.

Il est évident que la personnalisation des produits impacte directement le système de production, lequel devra contrôler et observer individuellement la fabrication de chaque produit. Ceci engendre un grand besoin en termes de traçabilité et flexibilité du système de production.

Jusque là, nous constatons qu'il existe un intérêt croissant à implémenter des systèmes de traçabilité dans tous les domaines. Des facteurs renforçant la nécessité de leur mise en place sont énoncés de manière récurrente, par exemple, dans l'industrie agroalimentaire les contraintes législatives. Cependant, la mise en œuvre de la traçabilité n'est pas limitée aux situations de crise. Pour des entreprises où les risques liés à la santé humaine sont inexistantes, la traçabilité n'est pas obligatoire, mais elle est largement justifiée pour assurer la qualité des produits et aussi comme évidence de la transparence de processus, de l'amélioration de la performance de la chaîne logistique et de l'accomplissement des exigences imposées pour le client.

Nous avons analysé chacun de ces facteurs individuellement, cependant il faut remarquer que quel que soit l'environnement industriel, la mise en œuvre de la traçabilité est une réponse pour faire face à tous les facteurs mentionnés auparavant (contraintes législatives, logistique, du client..), lesquels n'agissent pas de manière isolée sur l'entreprise, au contraire,

ils agissent simultanément. Nous allons maintenant dresser les différents portraits de la traçabilité, telle qu'elle est définie dans les normes ou la littérature.

## **I.2.2 Le concept de traçabilité**

Fréquemment, dans la littérature, quand on parle de suivi de produits, trois concepts anglophones apparaissent simultanément, que sont : "tracking", "tracing" et "traceability". "Tracking" correspond à la localisation de produits et "tracing" à l'identification de l'origine d'un produit. La traçabilité est bien la juxtaposition de ces deux concepts. Les définitions pour le tracking et le tracing sont [EAN-UCC 03] :

- Product tracking : capacité de suivre la trajectoire d'un produit à travers toute la chaîne logistique.
- Product tracing : capacité d'identifier l'origine d'un produit dans la chaîne logistique à travers l'information enregistrée.

### **I.2.2.1 Définitions standardisées de la traçabilité**

Officiellement, la traçabilité est définie par la norme ISO 8402, mais des adaptations sectorielles ont également été établies.

Une des premières définitions, la plus large, du concept de traçabilité est établie par la norme ISO 8402 en 1986 [ISO 8402/86]. Elle reprend tous les termes existant dans le domaine de la qualité et qui sont directement utilisés dans les normes de qualité de la famille ISO 9000. La définition est : "l'aptitude à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'article(s) ou d'activité(s), au moyen d'une identification enregistrée".

En 1994, les normes de la famille ISO 9000 sont révisées et ajustées en fonction des progrès accomplis dans le domaine de la qualité, de l'expérience des entreprises et des nouvelles orientations. De ce fait, la partie concernant la norme ISO 8402 a fait l'objet d'une révision rigoureuse. Cette norme est appelée "Management et assurance de la qualité" [ISO 8402/94]. La traçabilité est redéfinie comme "l'aptitude à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'une entité au moyen d'identifications enregistrées". Le terme très général d'entité vient remplacer les termes d'article et d'activité de l'ancienne version. Une entité est ce qui peut être décrit et considéré individuellement, par exemple : une activité ou un processus, un produit, un organisme ou un système ou une personne ou une combinaison de l'ensemble ci-dessus.

L'ancienne définition mentionne que le terme de traçabilité peut être utilisé dans trois déclinaisons principales. La révision de cette partie a également induit des modifications. Les déclinaisons du terme traçabilité sont [AFNOR 94] :

- Lorsqu'il se rapporte à un produit, le terme peut se référer à l'origine des matériaux et des pièces, l'historique des processus appliqués au produit et la distribution et l'emplacement du produit après livraison.
- Lorsqu'il se rapporte à l'étalonnage, il s'applique au raccordement des équipements de mesure aux étalons nationaux ou internationaux, aux étalons primaires, aux constantes et propriétés physiques de base ou matériaux de référence.
- Lorsqu'il se rapporte à la collecte de données, il relie les calculs et les données générés tout au long de la 'boucle de qualité'<sup>5</sup>, en remontant parfois aux exigences de qualité pour une entité.

La première de ces déclinaisons a été la plus fortement modifiée par rapport à la version de 1994. La modification principale concerne l'intégration directe des termes de produit et de processus dans la définition de la traçabilité. Les deux dernières n'ont pas fait l'objet de modifications significatives (étalonnage et collecte de données).

Aujourd'hui la norme ISO 9000 (1994) possède une version 2000, appelée "Système de Management de la Qualité - Principes Essentiels et Vocabulaires", cette version intègre le vocabulaire de l'ISO 8402 - 1994 et les concepts développés dans la norme ISO 9000-1 - 1994.

Une autre déclinaison de la traçabilité a été introduite dans les années 1995 par Ramesh, dans le domaine informatique [Ramesh 95]. Elle est basée sur la définition de la traçabilité donnée par la [IEEE 90]. Elle correspond au degré de relation qui peut être établi entre plusieurs produits pendant le développement d'un processus, particulièrement les produits ayant une relation de type prédécesseur - successeur ou supérieur - subalterne. Ainsi, Ramesh ajoute l'acception suivante :

- Lorsqu'il se rapporte à l'information technologique<sup>6</sup> et à la programmation, le terme traçabilité relie la conception et le processus d'implémentation relatif aux spécifications du système.

---

<sup>5</sup> Boucle de qualité: modèle conceptuel des activités interdépendantes qui influent sur la qualité lors des différentes phases s'échelonnant de l'identification des besoins à l'évaluation de leur satisfaction.

<sup>6</sup> Terme traduit de l'anglais Information Technology (IT system)

Toujours en terme de définition non sectorielle, il est intéressant de mettre en valeur celle adaptée par Töyrylä et basée sur la norme ISO 8402 : “La traçabilité est la capacité de conserver et accéder à l'identité et aux attributs des objets dans la chaîne logistique”. Là, il préfère parler plutôt d'objet physique de la chaîne logistique à la place du produit. Ce n'est pas seulement le produit qui est suivi, c'est aussi son support ou l'objet qui le transporte. Il souligne l'importance des moyens informatiques (système d'information et de communication) qu'il est nécessaire de mettre en œuvre pour pouvoir accéder aux informations [Töyrylä 99].

Malgré les définitions génériques que nous venons de citer, la définition de la traçabilité peut être aussi adaptée selon différents points de vues liés à des secteurs d'activités particuliers. Dans ces différents domaines les définitions sont les suivantes :

- *Secteur logistique* : la traçabilité est définie comme : 1) l'attribut qui permet de déterminer la localisation continue d'une expédition. 2) la sauvegarde et la localisation par lot ou numéro de série des matières premières, des composants et des processus utilisés dans la production [APICS 97].
- *Secteur des procédés* : il comprend les industries pour lesquelles la métrologie revêt un aspect prépondérant. Le concept de traçabilité est alors défini comme la propriété du résultat d'une mesure ou de la valeur d'une norme. Cette valeur permet de se référer à un standard, national ou international, par le biais d'une suite continue de comparaisons ayant chacune des incertitudes établies [VIM 93]. Le cas particulier des industries chimiques est bien repris par [King 00].
- *Secteur agroalimentaire* : la traçabilité correspond à la capacité de retracer à travers toutes les étapes de la production, de la transformation et de la distribution, le cheminement d'une denrée alimentaire, d'un aliment pour animaux, d'un animal producteur de denrées alimentaires ou d'une substance destinée à être incorporée ou susceptible d'être incorporée dans une denrée alimentaire ou un aliment pour animaux [Food Standards Agency 02].

Tous les secteurs industriels sont désormais concernés par la traçabilité. L'aspect générique de la définition de la traçabilité (norme ISO 8402) fait que chaque secteur cherche une adaptation à ses objectifs propres et à son environnement. C'est compréhensible et logique de trouver dans la littérature autant de définitions de la traçabilité.

Nous adopterons pour cette thèse, la définition de traçabilité donnée par [Töyrylä 99]. Elle n'est certes pas issue d'un standard (quoiqu'inspirée de l'ISO 8402), mais elle donne un sens

plus dynamique à la traçabilité, l'accessibilité à l'information étant aussi importante que la conservation de l'information.

### **I.2.3 Les différents aspects de la traçabilité**

Les informations nécessaires à la traçabilité d'un produit peuvent être obtenues de manière directe, c'est-à-dire mesurées sur le produit lui-même ou de manière indirecte, mesurées par son processus [Viel 00]. Ainsi, nous ferons une distinction entre la traçabilité produit et la traçabilité processus.

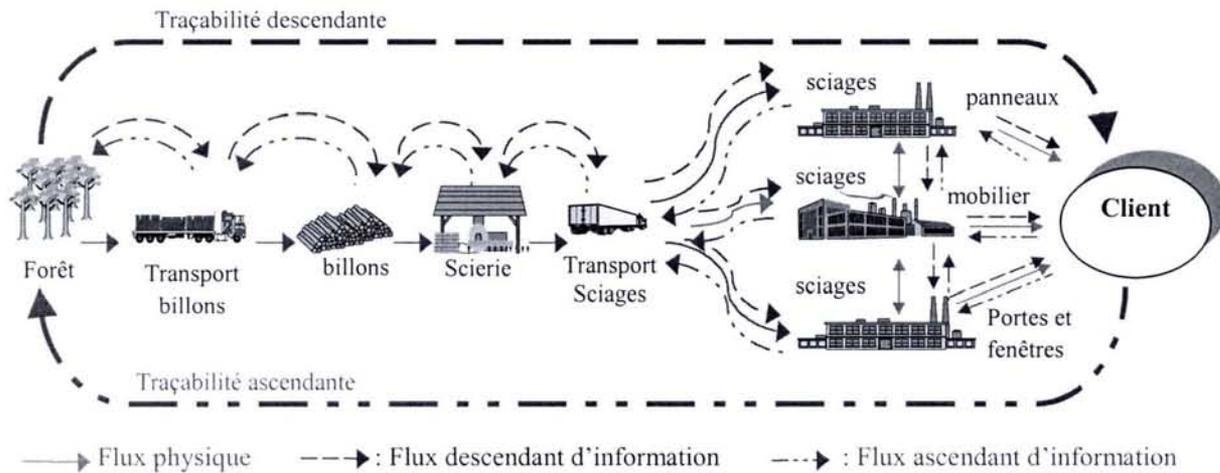
La traçabilité produit dépend principalement du bon enregistrement et de l'exhaustivité des données liées au produit et la traçabilité processus dépend de la capacité à tracer toutes les données relatives aux opérations de transformation ou aux conditions de production.

Désormais, le concept "d'idéal de traçabilité" ou de "traçabilité totale" est largement évoqué. Fabbe-Costes et Lemaire ont introduit la notion de traçabilité totale. Dans leur étude, ils définissent les principes, les obstacles et les perspectives de sa mise en œuvre. Ils remarquent que cette notion est née du souhait des entreprises d'améliorer leur gestion tout au long de la chaîne logistique. Pour cela, il est nécessaire de suivre, si possible en temps réel et en continu, les processus logistiques au cours du cycle de vie du produit. Cependant, la traçabilité totale peut vite devenir complexe puisqu'un cycle de vie peut inclure plusieurs "vies", non seulement avec la sous-traitance, mais aussi avec des phénomènes comme la consommation intermédiaire ou le recyclage. Il s'agit donc de suivre les flux physiques (lots de matières, de composants, de produits, unités logistiques, etc..) avec les documents qui leur sont associés, les actions qui permettent leur transformation (production, assemblage, conditionnement,..) et leur mouvement (manutention et/ou transport). Il faut mémoriser à chaque étape du processus le lieu, le moment, l'acteur de l'opération, le flux et les moyens [Fabbe-Costes et Lemaire 03]. D'après Bolnot et al, cet aspect de traçabilité reste tout de même assez utopique. Il considère, dans le secteur particulier de la pharmaceutique, qu'il n'est pas essentiel de rechercher l'ensemble des composants, des ingrédients jusqu'à la plus infime quantité décelable, il préfère alors parler de traçabilité globale [Bolnot et al 03].

#### **I.2.3.1 La traçabilité sur la chaîne logistique**

Tout au long de la chaîne logistique, il est possible d'enregistrer les états, les transformations et les événements liés à un produit. Grâce à ces informations, le parcours de

la chaîne peut s'effectuer vers l'avant et vers l'arrière (Figure I.1). On parle alors respectivement de traçabilité descendante ou ascendante.



**Figure I.1.** Traçabilité ascendante et descendante dans la chaîne logistique forêt – bois

La *traçabilité descendante*<sup>7</sup> (ou tracking) est décrite par l'EAN-UCC<sup>8</sup> comme la capacité de localiser des produits à partir d'un ou plusieurs critères donnés. Elle sert notamment en cas de problèmes en début de chaîne, comme sur la matière première par exemple [Gencod 01], pour agir sur la chaîne en aval.

De la même manière l'EAN-UCC décrit la *traçabilité ascendante*<sup>9</sup> (ou tracing) comme la capacité de retrouver l'origine et les caractéristiques d'un produit à partir d'un ou plusieurs critères donnés. Cette forme de traçabilité sert surtout à retrouver la cause d'un problème de qualité identifié en fin de chaîne par exemple.

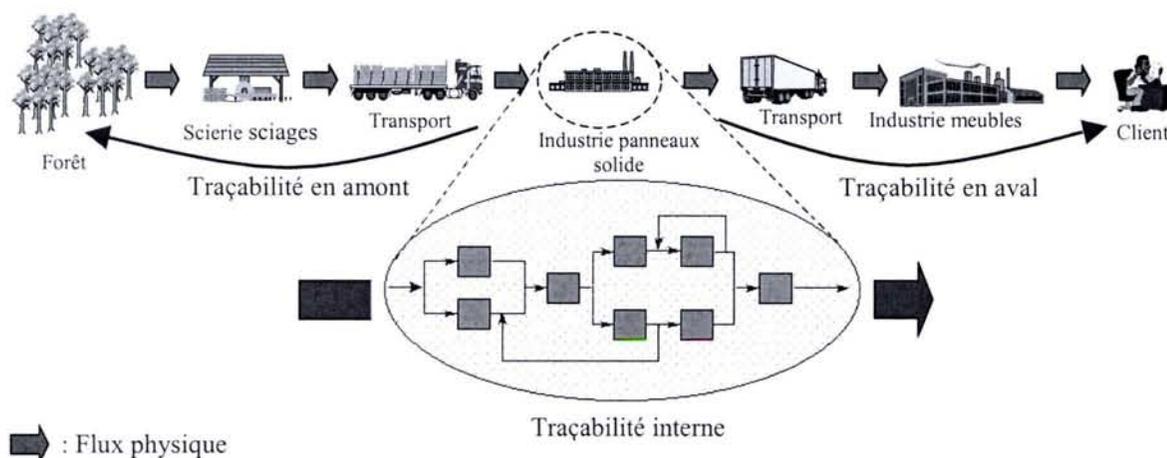
### I.2.3.2 Traçabilité dans la chaîne logistique

La traçabilité peut être considérée en différents points spécifiques au sein même de la chaîne logistique. Ainsi, si l'on considère une entreprise et son système manufacturier dans la chaîne globale, il est d'usage de parler de traçabilité interne à l'entreprise. En dehors des frontières de cette entreprise, on utilisera les termes de traçabilité en amont et en aval (figure I.2). La notion de limite de responsabilité est ainsi introduite.

<sup>7</sup> Traduction du terme anglais *bottom-up traceability*

<sup>8</sup> Efficient Article Numbering Association - Uniform Code Council (organisme de codification des USA)

<sup>9</sup> Traduction du terme anglais *top-down traceability*



**Figure I.2.** Traçabilité interne, amont et aval

- *La traçabilité interne*<sup>10</sup> est mise en place tout au long de la transformation effectuée par l'entreprise sur ses produits [Gencod 01]. Moe dit également qu'elle correspond à une position dans la chaîne [Moe 98]. Elle peut donc intéresser l'entreprise complète ou une partie seulement.

Pour les traçabilités amont et aval, Gencod utilise un autre formalisme.

- *La traçabilité en amont*<sup>11</sup> décrit les procédures et outils mis en place pour pouvoir retrouver ce qui est advenu avant qu'un acteur devienne responsable légalement et physiquement d'un produit.
- *La traçabilité en aval*<sup>12</sup> désigne les procédures et outils mis en place pour pouvoir retrouver ce qui est advenu après le transfert légal ou physique du produit d'un acteur vers un tiers.

#### I.2.4 L'utilisation de la traçabilité

En fonction de l'utilisation des informations issues de la traçabilité, deux familles de traçabilité peuvent être définies.

La traçabilité par sa définition : aptitude à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'un produit, engendre la mise en œuvre de moyens de saisie, d'enregistrement d'une quantité d'information considérable. En fonction de l'utilisation de cette masse

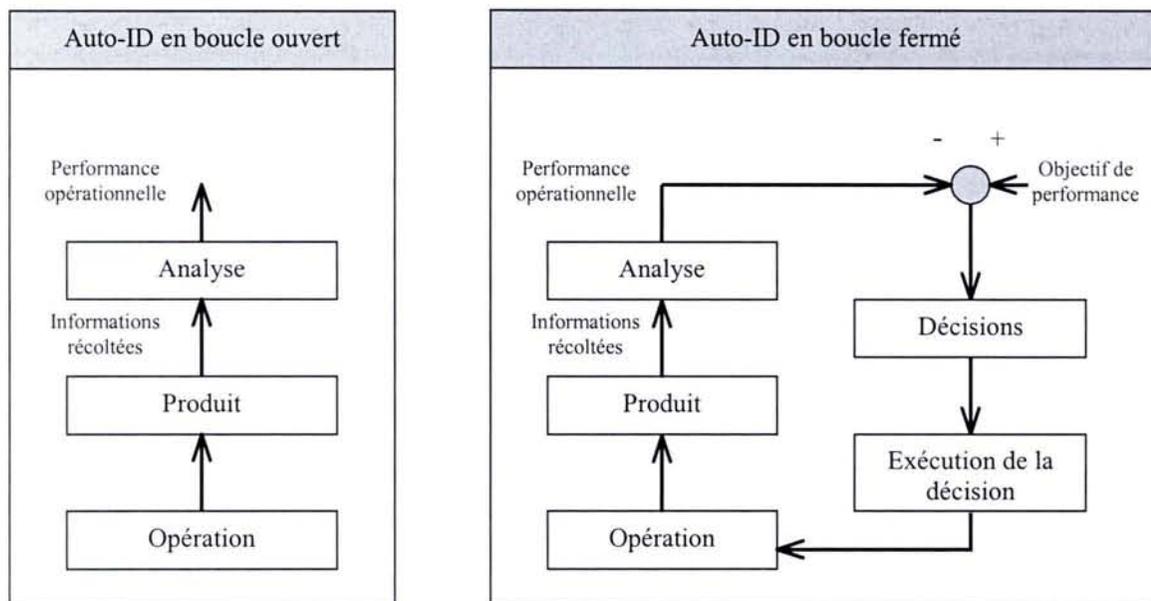
<sup>10</sup> Traduction du terme anglais *internal traceability*

<sup>11</sup> Traduction du terme anglais *upstream traceability*

<sup>12</sup> Traduction du terme anglais *downstream traceability*

d'information, deux qualificatifs supplémentaires pour la traçabilité ont été définis. La traçabilité passive est ainsi la traçabilité telle qu'elle est induite par la définition. C'est la visibilité et l'accès de l'historique pour un produit. La traçabilité passive, comme le résume [Jansen-Vullers 03] permet d'assurer la traçabilité en amont et en aval en cas de problème sur la chaîne.

La traçabilité active, quant à elle, utilise les informations récoltées en ligne pour optimiser et contrôler les processus. Le paragraphe sur les impacts reviendra sur les apports de cette traçabilité au sens actif. Dans ce même ordre d'idée, McFarlane, sans faire référence au terme traçabilité, parle de systèmes d'identification automatique (Auto-Id) en boucle ouverte (Open Loop) et en boucle fermée (Closed Loop) [McFarlane 02]. La figure I.3 présente la différence entre ces deux systèmes. En boucle ouverte, les informations récoltées pendant une opération n'influence pas directement cette opération. En boucle fermée, les informations récoltées sont analysées de manière à ce que les processus de décision puissent bénéficier de la prise en compte, précises et en temps réel.



**Figure I.3.** Système d'identification en boucle ouverte et en boucle fermée [McFarlane 02].

Nous pouvons aussi constater que les différents termes trouvés dans la littérature par rapport à la traçabilité : produit, processus, total, global, ascendante, descendante, interne, en amont ou en aval sont différentes formes de description des objectifs ou d'une partie d'un système de traçabilité.

Après l'introduction au vocabulaire et aux notions induites par la traçabilité, nous allons maintenant nous intéresser aux conséquences de la mise en place de la traçabilité et les retombées qui en sont attendues.

### **1.2.5 Les impacts de la traçabilité**

La mise en place de la traçabilité engendre des changements au sein de l'entreprise. Deux types d'impacts ont pu être constatés : les impacts causés sur l'organisation de l'entreprise pour mettre en place le système de traçabilité et les impacts finaux obtenus suite à cette mise en place.

#### *(a) Les impacts causés par la mise en place du système de traçabilité*

[Lezin 01] mentionne que l'entreprise qui met en place la traçabilité adopte de nouveaux modes de gestion. Ainsi, la traçabilité est un facteur d'adaptation qui engendre de nombreux changements organisationnels. Le plus notoire est celui de l'apprentissage organisationnel. Chaque service, chaque atelier de l'entreprise peut, grâce aux informations mémorisées et mises à disposition, apprendre et évoluer en fonction de son environnement. Dans une entreprise relativement cloisonnée, l'implantation de la traçabilité va entraîner un besoin de communication entre services.

Le fait de disposer de l'information à tout moment permet ensuite à l'entreprise d'être plus réactive, c'est-à-dire de répondre de manière rapide en adéquation avec les besoins du marché ou du client qu'il soit interne ou externe. L'entreprise peut mettre en place ou envisager des synergies internes et externes avec ses partenaires. Dès lors, la stratégie gagne en étendue et potentialité.

#### *(b) Les impacts finaux de la mise en place du système de traçabilité*

Peu d'analyses ont été menées sur les impacts de la mise en place de la traçabilité. Une étude est néanmoins disponible. Menée par Töyrylä, elle est basée sur l'analyse de résultats de la démarche traçabilité de neuf entreprises (secteurs variés : électronique, transport, alimentaire, la pharmacie et automobile). Les données relevées lors de discussion ou à la lecture de documents sur les structures organisationnelle et informationnelle ont permis de dégager 4 impacts principaux [Töyrylä 99].

- La traçabilité prévient ou réduit le nombre des événements non désirés,
- Elle réduit l'impact négatif d'évènements qui ont déjà eu lieu,

- Elle réduit et prévient les futurs problèmes. A travers l'utilisation de la traçabilité, il est possible de découvrir les facteurs qui influent sur les performances de la logistique, de la qualité du produit et de la sécurité du flux de matière,
- Elle permet la création de produits et services personnalisés. Plus spécifiquement, l'utilisation de la traçabilité permet de fabriquer, livrer et transformer des articles individuels en accord avec ce qui a été défini par le client. En plus, l'utilisation de la traçabilité permet la création de nouveaux services.

Dans la littérature, plusieurs auteurs font référence aux avantages d'établir une traçabilité plutôt qu'aux impacts. [Jönson 85, *apud* Töyrylä 99] considère que la traçabilité permettrait principalement de réduire le retour de produits. Ce qui induit des coûts de rappels diminués et l'amélioration de l'identification et de la localisation des produits. Par ailleurs, [Moe 98] mentionne qu'à l'intérieur de la chaîne, il est possible d'améliorer le processus de contrôle et la possibilité de relier les données du produit avec les caractéristiques de la matière première. De même, l'amélioration de la planification pour optimiser l'utilisation de la matière première pour chaque type de produit est plus aisée. On peut ajouter aussi [Rhodes 96] qui mentionne qu'une traçabilité permet de maintenir un bon processus de contrôle à travers la construction des bases de données importantes. Pour [Sohal 97], la traçabilité devient un système de gestion d'usine où la production quotidienne peut être projetée, l'avancement du travail peut être contrôlé et les manques de matériels ou matières peuvent être notifiés et anticipés.

On remarque que dans les domaines liés à la qualité, la logistique et la sécurité, les impacts de la traçabilité sont très positifs. Ces impacts sont très liés à la qualité de l'information utilisée, c'est-à-dire à l'accès rapide à l'information, disposition d'information précise, fiable et mise en forme.

Malgré le fait qu'elle soit imposée par un cadre légal très fort et contraignant et qu'il reste encore des réfractaires qui remettent en cause le caractère pratique de la traçabilité face à la complexité de la chaîne logistique, des témoignages d'entreprises ayant opté pour une démarche traçabilité [Expodium 04] montrent qu'il existe un consensus quasi mondial pour reconnaître qu'elle a un rôle extrêmement important à jouer pour protéger les intérêts des consommateurs et pour améliorer de manière concrète les performances aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'entreprise.

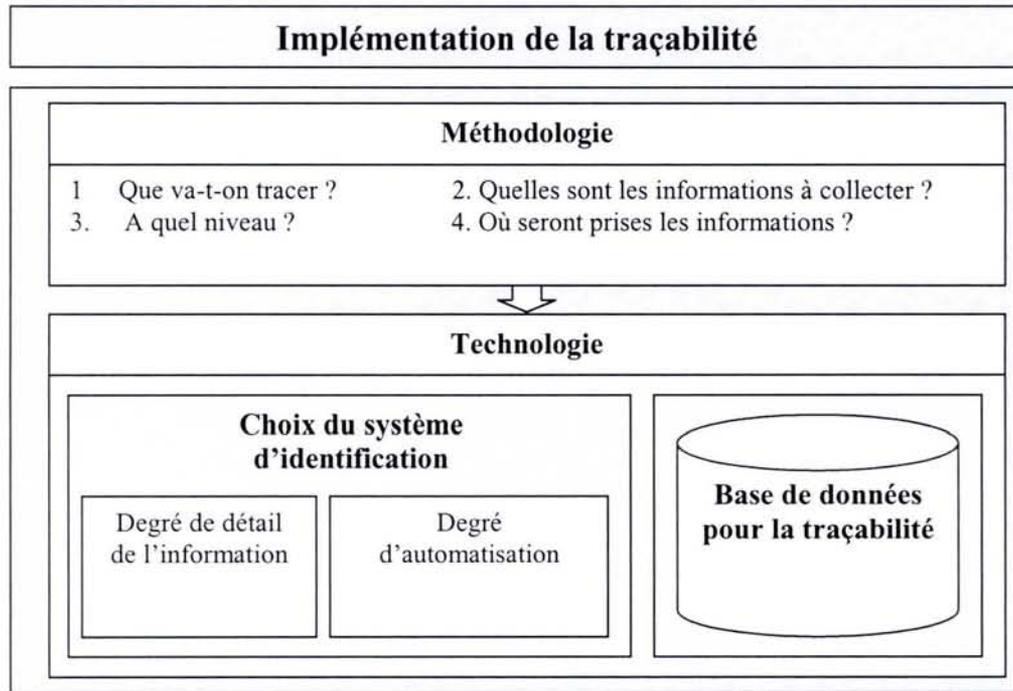
### I.2.6 La traçabilité en pratique

[Töyriälä 99] remarque que les impacts positifs amenés par la mise en place d'une traçabilité, dépendent fortement de l'utilisation de données, c'est-à-dire, de la facilité et de la rapidité d'accès et de la précision de l'information. Cela est aussi soutenu par [Morel 98] : "Qui dit traçabilité, dit flux d'information et mise en place des moyens qui vont permettre d'accroître la fiabilité des transferts". Van Dorp mentionne que pour associer le flux d'information au flux physique, le système de traçabilité doit compter avec trois aspects [Van Dorp 04] (Figure I.4) :

- Un système de "tracking" pour le flux de matériel : ce qui permettra une compréhension de ce qui est tracé, aussi bien que de la collecte et de la gestion d'information. Il faudra alors définir, (a) le matériel à tracer (matières premières, produits intermédiaires, produits finis, ingrédients...) et sa granularité : individuel ou lot, (b) les caractéristiques qui devront être tracées pour chaque flux (numéro d'identification, caractéristiques de processus...) et (c) les points dans le flux où l'information sera enregistrée.
- Un système d'identification automatique. Sur ce point, nous pouvons ajouter aussi, ce qui est mentionné par Sahin, que, le système d'identification automatique dépendra du niveau d'automatisation requis et du degré de détail de l'information par rapport aux items à tracer [Sahin 02].
- Un système d'enregistrement, pour la gestion et l'enregistrement des données de traçabilité.

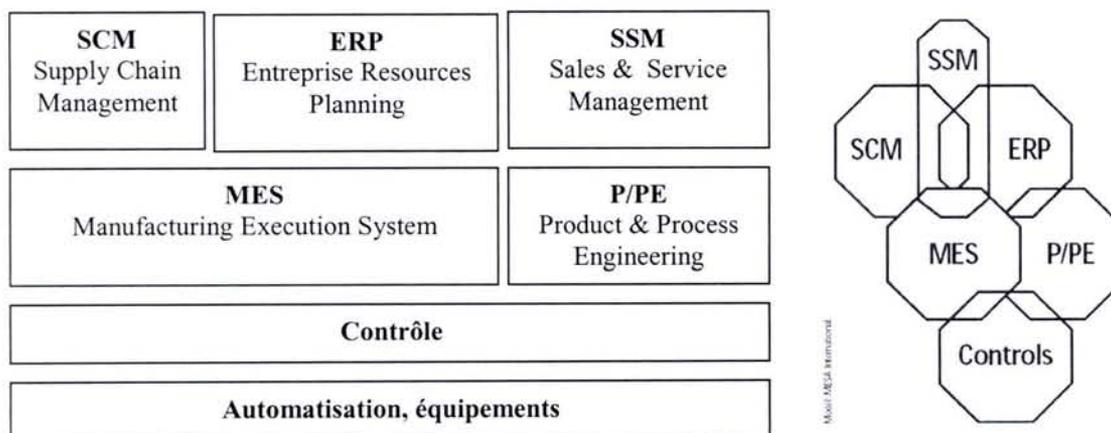
En synthèse, l'implémentation d'un système de traçabilité exige l'alliance entre méthodologie et technologie. Si ces deux exigences sont bien étudiées et développées pendant l'étude de l'implémentation d'un système de traçabilité, l'entreprise sera capable d'enregistrer, de conduire et de gérer l'importante masse de données que constitue le flux d'information sur toute la chaîne logistique.

D'après la littérature, nous remarquons, qu'à l'heure actuelle, aucun cadre méthodologique pour la mise en œuvre de la traçabilité n'a été défini. Néanmoins, la nécessité engendrée par une demande de plus en plus forte de satisfaire les besoins du consommateur et de répondre aux exigences commerciales mondiales a déclenché diverses initiatives, en particulier la proposition d'outils logiciels.



**Figure I.4.** Exigences pour la mise en place de la traçabilité

Les entreprises disposent aujourd'hui de systèmes d'information pour la gestion des opérations, la gestion des ressources, la planification, la prise de décision, etc. Ces systèmes ou progiciels travaillent, de façon intégrée entre les différents niveaux de l'entreprise. De plus, ces nouveaux logiciels de gestion doivent considérer la traçabilité comme une partie indispensable voire centrale du système. La figure I.5 montre les différents progiciels de gestion intégrés et leurs liens.

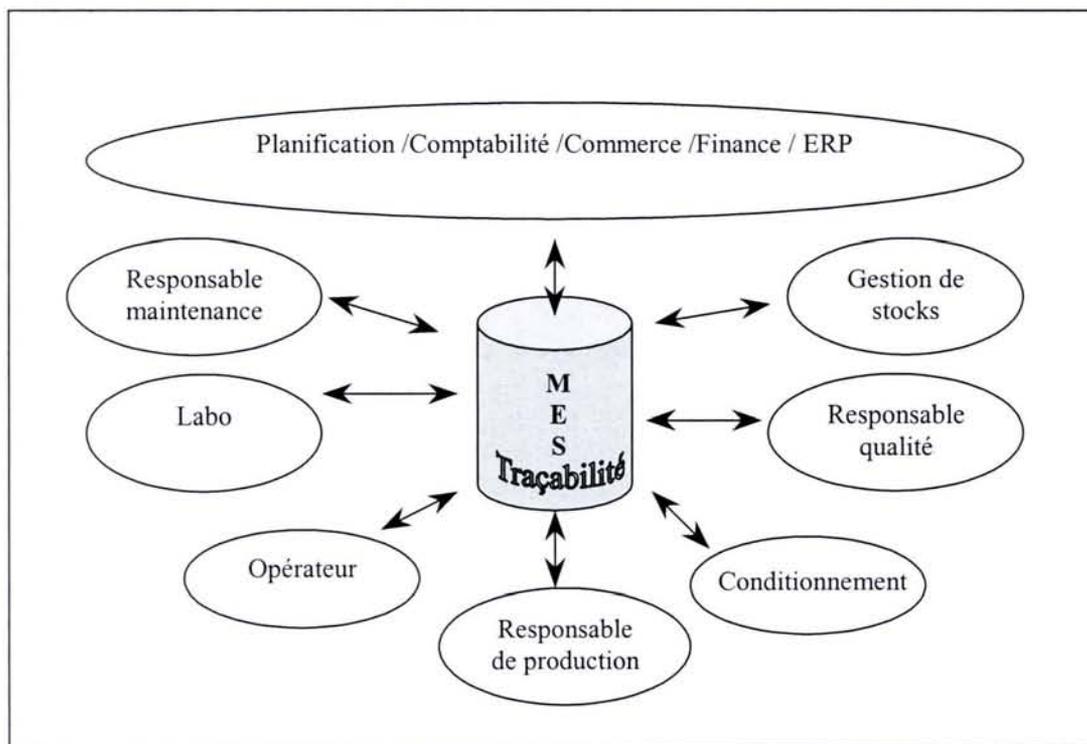


**Figure I.5.** Modèle informationnel d'une entreprise et les liens entre les différents systèmes [MESA International 97]

Dans les progiciels MES et ERP, la traçabilité est intégrée. En particulier, dans les MES, elle constitue une des onze fonctionnalités définies. Cette fonctionnalité est citée sous le nom de généalogie bidirectionnelle<sup>13</sup>, elle permet la visibilité de l'information à tout moment par tous les secteurs de l'entreprise et sa mise à disposition. L'information peut inclure : qui travaille sur quoi, les matières premières par fournisseur, par lot et numéro de série, les conditions de production courantes. Il est possible alors de créer un historique qui permettra la traçabilité des composants et l'utilisation de chaque produit fini.

La figure I.6 montre comment un système MES intègre les différentes activités de l'entreprise autour de la traçabilité.

Néanmoins, il n'existe pas de solution standard, un développement particulier pour adapter le logiciel aux besoins spécifiques de chaque entreprise est nécessaire, ce qui engendre des coûts importants.



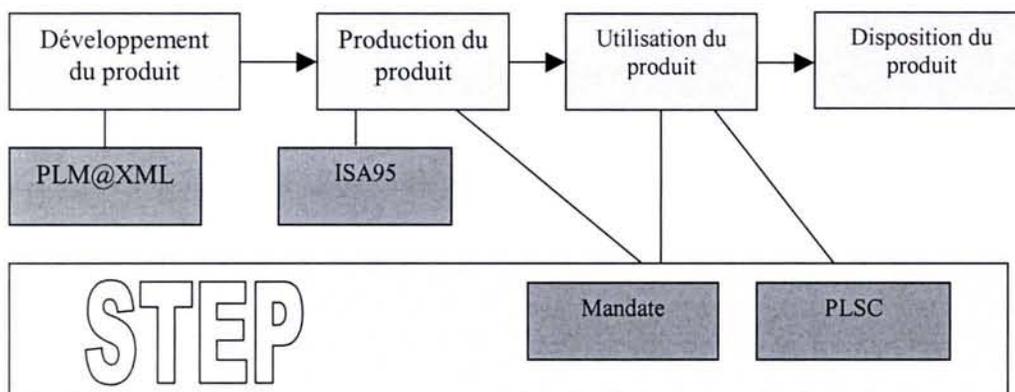
**Figure I.6.** La traçabilité comme base d'un système MES [Brun 00]

Sur la chaîne logistique complète, il est important de remarquer qu'il existe un grand nombre d'acteurs qui interviennent avec une grande quantité d'information. Pour cela, il est important, dans un système de traçabilité, de faciliter le bon transfert d'information entre tous

<sup>13</sup> Terme traduit de l'anglais Bidirectional Genealogy ou Product tracking and Genealogy

ces acteurs. La notion d'*interopérabilité* apparaît donc vitale pour la réussite d'une traçabilité. Il existe plusieurs définitions de l'interopérabilité. La plus générale et normalisée correspond à la capacité qu'ont plusieurs systèmes de communiquer, d'échanger et d'utiliser l'information [IEEE 90]. Cependant des définitions, plus adaptées mais non normalisées ont été trouvées dans certains domaines. Celles-ci incluent la notion de réseau, de partage et d'hétérogénéité d'information. Nous pouvons rejoindre ces définitions et définir l'interopérabilité comme la capacité qu'ont différents types de bases de données, d'applications, de logiciels et de réseaux à fonctionner d'une façon intégrée en considérant des standards spécifiques.

La performance de ces échanges est directement liée aux efforts de standardisation. Aujourd'hui il existe des standards qui décrivent les différents échanges d'information entre niveaux de l'entreprise, chacun couvrant un secteur spécifique du cycle de vie d'un produit mais aucune n'inclut toute l'information nécessaire pour le cycle de vie complet de la chaîne. De plus, la traçabilité n'est pas incluse dans ces standards. Les quatre principaux standards sont ANSI/ISA95, MANDATE, PLCS, et PLM@XML. Ils sont bien expliqués dans [Terzi 04], dont est extraite la figure I.7 qui montre ces différents standards et la partie du cycle de vie concernée.



**Figure I.7.** Standards à travers les phases du cycle de vie produit [Terzi 04]

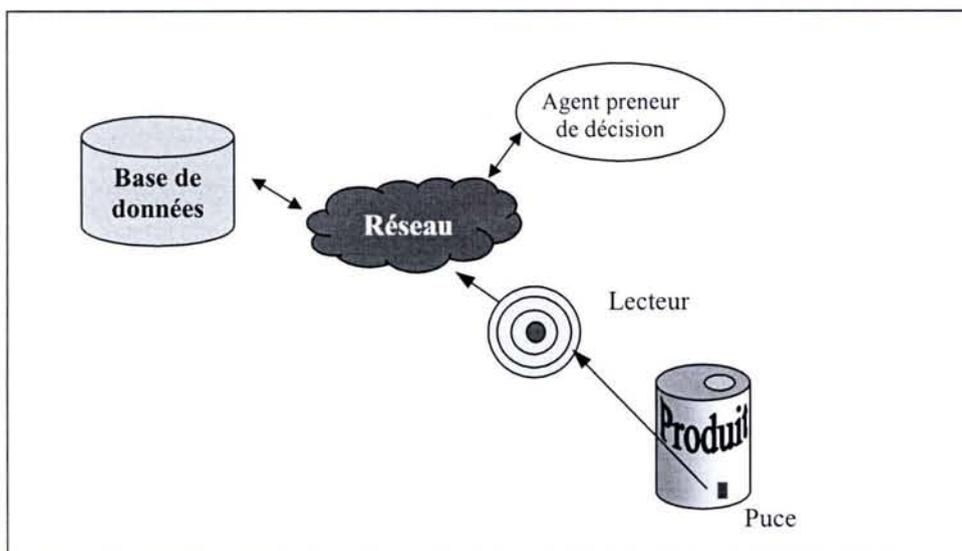
### I.2.7 Autres domaines d'études incluant la traçabilité

Des nouveaux courants de recherche intégrant la traçabilité émergent. D'une façon implicite, dans les sujets concernant le produit intelligent et plus explicitement au sein des communautés centrées sur la gestion du cycle de vie produit (PLM)<sup>14</sup>.

#### I.2.7.1 La traçabilité dans une vision de produit intelligent

Aujourd'hui la traçabilité produit peut être vue sous un nouvel angle centré sur la notion de produit intelligent [McFarlane 03]. Dans cette partie nous chercherons quelle relation existe entre produit intelligent et traçabilité.

Dans son travail, McFarlane mentionne que, bien souvent, la chaîne logistique est perturbée par des problèmes causés par la non synchronisation du flux de matière et du flux d'information. Une des approches pour pallier de tels problèmes est d'établir une connexion directe en réseau entre un produit physique et son support d'information. A travers ce réseau de connexion, un produit peut interagir indirectement avec les opérations qu'il subit. De cette manière, le produit commence à devenir "intelligent". Un exemple est montré dans la figure I.8, où le produit porte une puce électronique en liaison avec le réseau, lui-même relié à une base de données. Le produit est alors capable de supporter l'information qui lui est nécessaire au bon moment. Les autres agents agissant sur la prise de décision sont également capables de communiquer via le réseau.



**Figure I.8.** Exemple de produit intelligent [McFarlane 03]

<sup>14</sup> PLM : Product Life cycle Management

Ainsi, McFarlane énonce les caractéristiques d'un produit intelligent. Il doit :

- posséder une identification unique
- être capable de communiquer avec son environnement
- être capable de retenir ou mémoriser des informations de lui-même
- disposer d'un langage de dialogue pour qu'il communique ses informations (propriétés, exigences de production,... )
- être capable de participer aux processus de prise de décisions importantes pour son propre destin.

Un niveau basique d'intelligence correspond à un produit qui a seulement les trois premières caractéristiques mentionnées ci-dessus, tandis que le niveau d'intelligence le plus haut en requiert la totalité.

Dans les caractéristiques mentionnées par McFarlane, on constate en effet que les trois premières donnent une base suffisante pour dire qu'un produit intelligent est capable de développer les fonctions basiques de la traçabilité : l'identification, la localisation, l'enregistrement, l'historisation des activités et l'accès à cet historique (définies par la norme ISO 8402). Les fonctions plus complexes des produits intelligents conduiront à améliorer chaque échelon qui compose la chaîne logistique pour atteindre une maîtrise complète du cycle de vie du produit. En résumé, nous pouvons dire que la traçabilité est une des fonctions d'un produit intelligent.

Toujours dans la vision de produit intelligent, [Gouyon 04] mentionne que la rigidité de certaines structures d'entreprises peut les handicaper pour répondre à la personnalisation de masse des produits. L'intégration dans l'entreprise est faite par l'information, alors que l'élément qui est central dans un système de production devant assurer une production personnalisée à grande échelle semble plutôt être le produit. Pour cette raison, Gouyon a étudié d'autres architectures de systèmes de production qui confèrent au produit un rôle plus actif. Une alternative est de placer le produit au cœur du système de l'entreprise comme le prône l'initiative internationale de recherche et développement IMS (Intelligent Manufacturing system) notamment par le paradigme HMS (Holon Manufacturing System). Le concept d'holon<sup>15</sup> a été introduit par Koestler en 1967, il exprime la dualité entre le "tout" et la "partie", c'est-à-dire qu'une partie d'un ensemble peut former un tout cohérent à lui seul,

---

<sup>15</sup> Holon : Le terme d'holon vient du grec Holos, qui veut dire "tout", et du suffixe -on, utilisé pour désigner une partie ou une particule, comme dans "proton".

mais qu'elle est également capable de communiquer et de coopérer avec son environnement [Koestler 67], [Gouyon 04].

Selon [Kärkkäinen *et al.* 2003], si l'on considère que l'intelligence et la prise de décision doivent être distribuées à l'extrême (poste de travail, ressources de transport, produits...), le produit devient capable de contrôler son évolution, de dire dans quel état il se trouve et de collaborer avec son environnement. Ce système est qualifié de "système contrôlé par le produit".

[Gouyon 04] mentionne que dans le temps, le produit peut stocker les différents états par lesquels il est passé. Ainsi, il contient les informations relatives aux différentes étapes de sa fabrication, à ses différents composants. En mémorisant la suite de ces images informationnelles, ainsi que celles des composants des produits, il est possible d'assurer la traçabilité de chaque instance de produit. Dans le cadre d'une production dans laquelle chaque produit est différent, le suivi est d'autant plus compliqué. En ce sens, le transport et le stockage des informations par le produit permettent de répondre à cette problématique. Gouyon remarque que, bien qu'un système contrôlé par le produit semble répondre au problème de traçabilité, il n'est pas encore implantable. En effet, il faudrait une capacité de mémorisation, de prise de décision et de communication sur chaque produit. D'un point de vue technologique, c'est encore difficilement envisageable, même pour les produits à forte valeur ajoutée où l'implantation serait largement justifiée.

#### **I.2.7.2 La traçabilité dans le cycle de vie produit**

Selon [Garetti 02], le paradigme de la gestion du cycle de vie produit ou PLM est la capacité de gérer, coordonner et exécuter toutes les activités de gestion et d'ingénierie tout au long du cycle de vie du produit jusqu'à la livraison au consommateur final, à des coûts d'utilisation et d'acquisition acceptables. De ce fait, le PLM intègre une grande variété de disciplines, méthodes, outils, environnements tout au long du cycle de vie du produit : le développement produit (PD), les activités d'ingénierie des systèmes de manufacture (MSE), les outils (CAD, CAPP, CAPE, CAM, PDM), et l'ingénierie de l'entreprise et les activités et les outils de gestion (ERP, MRP, CRM, SCM).

Dans le travail de [Terzi 04], il est mentionné que la traçabilité produit est un des sujets les plus émergents pour la communauté PLM, du fait qu'elle est associée aux trois "perspectives" du paradigme PLM. C'est-à-dire, que la traçabilité produit a *une perspective organisationnelle*, par exemple l'allocation de tâches pour tracer les produits, *une perspective*

*d'information*, comme l'identification d'information et *une perspective d'infrastructure*, par exemple un système pour la traçabilité produit.

Si nous rejoignons les concepts de produit intelligent, le PLM et les systèmes contrôlés par le produit nous pouvons dire qu'à travers un produit intelligent et des technologies adaptées d'identification et de communication, il est possible de connaître tout le cycle de vie d'un produit et que la traçabilité joue un rôle implicite et fondamental dans ces deux concepts.

### **I.3. Conclusion**

Nous avons analysé jusque là que l'émergence du concept de traçabilité dans le domaine industriel est due à l'apparition des contraintes législatives et de sécurité, contraintes logistiques internes et/ou externes à l'entreprise, contraintes de qualité et contraintes liées à l'augmentation des exigences du consommateur. Tous ces facteurs influencent l'environnement de l'entreprise laquelle doit s'adapter pour répondre à ces exigences. La mise en œuvre d'un système de traçabilité semble être la réponse majoritaire des entreprises surtout si elles veulent rester compétitives.

Nous avons trouvé plusieurs définitions de traçabilité, standardisées comme l'ISO 8402 ou non standardisées en dépendant du secteur concerné. Un des définitions à retenir correspond à celle de [Töyrylä 99], il considère que "la traçabilité est la capacité de conserver et d'accéder à l'identité et aux attributs des objets dans la chaîne logistique".

L'enregistrement de l'information liée au produit sur chaque maillon de la chaîne logistique permet faire le parcours vers l'arrière ou vers l'avant de la chaîne logistique, c'est-à-dire, rend au système la capacité de traçabilité. L'implémentation d'un tel système est complexe, il faut définir principalement ce que l'on veut tracer et les informations à enregistrer, pour ceci, une bonne étude de démarche de traçabilité propre à la réalité de l'entreprise doit être mis en place et de laquelle dépendra sa réussite.

Nous avons trouvé que la mise en œuvre d'une traçabilité amène des impacts positifs dans l'entreprise, plusieurs auteurs et divers témoignages industriels soulignent leurs avantages. En outre, nous avons vu que le terme de traçabilité est d'une certaine façon implicite dans des problématiques plus vastes comme la gestion de la chaîne logistique et le produit intelligent. L'approche de produit intelligent est encore en développement, théoriquement et parmi des autres fonctions, elle semble être une réponse effective à la traçabilité, cependant les contraintes technologiques liées à l'identification automatique, la communication et les coûts impliqués sont considérés comme un frein pour une réelle application.

A travers cette étude bibliographique, nous avons remarqué que la plupart de la littérature trouvée sur la traçabilité est liée au secteur agroalimentaire, en particulier au niveau des standards et des garanties pour le consommateur. De plus, un grand nombre de solutions technologiques y sont appliquées. En dehors du secteur agroalimentaire, le domaine industriel n'est pas trop couvert, à l'exception des industries automobiles et aéronautiques. Dans les autres secteurs manufacturiers, [Cheng et Simmons 94] et [Törylä 99] peuvent être considérés comme des pionniers.

En conclusion, les industries du bois et du textile sont les secteurs pauvres de la littérature dans le domaine de traçabilité. Aucune méthodologie centrée exclusivement sur la traçabilité n'est disponible. Au mieux peut-on disposer de témoignages d'industriels généralement orientés sur l'utilisation d'un progiciel particulier.

La traçabilité permet de disposer d'un flux de matière synchronisé avec le flux d'information. Cette information doit être fiable, accessible et mise en forme, par conséquent, elle est très liée aux moyens d'identifications automatiques mise en place. Pour cette raison nous présenterons le support incontournable à la mise en œuvre de la traçabilité : l'identification automatique, et nous décrirons les quelques travaux existant.

## **I.4. Systèmes d'identification automatique**

### **I.4.1 Introduction**

La littérature fait apparaître l'identification automatique comme un "fournisseur" de traçabilité ou un peu différemment, comme un domaine d'application important [Törylä 99]. Quel que soit le point de vue adopté, le développement des applications de traçabilité a démontré l'importance des techniques d'identification automatique ainsi que la grande variété des systèmes proposés aux utilisateurs. Selon [Morel 98], un des grands problèmes de la traçabilité réside dans le choix des moyens d'identification les plus adaptés à la réalité de chaque entreprise.

Compte tenu de leurs avantages, les systèmes d'identification automatique sont aujourd'hui mis en place dans la majorité des secteurs pour remplir des fonctions plus ou moins locales : la réception des marchandises, le stockage dans les entrepôts et magasins, le suivi de la production, le contrôle de la qualité, la préparation des commandes et le conditionnement des produits, le suivi en-cours, le tri automatique de produits et colis, la vente, la distribution, etc.

Désormais, les systèmes ayant recours aux codes à barre, étiquettes radiofréquence ou RFID sont considérés comme classiques, ils ne font plus l'objet de recherches mais plutôt l'objet de marketing. La biométrie, approche dans laquelle nous nous positionnons est qualifiée d'innovante.

Rappelons qu'à l'origine la manière la plus commune d'entrer des données dans un système informatisé était manuelle via un clavier. Malheureusement, les données entrées de cette façon peuvent être erronées. En effet, [Lindau 99] mentionne que la saisie par clavier présente des taux d'erreurs relativement élevés, de l'ordre de 2 à 3 % des frappes.

Sohal dans une étude de cas mentionne que, dans certaines entreprises, la progression des produits depuis les matières premières jusqu'aux produits finaux était enregistrée encore manuellement. Cette procédure, lente et ardue causait des erreurs inévitables, une manipulation excessive de papiers qui diminuait l'efficacité des ouvriers [Sohal 97]. Pour compenser les inconvénients inhérents à la saisie manuelle, plusieurs techniques de capture automatique de données ont été développées et appliquées.

Adams remarque que les premiers bénéfices des systèmes d'identification automatique sont la précision de l'information, l'opportunité de disposer de données en ligne et la réduction de coûts au travers de l'automatisation de l'entrée de données [Adams 90]. Cependant, Udoka dans son article sur le rôle de l'identification automatique dans le CIM (Computer Integrated Manufacturing), insiste bien sur l'analyse préalable à toute implantation, c'est-à-dire sur le placement stratégique des systèmes d'identification, sur l'opportunité et sur la pertinence de la prise d'information [Udoka 92].

[Lindau 99] note que dans certains cas la capture automatique de données a engendré une modification du comportement des employés (responsabilisation, satisfaction et motivation pour le travail) accompagnée d'une augmentation de salaire. Il indique également que les indicateurs de performances des entreprises (productivité,..) évoluent ensuite favorablement via la simplification et la sûreté des fonctions telles que l'inventaire ou le service après vente.

#### **I.4.2 Constitution d'un système d'identification automatique**

[Grolee 96] définit l'identification automatique comme l'ensemble de moyens et méthodes nécessaires à l'identification d'une entité sans intervention humaine, où le terme "identification" est défini lui-même comme le résultat d'un processus permettant de distinguer deux entités différentes.

L'utilisation de techniques d'identification automatique suppose la prise en compte de deux principes fondamentaux qui sont [Grolee 96] :

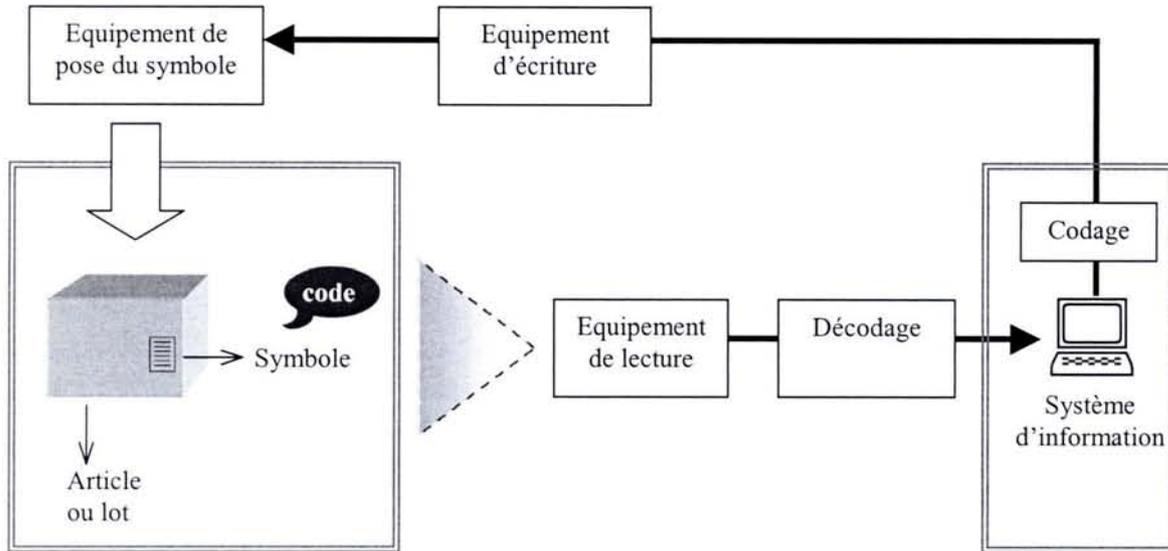
- Une liaison physique stable entre l'identifiant et l'identifié doit être garantie : cette liaison doit avoir lieu pendant la durée nécessaire à l'application, toute séparation physique entre l'identifiant et l'identifié introduit des risques d'erreurs plus ou moins importants.
- La relation identifiant/identifié doit être biunivoque : tous les utilisateurs, où qu'ils se trouvent et quel que soit le secteur d'activité auquel ils appartiennent, doivent pouvoir être certains qu'il n'existe, pour une entité donnée, qu'un seul code et que ce code ne corresponde qu'à cette seule et unique entité.

On comprend par *identifiant* la chaîne de caractères liée à un article ou à un produit qui constitue la clé d'accès à un article et à ses informations.

Les constituants d'un système d'identification sont présentés sur la figure I.9. Ceux-ci peuvent être décrits d'une façon générale par un système de pose/écriture, un système de lecture et un système de codage /décodage [Choffel 02]. Les terminologies sont les suivantes :

- Code : il correspond à l'identifiant.
- Symbole : représentation graphique ou électronique de l'identifiant pour une saisie automatique. Le symbole constitue la forme visible physique du code.
- Equipement de lecture : adapté au type de symbole, il utilise un principe physique : optique, radiofréquence, etc...
- Décodeur : établit le lien entre symbole et code

Il est important de noter que, comme nous le verrons par la suite, l'équipement de pose et l'équipement d'écriture ne sont pas nécessaires à une identification par biométrie.



**Figure I.9.** Constituants d'un système d'identification

### I.4.3 Techniques d'identification automatique

En fonction du degré de détail de l'information contenue (ou transportée) par les articles à suivre (lot ou individuel) et du degré d'automatisation existant ou souhaité par les utilisateurs, différentes techniques d'identification et de capture de données sont disponibles aujourd'hui sur le marché. [Grolee 96] cite, dans son état de l'art, la famille de techniques suivantes : la reconnaissance de caractères, les codes à barres, les supports magnétiques, les étiquettes radiofréquence et la biométrie. La grande variété de techniques est due principalement à la multiplicité de domaines d'utilisation des systèmes d'identification automatique et donc des produits et processus auxquels ils doivent s'adapter. Il n'est pas inconcevable de combiner des techniques différentes au long du cycle de vie d'un produit.

Les différentes techniques d'identification automatique seront présentées par ordre chronologique d'introduction dans les entreprises.

#### I.4.3.1 Marquage

Le marquage comprend le marquage manuel ou automatique de caractères sur un produit. L'identification nécessite donc une lecture par caméra ou scanner et un logiciel de reconnaissance de caractères travaillant avec l'extraction de caractéristiques : un caractère est identifié par analyse de sa forme et comparaison de caractéristiques en regard d'un jeu de règles qui distinguent chaque caractère (apprentissage de caractères).

L'écriture peut être réalisée avec des encres classiques mais aussi encore par marquage mécanique. Pour les produits spécifiques, les recherches actuelles s'orientent vers des marquages bien particuliers, avec l'utilisation de traceurs chimiques, ultrasons et infrarouge ou encore laser. Nous pouvons mentionner les travaux de [Laird 03] pour le marquage laser et ceux de [Ahmad 00] pour le marquage fluorescent, les deux travaux concernant les matériaux plastiques.

#### **I.4.3.2 Codes à barres**

Un code à barres est la représentation graphique du code auquel peut être éventuellement joint des données supplémentaires. Il est constitué de barres sombres et des espaces clairs de différentes largeurs qui sont imprimés sur une étiquette ou directement sur le produit. Il nécessite un système de lecture optique. Variant selon les algorithmes de codage, cette codification est optimisée selon les besoins pour encoder du texte, des chiffres, des caractères de ponctuation ou encore une combinaison de ces derniers.

Le code à barres est aujourd'hui la solution technique la plus utilisée pour acquérir automatiquement une information sur les produits. La facilité et le faible coût d'impression du code à barres sont les principaux avantages. Cependant, la difficulté de lecture en milieux agressifs (poussière, humidité,...), la facilité de les enlever ou qu'elles tombent restreignent le domaine d'application, de plus, une fois les informations notées sur le produit, elles ne peuvent plus être modifiées.

#### **I.4.3.3 Etiquettes Radio Fréquence – RFID**

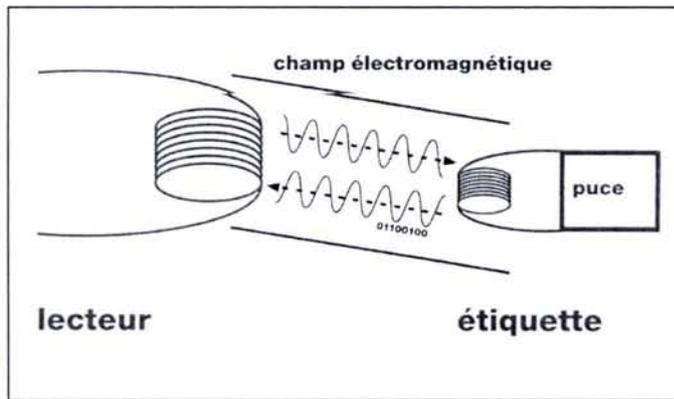
L'étiquette ou tag électronique ou puce ou étiquettes RFID (RadioFrequency Identification) est une technologie déjà largement utilisée pour reconnaître ou identifier à plus ou moins grande distance (du contact à plusieurs mètres) une entité porteuse d'une étiquette, contenant des données. C'est-à-dire, en attachant une étiquette électronique sur un produit physique, celui-ci peut être identifié automatiquement et localisé dans la proximité d'un système de détection d'étiquettes, de plus il peut stocker et fournir des données. Le support de transmission est les ondes radio.

Un système d'identification automatique RFID se compose d'un lecteur ou interrogateur qui transmet un signal selon une fréquence déterminée vers une ou plusieurs étiquettes radio situées dans son champ de lecture. Celles-ci transmettent en retour un signal. Lorsque les

étiquettes sont éveillées par le lecteur, un dialogue s'établit selon un protocole de communication prédéfini, et les données sont échangées (figure I.10).

Les étiquettes sont aussi appelées "transpondeur", c'est-à-dire un équipement destiné à recevoir un signal radio et à renvoyer immédiatement en réponse un signal radio différent et contenant une information pertinente. Une étiquette peut être active, munie d'une pile ou passive, alimentée par le lecteur [EPC global 04].

Il existe trois types d'étiquettes RFID, les étiquettes en lecture seule, celles en écriture une fois et lecture plusieurs fois, et enfin celles en lecture / écriture multiple.



**Figure I.10.** Constituants d'un système RFID [EPC global, 2004]

Les étiquettes RFID ont l'avantage de stocker de l'information concernant au produit (l'information peut être lue ou modifiée), de plus il est possible de lire simultanément un set d'étiquettes ce qui n'est pas possible avec les codes à barres.

La performance des étiquettes RFID par rapport aux étiquettes à code à barres a été évaluée par [Sahin 02]. Selon lui, les étiquettes RFID fournissent une meilleure performance comparée aux codes à barres sur les points suivants :

- une réduction des coûts de manipulation,
- une accélération du flux physique,
- une réduction de pertes (capacité de détecter si un item a été déplacé géographiquement),
- un contrôle plus efficace de la chaîne logistique dû à l'information plus précise,
- une meilleure connaissance du comportement du consommateur dû au contrôle constant des items,
- une meilleure gestion des items retournés (à cause de problèmes de qualité, de livraison, etc),
- une meilleure traçabilité des problèmes de qualité,

- une meilleure gestion de la sécurité sur les produits de consommation alimentaire.

[Cea et Bajic 04] mentionnent que ce type de technologie d'identification transforme un objet physique (produit) en acteur intelligent qui peut interagir avec des autres objets dans un environnement et proposer des services pendant son cycle de vie.

#### **I.4.3.4 La biométrie**

La biométrie consiste en la mesure de caractéristiques physiques comme la forme de visage, les empreintes digitales, l'iris, etc., mais aussi de caractéristiques comportementales comme la voix, l'écriture, le rythme de frappe sur un clavier, etc... Ces caractéristiques, qu'elles soient portées par l'individu comme les empreintes digitales ou bien créées par l'individu comme la signature, sont spécifiques à chaque individu.

Selon Perronin, pour qu'une caractéristique soit considérée comme biométrique elle doit être [Perronin 02] :

- universelle : toutes les personnes de la population à identifier doivent la posséder,
- mesurable facilement et quantitativement,
- unique (deux personnes ne peuvent pas posséder exactement la même caractéristique),
- permanente (ne doit pas varier au cours du temps),
- performante (l'identification doit être précise et rapide).

Par extension, nous qualifions de biométrique toute technique faisant appel aux caractéristiques propres d'un item (produit, pièce..), qu'il soit de nature vivante ou non.

#### **I.4.4 Classification des systèmes d'identification automatique**

Dans la littérature, nous avons trouvé deux approches de classification des systèmes d'identification automatique. La première, suivant la façon de transporter et d'accéder à l'information, développée par [Chaxel 95] et [Hammerer 04] et l'autre, en peu plus indirecte, en relation avec la catégorie d'application que peut avoir le système d'identification, présenté par Kärkkäinen [Kärkkäinen 03a].

[Chaxel 95] à partir des techniques d'identification définies par Grolee a introduit deux classes des systèmes d'identification : les systèmes ne transportant que l'identifiant du produit et les systèmes d'identification permettant de transporter les données relatives au produit.

Ces deux classes ont été redéfinies et actualisées par [Hammerer 04] qui a intégré l'existence des nouvelles technologies d'identification automatique. Elles deviennent:

- Les systèmes à identifiant non interprétable localement (SINIL): le système d'identification permet, à partir de l'identifiant d'une entité physique, de récupérer par réseau (local ou distribué) des données complexes d'un système d'information pour lequel l'identifiant agit comme une clef de référence. L'accès à l'identifiant se fait soit en ajoutant un identifiant passif sur le produit (quelques bits à quelques octets) soit en reconnaissant un identifiant porté naturellement par le produit ou une caractéristique intrinsèque. Cet identifiant n'est pas accompagné d'informations sur l'entité.
- Les systèmes à identifiant interprétable localement (SIIL) : le système d'identification permet de transporter l'identifiant et les données essentielles relatives au produit durant une phase considérée de son cycle de vie. Ces données peuvent être statiques ou dynamiques. Les données non portées par le produit peuvent être accessibles par réseau (local ou distribué).

Dans le travail de [Kärkkäinen 03a] sur les applications et les technologies de l'identification automatique, il est mentionné que jusqu'à présent peu d'efforts ont été faits pour classifier les applications des systèmes d'identification automatique. De même, l'adéquation entre technologies d'identification et applications n'a pas été étudiée. Il définit quatre catégories d'applications de l'identification automatique, liées à quatre problématiques différentes : l'authentification, le tracking, l'efficacité du processus et les applications de gestion de l'information :

- L'authentification : cette application est utilisée dans des situations où l'identification exacte d'un objet est nécessaire. L'application d'authentification la plus courante est le contrôle d'accès d'êtres humains et d'objets physiques équipés d'identifiants et liés à une base de données.
- Le tracking : toutes les applications liées à la localisation, au routage des items ou de l'état d'un objet sont classifiées sous cette catégorie. Selon Kärkkäinen, les applications de tracking sont fréquemment basées sur un lecteur en réseau. Chaque fois qu'un objet passe devant un lecteur appartenant au réseau, le passage est enregistré et immédiatement l'information est envoyée à une base de données centrale.
- L'efficacité du processus : ce type d'application concerne l'automatisation des processus ou de l'entrée de données pour sauvegarder l'information et réduire les erreurs. Couramment, elle est présente dans la majorité des applications industrielles,

principalement, dans les systèmes manufacturiers. Dans les applications où toute la collecte de données est automatisée, l'identification automatique est utilisée pour obtenir information depuis les objets et pour fournir des données à une base de données.

- Les applications de gestion de l'information : les identifiants sont utilisés pour accéder à l'information concernant les objets. Ce type d'application rejoint l'approche de classification de [Hammerer 04].

Kärkkäinen classifie les techniques d'identification automatique les plus courantes ou d'utilisation à grande échelle. L'utilisation potentielle n'est pas prise en compte. Pour cette raison Kärkkäinen remarque que les étiquettes RFID et les codes à barres sont les techniques d'identification les plus prometteuses.

Le tableau I.1 inspiré de [Hammerer 04] classification I et [Kärkkäinen 03a] classification II présente comment les techniques d'identification automatique s'intègrent dans les classifications proposées. La ligne "caractéristique" complète le tableau avec la comparaison sur trois critères qui synthétisent les performances des systèmes d'identification.

**Tableau I.1.** Classification des systèmes d'identification automatique (+ : faible)

			Technique			
			Reconnaissance de caractères	Code à barres	RFID	Biométrie
<b>Classification I</b>	<b>SINIL</b>	Identifiant ajouté	x	x	x	
		Identifiant intrinsèque				x
	<b>SIIIL</b>	Information statique	x	x	x	x
		Information dynamique		x	x	
<b>Classification II</b>	Authentification				x	x
	Tracking		x	x	x	x
	Efficacité processus		x	x	x	x
	Gestion information		x	x	x	x
<b>Caractéristiques</b>	Complexité de l'information portée		+	++	++++	+
	Sensibilité à l'environnement		+++	++	+	+
	Sensibilité aux processus		++++	+++	++	++

#### **I.4.5 Standardisation de l'identification automatique**

La complexité des chaînes logistiques causée par l'augmentation du nombre des acteurs dans la chaîne et l'augmentation des échanges et transactions, implique que des "standards" universels d'identification et de communication soient mis en place ou se généralisent. Ils offrent alors un support et un langage commun, particulièrement intéressant pour la logistique où les acteurs sont nombreux. Ainsi, au travers de la standardisation, l'interopérabilité des différents systèmes peut réussir.

La standardisation du code à barres est réalisée au travers du code UPC- Unified Product Code. Les organismes qui travaillent pour la normalisation au niveau mondial sont l'EAN et l'UCC. Les systèmes EAN-UCC sont un ensemble de standards pour l'amélioration de l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement. Ces standards comprennent : un standard pour l'identification (des produits et conditionnements, des services, des entreprises et de la codification des informations utiles au suivi), un standard de structure de messages pour le commerce /EANCOM (Echange de Données Informatisées -EDI, Web -EDI.) et un standard de traduction du code en symboles.

La standardisation de la RFID est réalisée à travers le code EPC (Electronic Product Code). Réunies au sein de l'Auto-ID Center<sup>16</sup>, cinq des plus grandes universités mondiales<sup>17</sup> ont défini les éléments constitutifs et les bases du futur "Internet d'objets". Ce système va permettre d'articuler les fonctionnalités clés des échanges d'information du futur : le suivi unitaire des objets grâce à un unique code EPC (96 bits), la capture à distance de l'information grâce à la RFID, le stockage et l'accès à l'information grâce aux standards ouverts de l'Internet.

En ce qui concerne les échanges d'informations, il est important de mentionner le travail développé par [Cea et Bajic 04]. Leur objectif est de transformer un produit physique en produit intelligent en s'appuyant sur les technologies de l'identification automatique.

Ceci repose sur une architecture de services ambiants, basée sur l'intégration de la technologie RFID et l'UpnP (Universal Plug and Play). Cette intégration permet de développer des interactions entre un produit intelligent et les acteurs de la chaîne logistique

---

<sup>16</sup> Auto- ID center , organisation de recherche à échelle internationale qui développe une architecture standard ouverte pour créer le réseau global des objets physiques. Depuis 2003 ses fonctions sont transférées à l'EPCGlobal et l'Auto-ID Labs.

<sup>17</sup> Massachusetts Institute of Technology (MIT), les universités de Cambridge en Grande-Bretagne, de St. Gallen en Suisse, d'Adelaide en Australie, de Keio au Japon.

sur la base des services offerts par chaque acteur. La technologie par radio fréquence et plus précisément les étiquettes électroniques sont utilisées pour identifier un produit de manière unique. Ce processus automatique permet d'associer un produit physique et ses services dans un réseau ambiant. La technologie UPnP est une architecture de réseau ouverte et distribuée offrant des communications sur la base de standards et de technologies Internet. UPnP a été développé par le UPnP forum<sup>18</sup> qui est une initiative industrielle conçue pour créer des standards permettant une communication facile et offrant différents dispositifs via un réseau comme Internet en permettant un style de vie interconnecté.

## **I.5. Conclusion**

Nous avons décrit, jusqu'à présent, les divers aspects de la traçabilité et nous avons intégré l'identification automatique dans ce domaine. De cette manière, nous avons analysé les nombreux avantages de l'introduction des systèmes d'identification automatique dans l'entreprise : diminution de la manipulation des papiers, diminution des erreurs par la capture automatique de données, augmentation du degré de précision de l'information, disposition de données en ligne, etc. Il existe aujourd'hui diverses techniques dépendant du degré de détail de l'information et le domaine concerné. Une seule technique d'identification ou bien une combinaison de techniques peuvent être utilisées pendant le cycle de vie d'un produit ou d'un lot. Parmi l'ensemble de ces techniques, nous qualifions la biométrie comme une technique innovante. Nous pouvons remarquer aussi que les étiquettes RFID laissent envisager dans un futur proche une réelle avancée pour les projets de la chaîne logistique.

La complexité des chaînes logistiques, la participation de nombreux acteurs et le souhait d'arriver à une traçabilité au-delà des limites propres à l'entreprise a mis la nécessité de créer des standards pour offrir l'interopérabilité entre les différents systèmes qui interagissent. Des standards pour le code à barres et les étiquettes RFID existent aujourd'hui.

Nous concluons que l'identification d'un produit permet l'union entre le monde physique et le monde informationnel, cette union maximise l'utilisation de l'information, sa connaissance et sa pérennité tout au long de la chaîne logistique permettant ainsi la traçabilité.

Dans le chapitre II, nous ferons référence au domaine qui nous intéresse, l'industrie du bois, en prenant en compte les divers concepts analysés jusqu'ici. La traçabilité sera analysée selon plusieurs points de vue : certification, besoins industriels, etc., Finalement nous

---

<sup>18</sup> [UPnP Forum ] [www.upnp.org](http://www.upnp.org)

présenterons les techniques d'identification automatique utilisées pour le suivi dans ce cas précis. Nous mettrons en valeur que cette filière est un cas particulier pour la mise en œuvre des systèmes d'identification et de traçabilité.

## ***Chapitre II***

### ***La traçabilité dans les industries du bois***

---

## **Chapitre II**

### **La traçabilité dans les industries du bois.**

#### **II.1. Traçabilité dans la filière bois**

La traçabilité peut concerner tous les secteurs forestiers : sylviculture, industries de première transformation : scierie, pâte à papier, panneaux et de seconde transformation : charpente, menuiserie, parquet, agencement, ameublement, etc. Les industries de la trituration (pâtes et panneaux) ont un processus de fabrication continu qui ne sera pas considéré dans ce travail. Nous nous intéressons aux produits massifs de la première et seconde transformation (processus discrets).

Dans le cas des industries du bois, autrement dit dans le cas de la chaîne forêt-bois, le concept de traçabilité est encore considéré comme extravagant. Cependant, il existe deux éléments clés qui poussent vers son développement. Le premier est l'augmentation de la conscience environnementale et le deuxième, la recherche de l'augmentation de l'efficacité des processus de transformation du bois [Chiorescu 03].

##### **II.1.1 L'augmentation de la conscience environnementale**

Le souci des impacts de l'activité économique sur l'environnement, surtout dans le secteur forestier, a pris de l'ampleur dans les années 1990. La forêt, au niveau mondial, a décliné à une vitesse exponentielle et actuellement, une proportion considérable du bois commercialisé provient de régions où les arbres sont abattus illégalement. En effet, nombreuses sont les forêts qui sont coupées sans considérer l'entretien ou la préservation des ressources, et sans tenir compte des valeurs sociétales associées à la forêt [FSM- SGS 02].

Considérer la gestion durable de la forêt signifie que les influences négatives sur l'environnement ne sont pas irréversibles, qu'elles sont réparables par les moyens soit de la nature soit de l'action humaine. Ainsi le caractère durable est un avantage compétitif de la foresterie, mais cet avantage n'a aucun sens si le consommateur n'en a pas conscience et connaissance et s'il n'en est pas convaincu. C'est ici où le concept de la certification forestière ou écocertification joue un rôle fondamental.

On entend par certification forestière la délivrance, à l'acheteur des produits bois, d'un certificat établissant que la matière première utilisée pour fabriquer le produit provient d'une

forêt correctement gérée, selon le principe de la gestion durable. En règle générale, la bonne gestion sylvicole signifie que la sylviculture est écologiquement, socialement et économiquement durable. [Stevens 98] définit plus clairement la certification forestière comme un outil utilisé pour communiquer au consommateur une information crédible autour de la ressource forestière.

Vlosky considère la certification comme une valeur ajoutée des produits bois. Il mentionne qu'en 2002, il y avait plus de 124 millions d'hectares de forêt certifiée dans le monde, soit une augmentation de 25% depuis 1993. Ce pourcentage impose la présence de systèmes de certification capables de garantir la provenance du bois [Vlosky 03].

Le contrôle est confié à une entreprise de certification privée, dont la neutralité et la compétence sont garanties par les autorités de l'Etat. Il y a au moins six programmes référence dans l'industrie du bois pour la gestion d'une forêt durable. Les principaux sont : le Forest Stewardship Council (FSC), le Sustainable Forest Initiative (SFI) et au niveau européen le Pan European Forest Certification (PEFC).

Tous les standards issus de ces programmes sont conformes à la norme ISO 14001, le standard environnemental développé à partir de la norme British Standard Spécification for environmental management system - BS 7750 [FFCS 02]. Ainsi, tout comme pour les industries alimentaires, les standards et les régulations existent pour la filière bois.

Le caractère obligatoire de démontrer que l'origine et le certificat des produits forestiers peuvent être tracés et vérifiés, nécessite de disposer de systèmes de traçabilité sûrs.

Le suivi de la transformation des bois certifiés est réalisé par la mise en place d'un système de chaîne de contrôle (Chain of custody ou CoC) du bois ou aussi appelé chaîne de traçabilité. Celle-ci correspond au contrôle de l'itinéraire qu'un produit suit de la forêt jusqu'au consommateur. Cet itinéraire comprend la manipulation, le transport, le stockage, la production, l'emballage et la distribution. La certification de cette chaîne de contrôle consiste à prendre toutes les dispositions pour que, à chaque étape de la chaîne, les produits de forêt certifiés ne soient pas mélangés aux produits non-certifiés [Handbook of Procedures to Apply for Certification 01]. Pratiquement, il peut s'agir d'un suivi géré par les acteurs de la filière ou d'une vérification gérée par un organisme certificateur dont le rôle est d'appliquer une succession de procédures de contrôle, figure II.1

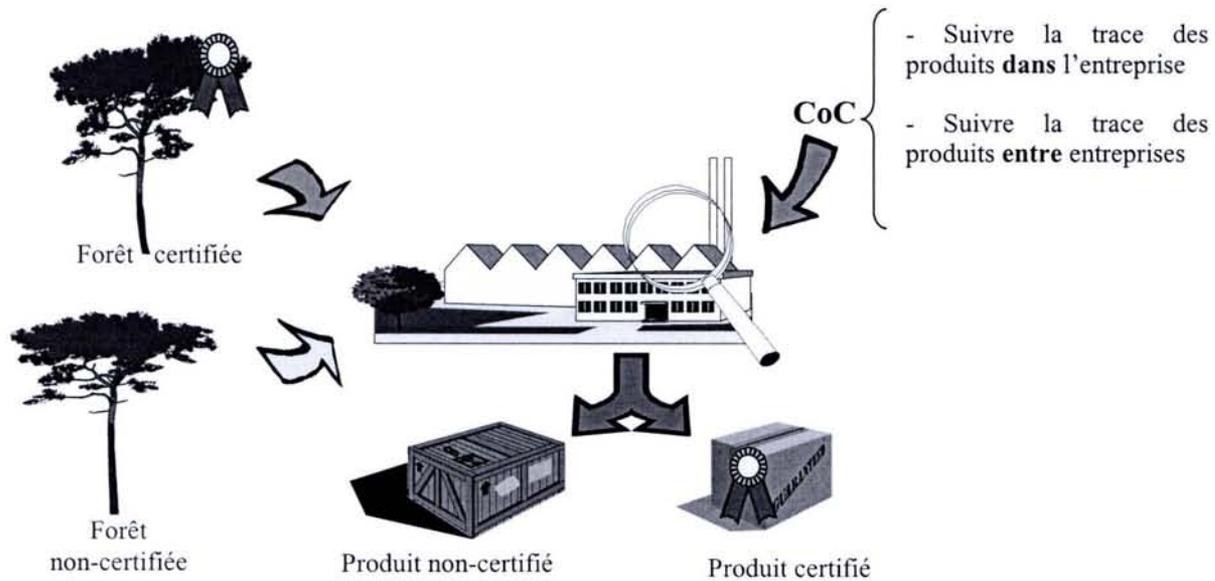


Figure II.1. Certification de bois

### II.1.2 Recherche de l'efficacité des processus de transformation du bois.

Dans la littérature bois, le contrôle du cheminement de la marchandise est appelé "traçabilité des produits certifiés". C'est-à-dire, qu'il est uniquement associé à la notion d'écocertification. Cependant, le concept de traçabilité est plus étendu que le seul suivi d'un produit pour connaître son origine.

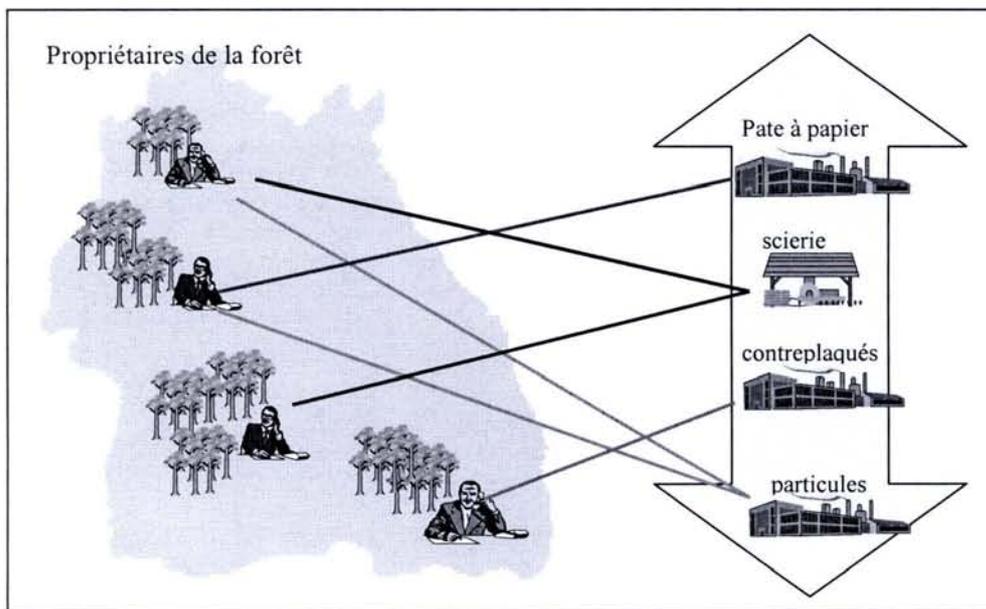
L'industrie des produits forestiers, des fibres de bois, des panneaux à base de bois et de la pâte à papier est un secteur important du commerce européen. Celui-ci emploie plus de 2.2 millions de personnes, avec une valeur de la production totale qui excède les 280 mille millions d'euro et une croissance moyenne annuelle de 3% sur les dernières 5 années. Ce secteur comprend aussi bien les entreprises fournissant des équipements et/ou des matières premières que les 12 millions de propriétaires de forêts en Europe. Donc, il est évident que maintenir et fortifier la position compétitive du secteur est vital pour une grande partie de la population européenne.

Cette compétitivité dépend par conséquent de la capacité à utiliser les ressources forestières actuelles d'une façon durable (des points de vue environnementale, social et économique), de mettre plus de valeur ajoutée aux produits et aussi de pouvoir répondre aux exigences du consommateur d'une façon efficace. Chiorescu résume cela très bien, comme "la capacité à fournir les produits adaptés aux bons clients, le plus rapidement possible et en étant rentable" [Chiorescu 03].

On constate que dans certaines industries du bois (principalement scandinaves), un changement stratégique dirigé principalement vers le client commence à apparaître. Dans ce contexte, l'efficacité totale de la chaîne forêt bois joue un rôle très important, puisqu'elle sera très influencée par la qualité des produits finaux, laquelle prend une signification très spéciale pour le bois à cause des variations inhérentes de ses propriétés. En conséquence, la production dirigée vers client requiert un contrôle de flux de matière rigoureux liant les caractéristiques de la matière première bois avec la qualité des produits finaux.

Ainsi, tout comme pour les autres filières, l'industrie du bois veut atteindre une intégration totale de sa chaîne logistique. Becker est un des premiers à parler de cette intégration pour la filière bois [Becker 01].

Becker, sous-entend par intégration, la communication bidirectionnelle entre les industries de la transformation et les acteurs forestiers, figure II.2. Il ne fait néanmoins pas apparaître la chaîne logistique entre les entreprises. Donc nous pouvons ajouter une flèche verticale sur la figure II.1 qui indique cette communication pour avoir l'idée d'une intégration à tous les niveaux.



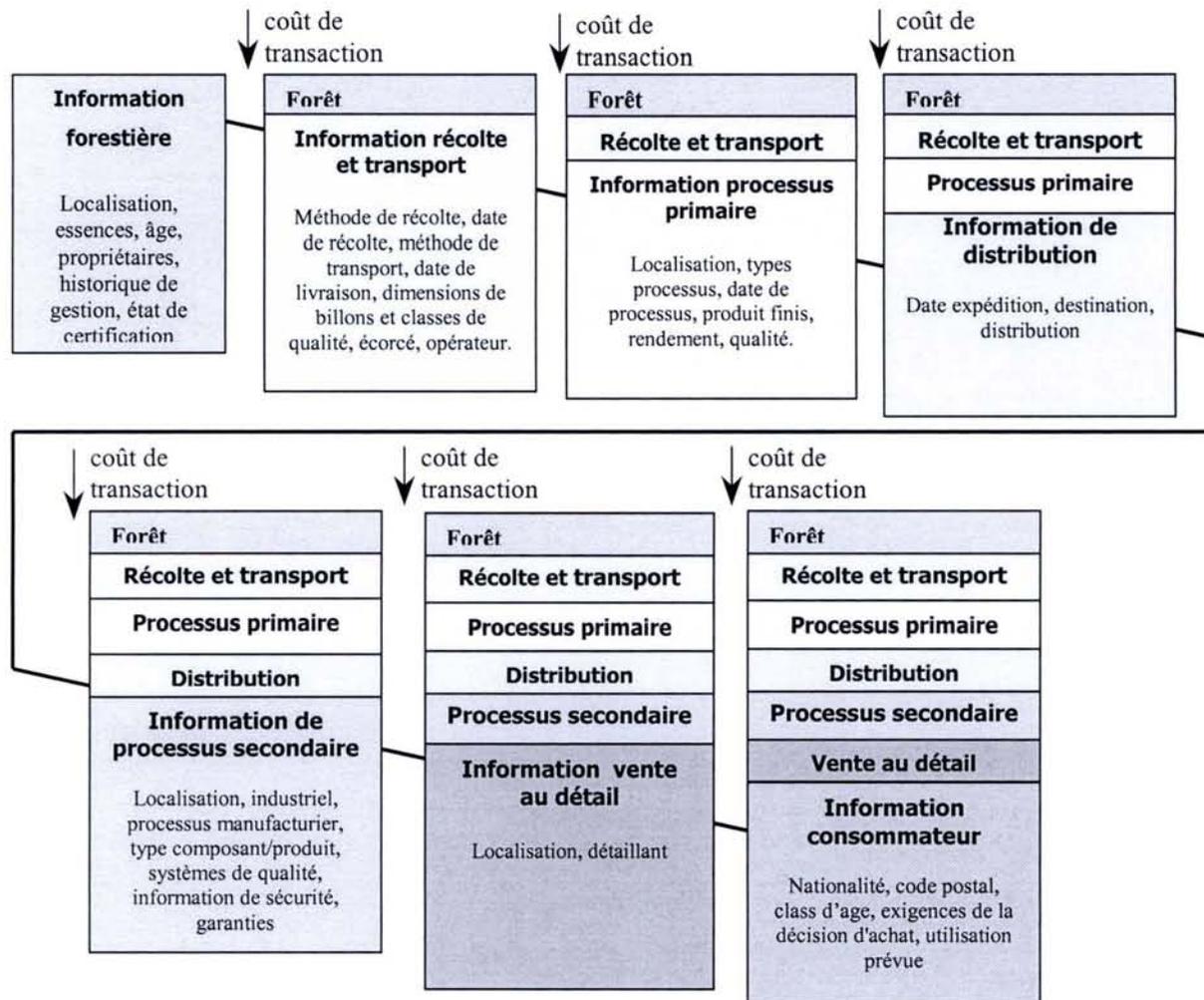
**Figure II.2.** Intégration chaîne logistique forêt – bois

Becker mentionne l'importance de l'information concernant à la forêt (qualité, traitements, géographie, propriétaires, etc.) et les exigences du produit. Il remarque l'importance de fournir la matière première correcte, pour une utilisation correcte. De plus, l'information doit être bien détaillée, disponible au moment opportun, mise à jour et dans un format

compréhensible pour tous et à un coût raisonnable. Toute cette information doit être intégrée de manière à instaurer un flux d'information synchronisé avec le flux de produits. Ceci permettra la mise en place d'une optimisation globale, par la maîtrise complète et précise du processus de transformation et la personnalisation de la production. A une échelle plus large, ceci permettra aussi la simulation de la chaîne forêt-bois [Becker 01].

Actuellement, les industries du bois possèdent en certains points du processus un fort degré d'automatisation avec des techniques de marquage/lecture performantes ou encore des capteurs non destructifs de mesure dimensionnelle ou de qualité. Par conséquent, un nombre non négligeable de données est susceptible d'être d'ores et déjà disponible. Mais malgré ce possible gain d'information, Kärkkäinen remarque la difficulté de garder l'information le long de la chaîne forêt-bois. Communément, celle-ci est perdue dans deux étapes : pendant la transformation du produit et pendant les transactions des produits entre entreprises [Kärkkäinen 01].

A titre d'exemple, nous pouvons décrire les faits suivants : au début de la chaîne, les mesures de qualité et des caractéristiques de la forêt sont bien connues, ensuite pendant l'opération de récolte d'autres mesures comme les diamètres et la qualité des grumes sont aussi enregistrées. Cependant quand les grumes arrivent à la scierie aucune information ne subsiste. Après le tri des grumes, l'unique information retenue est la classe de qualité du billon, elle peut être très différente de celle donnée auparavant. En bref, on accumule de l'information et on la perd après, ou du moins elle n'est pas transmise.. Dans la figure II.3, Kärkkäinen montre quel type d'information il peut être intéressant d'accumuler au début de la chaîne forêt -bois.



**Figure II.3.** Accumulation d’information des produits bois dans une partie de la chaîne forêt-bois [Kärkkäinen 01]

La situation de non-continuité de l’information est une des plus fortes raisons qui font arrêter la stratégie orientée client, une entreprise ne dispose le plus souvent que des statistiques et des informations globales sur leurs produits.

De plus, au sein même des entreprises, les pratiques sont très particulières :

- Peu ou pas de transfert d’information horizontal (entre machines) ou vertical (entre centres de décision) [Maness 93]
- Les ordres de fabrication arrivent manuellement
- C’est le savoir-faire de l’opérateur qui permet une estimation de la réalisation de la production. Il n’a en effet aucune information à sa disposition en temps réel pour prendre des décisions. La production (volume, qualité) est contrôlée a posteriori, son état en temps réel n’est connu par l’entreprise que par des statistiques.

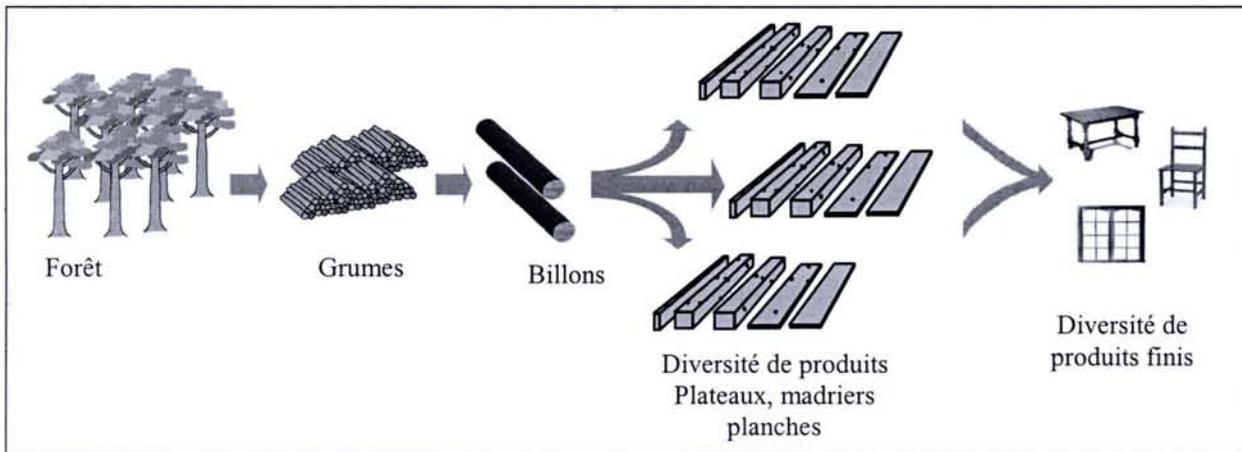
Ce type de pratiques dans la filière bois rend plus lent et difficile l'implémentation d'une traçabilité. Donc, c'est la structure organisationnelle même qui doit être remise en cause.

De plus, pour pouvoir espérer l'enregistrement et l'accès à l'ensemble, il faut disposer d'un système de suivi de produits performant. Les techniques d'identification automatique ne sont pas adaptées à la filière qui présente, par conséquent, un retard certain en terme de traçabilité. Les contraintes expliquant cette inadaptation sont multiples, la plus fondamentale étant la nature extrêmement variable et complexe du matériau bois lui-même. En effet, le bois impose :

- un contrôle individuel avant chaque opération : les caractéristiques internes du bois apparaissent au fil des transformations, le débit possède un caractère irréversible (pas de retour possible pour un produit donné),
- un système d'association identifiant/identifié particulier compte tenu de l'état de surface et des opérations de débit, rabotage, moulurage, de finition, d'assemblage, etc. Par exemple, l'association d'une étiquette (code à barre ou RFID) sur chaque pièce dans les différents processus engendre des coûts très élevés et difficilement assumés par les industriels.

De même, les processus de transformation présentent des caractéristiques complexes qui interfèrent avec les systèmes d'identification courants :

- le flux est divergent en début de transformation et convergent en fin de processus (Figure II.4),
- les produits sont très nombreux, extrêmement variables en quantité et qualité,
- Flux non-FIFO, (First In First Out), il existe un certain nombre de boucles internes que le produit doit suivre,
- production en flux poussé et en flux tiré,
- la perte de matière dans des processus comme le rabotage et le moulurage,
- la complexité des processus comme le débit, l'assemblage, la finition,
- la valeur ajoutée des processus est très faible comparée au haut coût d'implémentation,
- la perte ou l'endommagement de produits pendant leurs transferts.



**Figure II.4.** Flux divergent et convergent dans la chaîne forêt –bois

Il est évident que ces caractéristiques peuvent être énormément améliorées avec l'implémentation de systèmes adéquats d'identification automatique et une bonne démarche de mise en œuvre de la traçabilité. De cette façon, un flux d'information synchronisé avec le flux de produits pourrait être instauré. [Chioreuscu 03] mentionne qu'un système de traçabilité peut résoudre une des principales préoccupations des industries du bois, l'approvisionnement et l'optimisation de la matière première en adéquation avec les produits à réaliser (flux tirés).

En particulier, les entreprises de la scierie ont une faible valeur ajoutée sur leurs produits. Ceci rend difficile la capacité d'investir dans un système de traçabilité à cause du coût très élevé d'implémentation. Cependant, une traçabilité peut être amplement justifiée, dans le fait que le 75% de coûts totaux dans une scierie correspond au matériau bois. C'est évident qu'une amélioration du processus, du rendement de matière, la disposition de l'information à temps peuvent contribuer à une meilleure utilisation de la matière, en affectant directement les coûts.

Ainsi dans le cas idéal, l'information d'un produit pourrait être conservée à travers toute la chaîne forêt-bois, depuis le commencement jusqu'à la fin, en liant l'information à un identifiant unique, attaché au produit, comme un code ou non attaché, dans le cas des techniques biométriques.



## II.2. L'identification des produit bois

Des systèmes d'identification courants comme le code à barre, le marquage et les étiquettes électroniques sont utilisés pour le suivi de produits bois, mais principalement entre entreprises sur une partie bien limitée de la chaîne. Les processus de transformation du bois induisent l'utilisation de grandes quantités de consommables accroissant de ce fait les coûts, et c'est particulièrement important dans les cas des étiquettes électroniques. Il est en effet pour le moment impensable de mettre un identifiant sur chaque produit mais c'est acceptable, en revanche, sur une palette.

La totalité des techniques disponibles (et leurs limites d'utilisation) est listée par [Dykstra 02] et reprises dans le tableau II.1. Dykstra remarque que pendant l'opération de récolte et sur le parc à grumes, les marquages à la peinture/encre ou des étiquettes clouées trouvent une place assez stable. Elles sont d'application rapide et facile, très robustes et résistent très bien au transport et à l'eau. De plus, elles ont un faible coût (actuellement, le coût du matériel est négligeable et une grande partie du coût est associé à l'activité de marquage). Ces étiquettes peuvent être intégrées avec les fonctions de gestion de la forêt, de la logistique, et des inventaires.

Nous constatons dans le travail de Dykstra que chaque type de produit, un arbre, un billon ou des produits bois manufacturés, peut être suivi sur une partie bien spécifique de la chaîne forêt-bois avec une plus grande facilité lorsque le suivi est réalisé par batch ou lots. Le suivi unitaire des produits à l'intérieur du processus de transformation est plus difficile et d'ailleurs presque inexistant. On trouve des étiquettes à code à barre ou un marquage avec de l'encre surtout dans les zones de stockage, sur les produits finis ou les emballages.

Dans sa description des technologies d'identification pour la chaîne de contrôle, Dykstra présente ainsi tous les moyens pour lier un produit à son information depuis le bois sur pied jusqu'au produit fini.

Voici ces technologies selon la classification que nous avons utilisée précédemment [Dykstra 02]:

- le marquage : peintures conventionnelles, marquage au marteau, peintures micro-tag, traceur à encre chimique.
  - le marquage au marteau, est plutôt utilisé comme une marque qui signale un label d'écocertification ou d'origine, il n'est pas utilisé pour le suivi, c'est un type de marquage mécanique.

- les peintures micro-tag correspondent à une technique de particules microscopiques en plastiques composées de différentes couches et couleurs que peuvent être combinées de façon unique. Le code est lu par un microscope de grossissement 100.
  - le traceur à encre chimique est formulé par l'US Forest Service depuis 1988. Chaque peinture a deux traceurs, un traceur pour être détecté sur site par réaction avec une autre substance et l'autre seulement avec un équipement de laboratoire. Elles sont utilisées surtout pour éviter des activités illégales et constituent une preuve d'origine.
- le code à barres est appelé "étiquette conventionnelle". Dans le travail de Dykstra, les étiquettes en papier ou plastique et celles en métal sont analysées séparément. La raison de les différencier n'est pas expliquée, peut-être est-ce dû au fait que les étiquettes métal peuvent perturber certains processus de transformation. Les étiquettes conventionnelles sont attachées sur un support métallique ou plastique ou bien collées directement sur le produit. L'étiquette métal est directement imprimée et clouée sur le produit, un seul numéro ou des codes à barres peut être incorporé pour augmenter la quantité d'information.
- les étiquettes électroniques RFID : le coût associé à l'étiquette (1 à 250US\$ par tag – référence année 2002) et à sa mise en œuvre sont élevés comparés aux autres systèmes. Elles peuvent être insérées sur les étiquettes conventionnelles ou à l'intérieur de billons ou sur les produits transformés. l'application de cette technologie dans l'industrie du bois est plutôt adoptée pour le contrôle de stock de produits transformés. Cependant, une utilisation plus massive peut être envisagée si le prix du tag devient inférieur à 0.20 US\$.
- la biométrie : basée sur les empreintes chimiques et génétiques, cette technique permet de vérifier l'identité d'un produit à travers sa constitution ou sa structure génétique.

Le tableau II.1 synthétise l'adéquation entre technologie et produit/processus. Le caractère "convenable" (C) signifie que la technologie peut être utilisée comme un support qui fournit une quantité d'information adéquate pour les items signalés. En revanche, le caractère "non convenable" (NC) signifie que le type de marquage est inadéquat et/ou coûteux ou bien qu'il n'est pas suffisamment robuste pour supporter des conditions difficiles inhérentes à certaines opérations industrielles. La notion de "sécurité" des produits est utilisée par Dykstra seulement dans le cas de surveillance des activités illégales, comme preuve d'origine de bois certifié au niveau du lot.

**Tableau II.1** : Techniques d'identification versus produit [extrait de Dykstra 02]

Type d'étiquette	Produit		
	Arbre sur pied	Billons	Produits bois
Peintures conventionnelles	C	C	NC
Marquage au marteau	NC	NC	NC
Étiquettes conventionnelles	C	C	C
Étiquettes de métal clouées	C	C	NC
Étiquettes RFID	C	C	C
Peinture micro-tag	C	C pour sécurité	C pour sécurité
Traceur à encre chimique	C	C pour sécurité	C pour sécurité
Empreinte chimique et génétique	C pour une identification individuelle	Pas suffisamment développée	Pas suffisamment développée

(NC: non convenable, C : Convenable)

Ce travail présente l'identification de manière statique sans indiquer l'aspect dynamique du transfert de l'information ou de la communication entre systèmes d'information, lorsqu'un produit doit changer d'état : arbre sur pied /billon /produit bois. Quelques-unes des technologies présentées ici seront illustrées plus loin dans ce mémoire lors de la présentation du projet LINESET.

### II.2.1 Nouvelles solutions de traçabilité

Les difficultés rencontrées dans la mise en œuvre de l'identification dans les industries du bois ont ouvert de nouvelles voies de recherche. Pour tenter de lever ce verrou (coupure du suivi en entrée de la scierie) des actions ont été entreprises depuis le début des années 2000 à la fois sur la recherche de nouvelles techniques que sur l'étude de l'intégration de techniques dites classiques (pour les autres secteurs industriels).

Ces actions restent cependant marginales et leur nombre limité nous permet de les présenter individuellement. Voici la liste des actions dont les objectifs et moyens vont être précisés :

- l'application de la biométrie au bois via les recherches sur l'ADN et via l'extraction de signature (interne ou externe) caractéristique des produits,
- l'utilisation de marqueurs particuliers (imprimés, chimiques),

- l'évaluation des performances de la technique RFID pour le suivi de fabrication de meubles en bois-panneau,
- la mise en œuvre du suivi effectif sur des chaînes forêts - bois (projet européen LINESET).

#### **II.2.1.1 Utilisation de la biométrie par ADN**

La biométrie, dans le domaine du bois, est utilisée à travers l'étude de l'ADN pour certaines essences. Elle consiste à isoler des fragments d'ADN qui sont caractéristiques et propres à chaque essence. L'objectif est la différenciation par et entre essences.

Deguilloux développe cette approche et démontre le potentiel de l'analyse génétique pour la certification et l'identification de bois [Deguilloux 02]. Elle montre une différenciation entre les arbres de chênes provenant de différentes régions. Pratiquement, son étude donne une solution à la certification de bois de chêne pour le secteur tonnelier français. L'importance de différencier cette essence est justifiée par le prix élevé du bois de chêne français comparé au prix relativement bas et à la moindre qualité du chêne d'Europe de l'Est.

Bien que le potentiel de cette approche soit évident, elle reste longue et très coûteuse, avec une mise en œuvre spécifique pour chaque essence. L'identification est réalisée a posteriori par prélèvement d'un échantillon et analyse en laboratoire.

#### **II.2.1.2 Utilisation de la biométrie par signature interne/externe**

Depuis longtemps, les techniques de Contrôle Non Destructif par transmission sont utilisées pour l'analyse du matériau bois. Ces techniques ont été employées à des fins diverses comme la détection des singularités, le classement des bois de structure, etc...

Dans ce cadre, des techniques telles que rayons X ou les rayons  $\gamma$ , les micro-ondes ou les ultrasons fournissent d'excellents moyens pour obtenir des informations sur la structure interne du bois. [Bucur 03] propose d'ailleurs une synthèse de ces techniques. Le prix élevé et la complexité d'analyse des deux premières techniques sont encore des freins à une utilisation plus courante.

Notre travail s'inscrit dans le cadre d'une approche biométrique par micro-ondes, il fait suite à l'étude de faisabilité de Baetty [Baetty 99] et [Charpentier 99].

Tout comme pour l'ADN, le principe repose sur l'individualité de chaque produit. Mais cette fois-ci, une signature est obtenue par un capteur micro-ondes. Cette signature prend en compte la variabilité inhérente du bois, c'est-à-dire les "caractéristiques intrinsèques" uniques

à chaque produit. Charpentier mentionne parmi ces caractéristiques : la densité, la pente du fil et les singularités comme les nœuds ou les poches de résines. Elles peuvent être utilisées dans un sens très avantageux pour l'identification.

De son côté, [Chiorescu 03] développe le même type d'identification que la nôtre entre la station de tri de grumes et la scie de tête. Il se base sur une approche fingerprint (empreinte digitale) et se sert des caractéristiques externes de chaque billon pour réaliser l'identification. Les mesures des caractéristiques comme longueur, diamètre, surface, etc. ont été prises initialement comme critères d'identification. Les résultats obtenus montrent que ces paramètres n'étaient pas suffisants pour atteindre une identification individuelle supérieure à 35%. Ensuite, l'utilisation de caractéristiques tridimensionnelles comme l'enveloppe du billon a fourni de meilleurs résultats en atteignant 87% d'identification quand les billons sont écorcés.

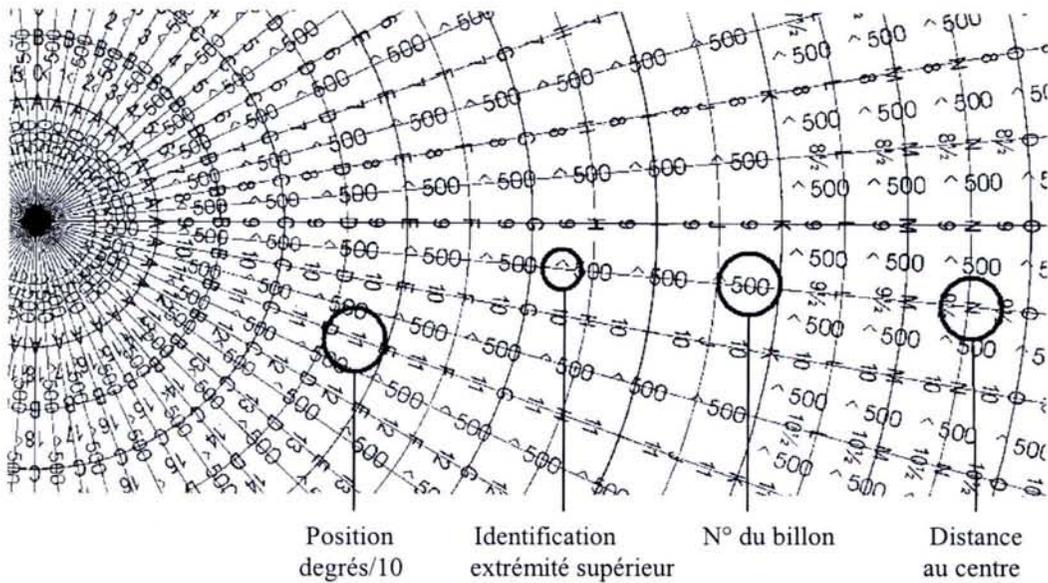
La biométrie est une approche très intéressante pour solutionner les problèmes d'identification pour la filière du bois. Notre contribution dans ce domaine sera présentée dans le chapitre IV.

### **II.2.1.3 Utilisation de marqueurs**

Dans le cas de la biométrie, l'identifiant est naturellement porté par le produit. Ici, il s'agit d'apposer des marques imprimées, chimiques ou laser sur les produits, marques qui seront relues plus tard dans la chaîne.

Le marquage présenté par [Smith 03] consiste à coller sur les sections d'un billon, un quadrillage polaire (Figure II.5). Après débit, une partie de cette marque reste sur les produits réalisés sur lesquels il est alors possible de lire les coordonnées polaires du produit dans le repère de la section du billon ainsi que l'identifiant du billon d'origine.

Cette méthode permet ainsi le suivi des pièces sans intervention humaine pendant le processus de sciage. A la lecture, qui est, quant à elle, encore manuelle, l'origine de chaque produit est connue. Outre le fait qu'il faille conserver les deux sections originales sur chaque produit fini (l'opération de tronçonnage rompt le suivi), le principal problème rencontré par Smith et al. est le choix de la colle pour le maintien de la grille. Ce principe reste expérimental, mais il permet de suivre les produits sans que le processus ne soit perturbé par la mise en œuvre du suivi. Il permet également de mettre en relation les caractéristiques du billon avant débit et les caractéristiques des produits après sciage, le rendement économique d'utilisation de la matière première étant au cœur des enjeux de la traçabilité pour ce premier débit.



**Figure II.5.** Modèle qui montre : détail de la grille avec ses coordonnées polaires et radiales, le numéro unique attribué au billon et les symboles (^) pour l'extrémité supérieure du billon et (@) pour l'extrémité inférieure.

#### II.2.1.4 Marqueur olfactif

L'automatisation consiste à reproduire toute ou partie des fonctions humaines. En ce qui concerne les capteurs, il reste deux sens à explorer sur les cinq que nous possédons : le goût et l'odorat. Le développement de nez électroniques<sup>1</sup> qui permettent de fournir une empreinte olfactive quantitative. C'est d'ores et déjà le cas sur certains produits naturels tels que la marijuana, le gasoil et les devises américaines. Le principe de marquage proposé par [Murphy 04] est d'apposer une combinaison d'arômes sur un billon, ce qu'il nomme "l'aromatagging" et de reconnaître ensuite ces odeurs. Les traceurs chimiques volatiles utilisés pour ces premiers essais sont entre autres : le cinnamyl butyrate, l'amylcinnamate, de l'extrait de cèdre ou de *pinus ponderosa*. Le système de lecture est un nez électronique Cyranose 320® (C320), équipement constitué d'un réseau de chimiorésistances.

Les résultats de cette étude de faisabilité ont montré, d'une part, que sur une durée limitée l'identification, grâce à un arôme, des arbres sur pieds jusqu'aux billons est possible. D'autre part, les volatiles utilisés ne sont pas tous discriminés par le nez électronique C320, ce qui induit qu'un combinatoire d'arômes n'est pas pour le moment envisageable. Il faudrait un

<sup>1</sup> Traduit de l'anglais "electronic nose"

équipement spécialement dédié de type spectromètre de masse. Enfin, les conditions climatiques ou le séchage altèrent de manière très significative les performances du nez électronique.

#### **II.2.1.5 Utilisation de RFID pour l'industrie du meuble**

[Boyer 04] a étudié l'intégration des systèmes d'identification automatique par radiofréquence dans l'industrie du meuble à base de panneaux. Il constate que cette filière est prête pour adopter ce type de suivi par rapport aux moyens humains et financiers qu'elle compte aujourd'hui. De plus, les panneaux de bois offrent l'avantage de pouvoir noyer les tags dans la masse et de permettre une traçabilité totale de la fabrication à la destruction des produits. Boyer mentionne que les objectifs d'une telle mise en œuvre sont liés à l'optimisation de la logistique dans l'entreprise et de la chaîne logistique entière.

Cette étude a permis de mener aussi des expériences destinées à évaluer les impacts des milieux extérieurs sur la performance de cette technologie, c'est-à-dire à éprouver la robustesse et la fiabilité des tags dans cette application industrielle. Les résultats indiquent que les facteurs les plus influents sont le taux d'humidité ambiant, la distance de lecture, la distance entre tags et la lumière. Pour chacune des grandeurs, les plages de fonctionnement ont été déterminées.

#### **II.2.1.6 Traçabilité de la chaîne forêt-bois : LINESET**

Le projet LINESET, "Linking raw material characteristics with Industrial Needs for Environmentally Sustainable and Efficient Transformation processes" est un projet de traçabilité dans la chaîne forêt-bois, réalisé entre 2000-2003 et coordonné par l'AB Träteknik Institute for Wood Technology en Suède avec la coopération de pays comme l'Allemagne, la France, le Portugal, la Finlande et l'Espagne [Rapport LINESET 03].

L'objectif de ce projet était de tester l'applicabilité d'un système sûr et automatisé d'usage industriel pour réaliser la traçabilité automatique depuis la forêt jusqu'à la production d'un produit fini (bois scié). En pratique, certaines opérations de marquage ou de transfert d'information ont été réalisées manuellement, l'intérêt étant de pouvoir effectivement bénéficier du suivi des produits sur la chaîne, même si techniquement il n'y avait pas toujours de supports de réalisation automatique. La traçabilité a été effectuée sur deux chaînes : la première a commencée dans une forêt en Suède. Après la récolte, le bois a été envoyé dans une scierie suédoise et transformé en bois scié. Ensuite, il a été livré pour être utilisé comme matière première dans une entreprise de fabrication de panneaux de bois massif en

Allemagne. La seconde chaîne a été établie dans une scierie française, en commençant dans la forêt, propriété de la scierie, et en continuant jusqu'à la station finale de tri. La figure II.6 montre les deux chaînes forêt-bois de LINESET, avec leurs sous-systèmes.

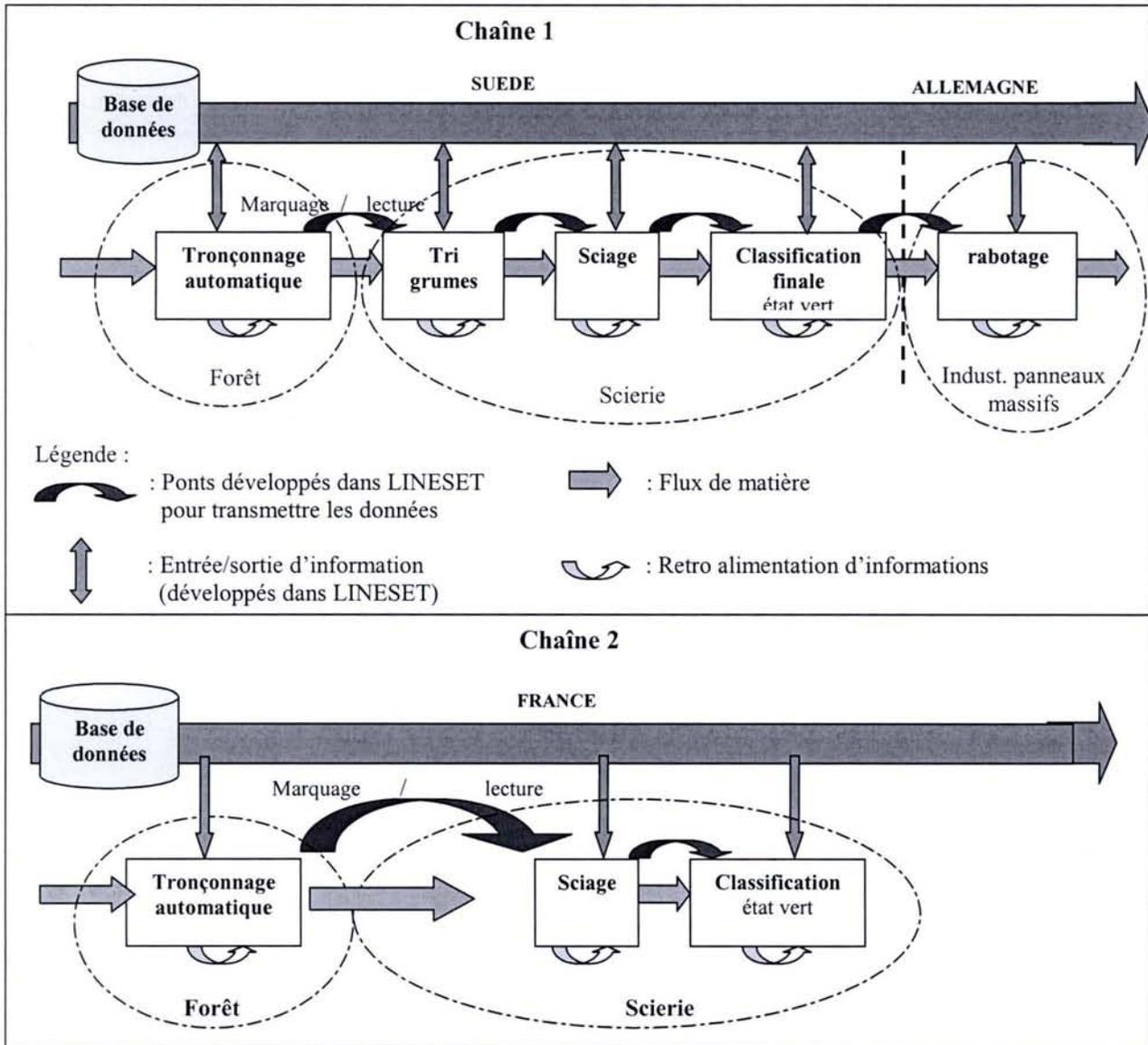


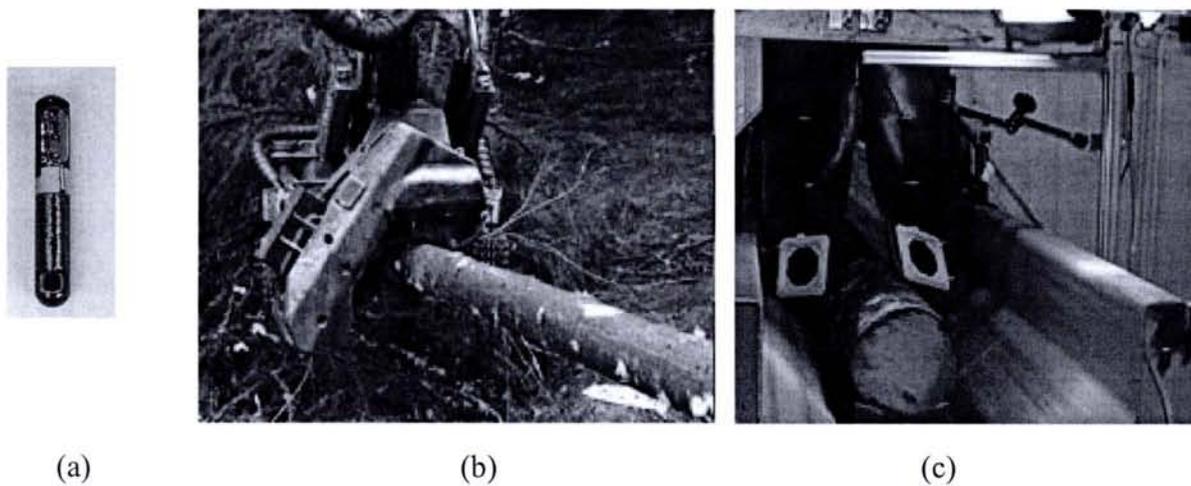
Figure II.6. La traçabilité dans les deux chaînes forêt –bois développée par LINESET

Les systèmes des techniques d'identification automatique mis en œuvre pour les deux chaînes sont les suivants :

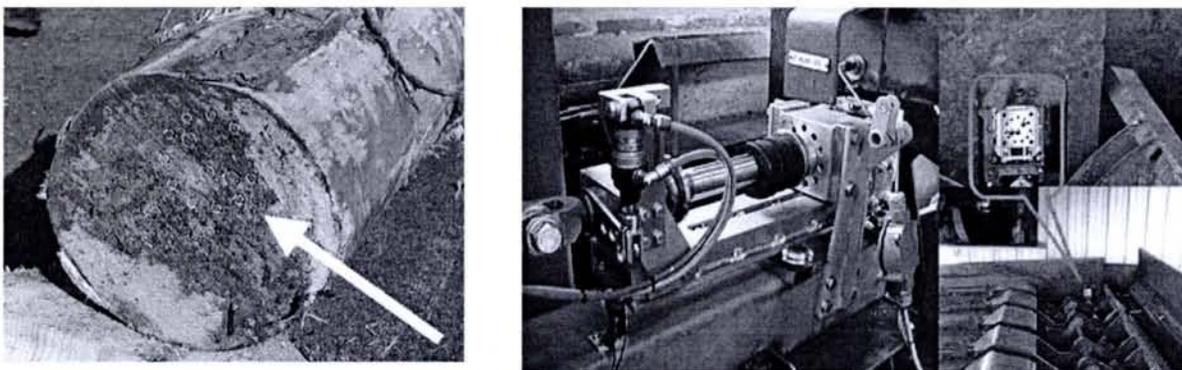
- **Chaîne forêt 1**

Deux systèmes d'identification automatique ont été utilisés sur les grumes. Tout d'abord des étiquettes électroniques en forêt : une fois l'étiquette électronique insérée sur la grume,

elle est lue à la station de tri et avant la scie de tête (Figure II.7). L'autre marquage qui a été choisi par des raisons économiques est un marquage mécanique d'une combinaison circulaire de cercles, appelé marquage de codes circulaire<sup>2</sup>, effectué en bout de grume dans la station de tri et son code est lu par un système de vision dans la scierie (Figure II.8). Des étiquettes à codes barres sont aussi utilisées pour identifier les billons de la forêt au parc à grumes (Figure II.9), cependant ce type d'identification n'a pas été utilisé dans cette partie de la chaîne par LINESET. Ceci a été justifié parce que la lecture optique risque d'être rapidement faussée par la moindre perturbation occasionnée par la boue, la glace ou simplement un déchirement dû aux diverses manipulations de bois.



**Figure II.7.** (a) étiquette électronique (23 mm de long et 3.2 mm de diamètre), (b) insertion de l'étiquette électronique pendant l'opération de récolte et (c) lecture de l'étiquette électronique [Rapport LINESET 03].



**Figure II.8.** (a) marquage du code CCM et (b) installation du marquage CCM à la station de tri de grumes [Rapport LINESET 03].

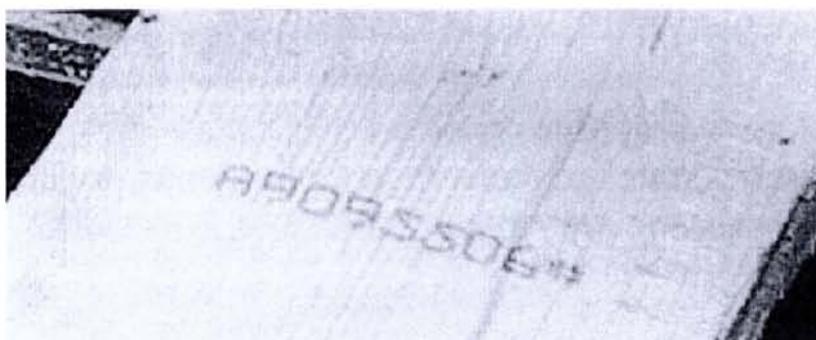
<sup>2</sup> Traduction de l'anglais Circular Code Mark (CCM)



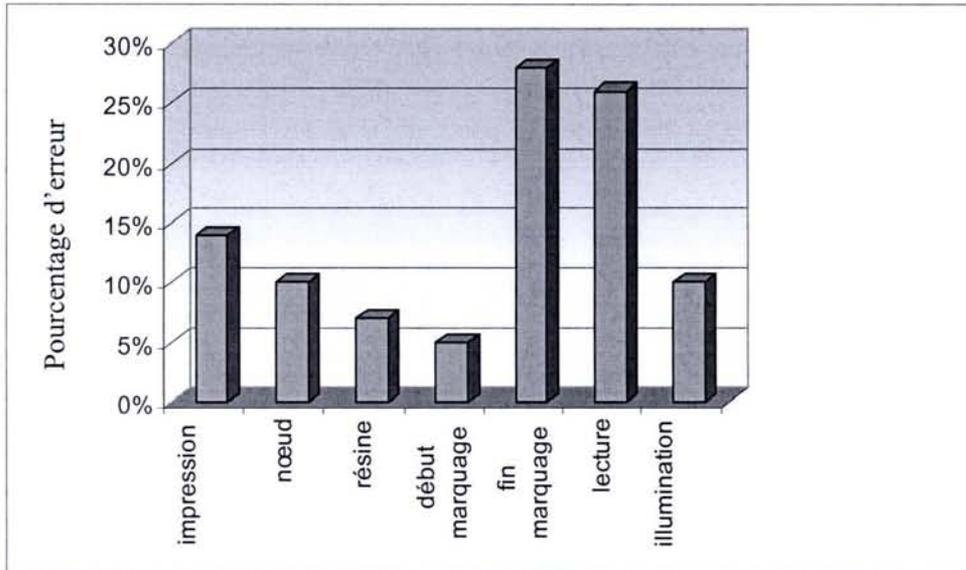
**Figure II.9.** Etiquettes plastiques avec code à barre

Pour obtenir une traçabilité complète, il a été nécessaire d'implémenter une méthode sûre de liaison et de suivi de références entre les billons et les planches. Elle est basée sur un principe de comparaison d'un ensemble de longueurs des billons mesurés avec un cubeur et de longueurs des planches mesurées avec un autre système. Dans certains cas l'introduction volontaire de planches plus courtes entre planches issues des différents billons de longueur similaire facilite la tâche de marquage. Le marquage a été effectué en imprimant le code directement sur le produit (Figure II.10). Les principaux problèmes de lecture rencontrés avec ce marquage sont présentés dans la figure II.11. Ils sont liés tant à des problèmes de qualité de surface (impression incomplète, présence de nœuds, résine) qu'à des soucis de capture du marquage (illumination) et de traitement (détection début et fin de marquage).

La performance de ce système a un taux de réussite de 90% pour l'identification, cependant quand les longueurs des billons sont très proches le taux varie dans la plage de 60% à 90%. Ce code a été lu dans la station de tri de bois humide et la station de tri final. Il est important de remarquer que la réussite du suivi est parfois liée à des astuces créées pour pouvoir mieux se repérer et avoir moins de confusion pour l'identification, ce qui n'est pas trop réaliste dans des conditions réelles de production.



**Figure II.10.** Impression du code sur des planches [Rapport LINESET 03]



**Figure II.11.** Types d'erreurs de lecture pour le marquage sur planches

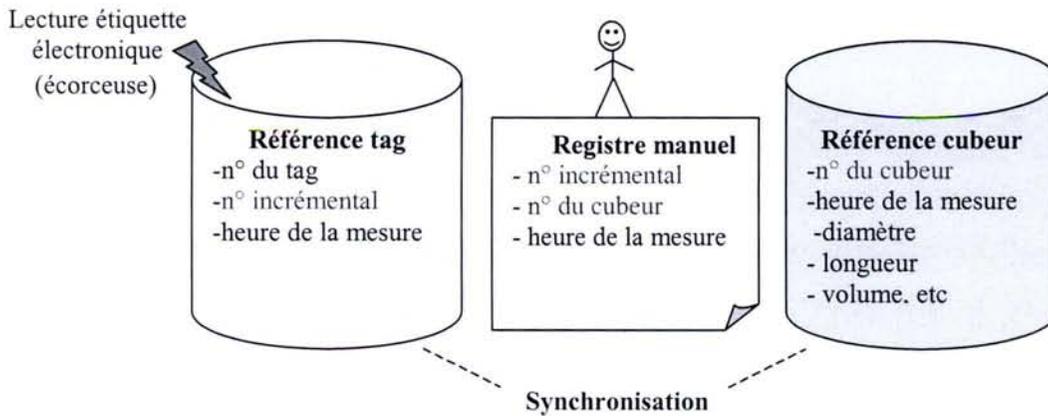
Pour la fabrication de panneaux en Allemagne, les paquets d'avivés ont été ouverts un par un et chaque couche transportée et disposée dans la machine pour dédoubler chaque planche. Ensuite, elles ont été séparées et transportées en laissant toujours le code marqué sur la première face pour être lu avant la ligne de rabotage, l'efficacité de lecture a été de 89%.

Après cette lecture du code, les planches sont empilées puis transportées au séchoir et ensuite, à la station de tri final. Chaque paquet possède un code et des spécifications qui sont imprimées sur le produit. Après le séchage, les paquets sont dépilés pour être triés selon des caractéristiques bien spécifiques. Les nouveaux paquets constitués sont emballés et marqués avec des étiquettes code à barres. Les paquets sont ensuite lus par un scanner.

#### - Chaîne forêt 2

Dans le cas de la France, la pose de tags RFID a été réalisée manuellement sur chaque billon. Pour permettre le suivi des billons et des planches et faciliter la localisation dans tout le processus, les billons ont été peints aux deux extrémités et au milieu avec trois couleurs. L'étiquette électronique a été lue entre l'écorceuse et le cubeur de l'entrée de la scierie. En pratique, quelques étiquettes n'ont pas pu être lues, les principales causes étant la perte des tags pendant le transport ou la destruction dans l'écorceuse. Un registre manuel d'information a été réalisé de manière à synchroniser les données entre les étiquettes électroniques et l'information obtenue sur chaque billon par le cubeur, c'est-à-dire qu'à chaque référence du cubeur correspond un numéro incrémental (clé). C'est par la voie de ce numéro qu'est trouvée

l'information associée à l'étiquette électronique (figure II.12). Apparemment dans cette partie de la chaîne, il n'y avait pas de rupture de l'ordre du flux de produits, donc le registre manuel a pu être automatisé, la raison de cette procédure n'est pas été expliquée dans le rapport.

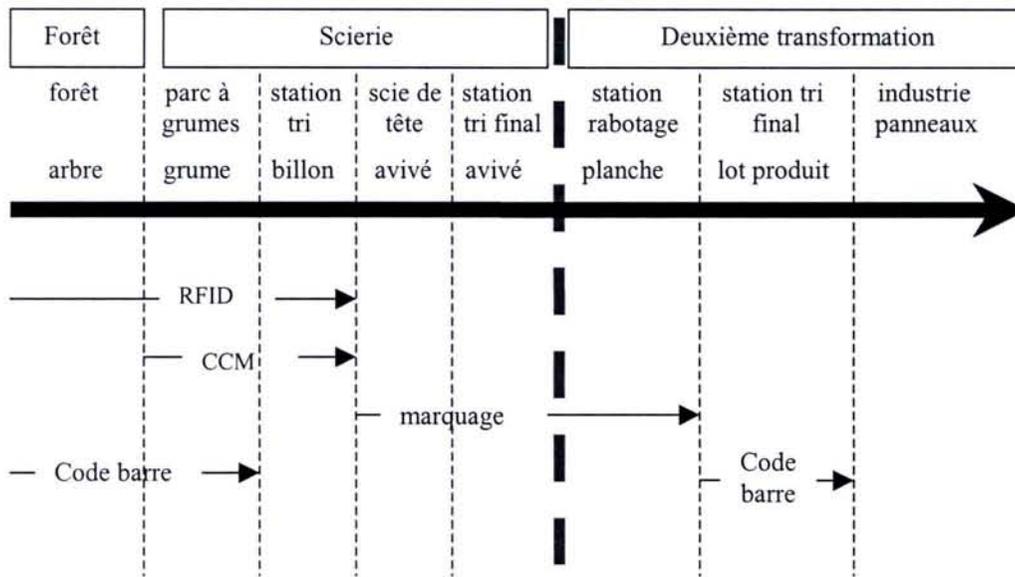


**Figure II.12.** Synchronisation de données entre les étiquettes électroniques et le cubeur.

Les planches issues des billons ont été emmenées en deux points de la scierie par lots. Un critère de discrimination du lot est la couleur appliquée sur le billon. Un numéro a été imprimé à la main avec un appareil à la sortie du débit. Dans la station de tri final, un opérateur affecte la qualité à chaque planche avec un crayon. De cette manière on peut lier la classe de qualité au numéro du billon avant que le paquet ne soit fait et ajouter cette information au code du paquet.

Dans LINESET, un autre type de solution de marquage a été étudié à l'échelle du laboratoire. Il consiste à peindre, au moment de la récolte, les extrémités des billons avec une combinaison unique de couleurs ou plus efficacement avec une peinture fluorescente (BioPixel™). Cette combinaison de couleurs donne un code unique au billon qui peut servir sur la chaîne entre la forêt et l'entrée de scierie.

Le figure II.13 montre un résumé des systèmes d'identification utilisés par LINESET et leur durée de vie sur les chaînes qu'à été analysées.



**Figure II.13.** Systèmes d'identification automatique utilisés par LINESET

Le projet LINESET permet de voir la complexité d'un système de suivi dans l'industrie du bois. De plus, nous constatons la difficulté d'arriver à une recette de traçabilité pour un suivi, en particulier, interne à l'entreprise.

Dans ce projet, l'identification redondante a été utilisée, par exemple les peintures, pour faciliter le suivi du produit. De plus, l'intervention humaine pour le marquage est aussi utilisée, ce qui, dans un flux de produits plus rapide, ne pourra pas être envisagé.

A travers deux cas réels d'implémentation du projet, nous constatons qu'un des principaux problèmes est la mise en œuvre très complexe pour arriver à synchroniser les différents systèmes d'identification automatique, les différentes opérations des machines, les opérateurs, et ainsi pour pouvoir assurer le transfert d'informations au long du processus.

### II.3. Conclusion

A travers la lecture sur la traçabilité dans les industries du bois, nous constatons qu'elles sont aussi concernées par la traçabilité comme les autres filières. Deux raisons pour sa mise en place : garantir l'origine du bois (écocertification) et améliorer les performances de la chaîne forêt-bois. Pour la première, la traçabilité a pour rôle d'assurer le suivi de produits certifiés, pour ceci la coopération des organismes qui surveillent et mettent en place des guides à cet effet est vital. La seconde, plus complexe, il faut mettre en place des systèmes d'identification et des capteurs adaptés à chaque type de produit qui garantissent une bonne

synchronisation entre le flux de matière et le flux d'information, c'est-à-dire un système d'information robuste capable d'enregistrer l'information sur chaque maillon de la chaîne, de traiter l'information et de la redistribuer.

Nous avons remarqué, que ce type de filière a des difficultés pour la mise en place de la traçabilité. D'abord, les coûts associés à une telle mise en place, ensuite la difficulté d'adapter les systèmes d'identification à un suivi continu dans la chaîne à cause des caractéristiques particulières du processus de transformation et de l'hétérogénéité du matériau.

La difficulté d'adaptation des systèmes d'identification a ouvert de nouvelles voies de recherche, cependant les efforts pour trouver une véritable solution reste aussi utopique. On peut nommer le projet LINESET comme une des premiers efforts pour concevoir une traçabilité sur toute la chaîne.

Il est important de remarquer que des techniques plus économiques comme celles basées sur l'utilisation d'encres, de peintures fluorescentes ou le marquage mécanique peuvent être de bonnes solutions de suivi, mais elles doivent être encore plus étudiées afin d'obtenir une lecture fiable.

L'industrie du bois est très hétérogène, chaque industrie est un cas individuel et la mise en place d'une traçabilité dépend des conditions particulières de gestion, d'organisation du travail, du niveau de technologie, du budget, etc.

Nous avons évoqué qu'il existe plusieurs solutions d'identification automatique dans l'industrie du bois et qu'ils sont de portée locale (limité à une partie de la chaîne). Ainsi, une approche biométrique peut être une solution très avantageuse. Pour ce faire, nous utilisons un capteur de Contrôle Non Destructif comme lecteur de la signature interne de chaque produit. Ce type d'approche qui sera développé dans le chapitre III permet une identification plus globale sans utiliser de consommables et qui peut être adaptée aux transformations agressives. Son principal inconvénient est qu'il n'y a pas de capacité de stockage d'information sur le produit, cependant les produits ont un identifiant individuel qui est la clé pour accéder à toutes les informations que leur sont associées. Cependant, Le fait d'utiliser plusieurs types d'identifications entraîne des difficultés pour synchroniser les différents systèmes et donc, un de nos objectifs est de construire un système d'information, où clairement les moyens d'identification apparaissent, ceci est développé dans le chapitre IV.

### ***Chapitre III***

*Signature interne comme outil d'identification pour  
les industries du bois*

---

## Chapitre III

### Signature interne comme outil d'identification pour les industries du bois

#### III.1. Introduction

Nous proposons dans cette partie une nouvelle solution d'identification pour les produits bois. Cette solution est basée sur le concept de signature interne et l'utilisation d'une technique non destructive pour la lire. Le choix de la technique non destructive s'est porté sur le micro-onde, du fait que non seulement elle fournit des moyens excellents pour obtenir information sur la structure interne du bois, mais également c'est une technique utilisée dans le laboratoire depuis 20 ans. [Martin *et al* 87] mentionne que comparée avec d'autres techniques de détection interne (rayons-X, rayons- $\gamma$  ou ultrasons) elle présente les avantages suivants :

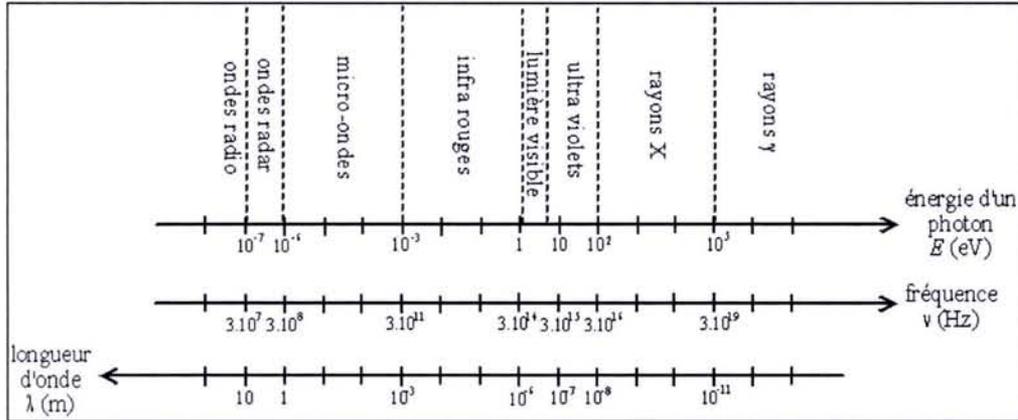
- analyse en profondeur et sans contact,
- accès a plusieurs variables et en temps réel,
- matériels et dispositifs accessibles au point de vue économique,
- automatisation facile,
- le matériel n'est pas dangereux pour les utilisateurs et ne nécessite pas de protection particulière.

La technologie micro-onde est utilisée dans bien d'autres domaines que l'alimentaire et dans des applications non destructives. Les Anglais, lors de la seconde guerre mondiale, ont été les pionniers dans leur utilisation avec la mise au point de radars. A présent, les militaires ne sont plus les seuls à posséder cette technologie, l'industrie textile, l'imprimerie, ou même l'agroalimentaire sont devenus des grands utilisateurs, que ce soit pour des utilisations thermiques ou en contrôle non destructif.

#### III.2. Caractéristiques des micro-onde et interactions avec le bois

Les micro-onde ou hyperfréquences sont des ondes électromagnétiques de longueurs d'onde comprises entre 1m et 1mm (fréquences comprises entre 300MHz et 300 GHz) (figure III.1). On distingue dans cette plage, trois gammes :

- Hautes Fréquences (UHF) ou ondes décimétriques (300 MHz-3 GHz)
- Supra Hautes Fréquences (SHF) ou ondes centimétriques (3 GHz-30 GHz)
- Extra Hautes Fréquences (EHF) ou ondes millimétriques (30 GHz – 300 GHz)



**Figure III.1.** Spectre électromagnétique

La propagation de l'onde à travers le matériau dépend directement de ses caractéristiques diélectriques. Celles-ci peuvent être exprimées à travers la constante diélectrique complexe,  $\epsilon^*$ , selon l'expression suivante :

$$\epsilon^* = \epsilon' - i \epsilon'' = \epsilon' (1 - i \operatorname{tg} \delta) \quad (1)$$

où :

$\epsilon'$  = constante diélectrique (partie réelle),

$\epsilon''$  = facteur de perte (partie imaginaire),

$\operatorname{tg} \delta$  = angle de perte.

$\epsilon^*$  est ramené à la permittivité du vide par la relation :

$$\epsilon^* = \epsilon_0 \epsilon_r (1 - i \operatorname{tg} \delta) \quad (2)$$

où :

$\epsilon_0$  : constante diélectrique du vide,

$\epsilon_r$  : constante diélectrique relative du matériau.

Le champ électromagnétique est composé d'un champ électrique et un champ magnétique, l'influence de ce dernier sur le bois est négligeable. Le champ électrique, seul, est pris en

compte [Collet 84], [Torgovnikov 93]. Finalement, l'équation de la propagation dans le vide est :

$$E = E_0 \exp(i\omega t - \gamma z) \quad (3)$$

où :

$$\gamma = \alpha + i\beta,$$

$\alpha$  = facteur d'atténuation,

$\beta$  = facteur de phase.

Le champ écrit sous la forme  $E = E_0 \exp(-\alpha z) \exp(j(\omega t - \beta z))$ , permet de faire apparaître les modifications des caractéristiques de l'onde engendrée par la matière. Le passage dans la matière modifie l'amplitude par dissipation de l'énergie caractérisée par le facteur  $e^{-\alpha z}$ . Le terme  $\lambda = 2\pi/\beta$  représente le changement de vitesse, variable suivant le matériau.

Le lien entre les caractéristiques de l'onde et les constantes diélectriques est fait grâce aux relations suivantes [Martin 92] :

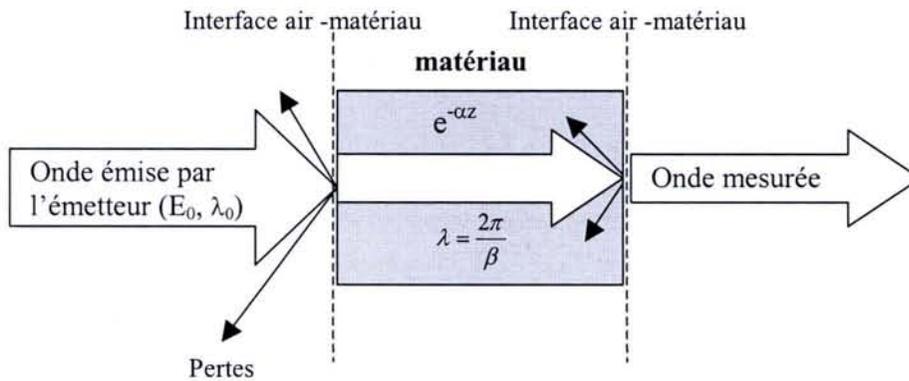
$$\varepsilon' = (\beta^2 - \alpha^2) \frac{\varepsilon_0 \lambda_0^2}{4\pi^2} \quad (4)$$

$$\varepsilon'' = (2\alpha\beta) \frac{\varepsilon_0 \lambda_0^2}{4\pi^2} \quad (5)$$

$$\text{tg} \delta = \frac{2\alpha\beta}{(\beta^2 - \alpha^2)} \quad (6)$$

[James et al 85] mentionne que la vitesse de propagation et par conséquent la longueur d'onde sont réduites pendant son passage dans le matériau. Cette réduction de vitesse est proportionnelle à la constante diélectrique du matériau. Pour le bois, la constante diélectrique dépend de la densité et de la teneur d'humidité. Donc, ce retard de vitesse est un indicateur de la densité et de l'humidité du bois. Le retard est mesuré comme le changement de phase de l'onde quand celle-ci est transmise à travers du matériau.

En général, quand l'onde arrive sur un obstacle, elle subit quelques modifications. A chaque fois, elle se divise en une onde absorbée et une onde réfléchi. De façon schématique, le phénomène est illustré sur la figure III.2. Le récepteur reçoit donc l'onde émise moins toutes les ondes réfléchies et les pertes. L'onde reçue est déphasée par rapport à l'onde émise, son amplitude est atténuée.



**Figure III.2.** Absorption et réflexion d'une onde sur un matériau donné

Il existe de nombreuses applications qui exploitent l'interaction bois et micro-onde, par exemple, le séchage, le collage, évaluation des caractéristiques du bois [Martin et al 87], l'inspection du bois [Choffel 96], [Kharadly 85], [Zhoghi 90], etc...

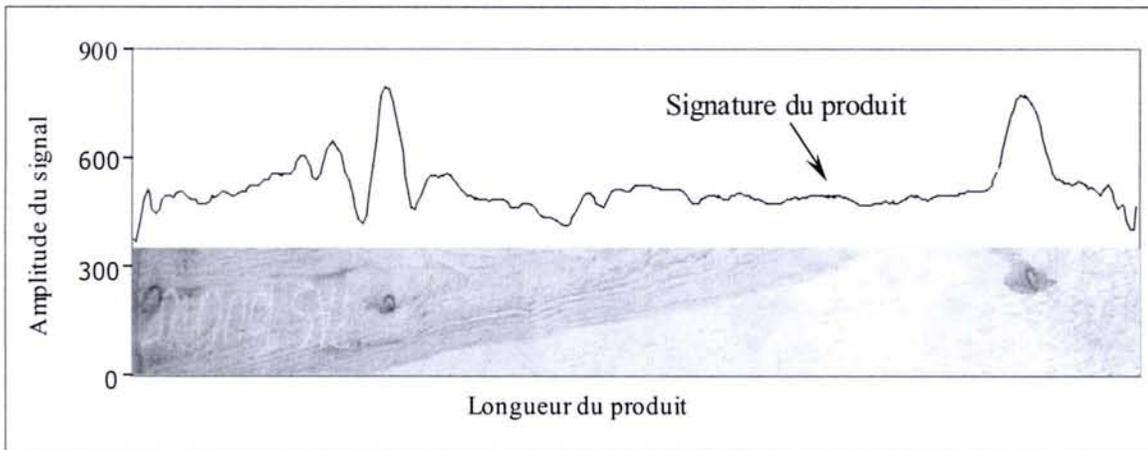
Les équipements intègrent la mesure de l'une ou plusieurs des trois caractéristiques que sont : l'amplitude, la phase, la dépolarisation, en mode transmission et/ou réflexion.

### III.3. Concept de signature interne

Nous avons déjà évoqué dans le chapitre I, les premiers travaux de [Baetty 99] et [Charpentier 99] sur l'utilisation d'une signature interne par l'identification de produit bois en utilisant la technique non destructive micro-onde.

Le principe de ce concept, est que, tout produit bois est caractérisée par son essence, masse volumique (très liée à l'essence), son anisotropie (tangentielle, radiale, transversale et mixte) et sa composition chimique (cellulose, hemicellulose, lignine, extraits..). De plus, on trouve certaines caractéristiques de croissance ou de transformation qui donnent un caractère discriminant. Les plus utiles à l'identification sont les nœuds, les fentes, les poches de résine, des altérations biologiques et la pente du fil. En résumé, grâce à l'hétérogénéité du bois, chaque pièce présente des propriétés internes permettant son identification [Charpentier 03].

Ces caractéristiques, combinées les unes avec les autres, seront uniques et intrinsèques au produit bois, comme le code génétique l'est pour l'homme. Le principe est d'obtenir un signal, appelé ici, signature, par la technologie micro-onde, figure III.3. Cette approche peut être comparée aux solutions présentées dans les applications biométriques [Jain 00] et [Jin 01].



**Figure III.3.** Concept de signature interne

### III.3.1 Description du système et acquisition des signatures

L'acquisition d'une signature est obtenue grâce au banc d'essai présenté sur la figure III. 4. Le capteur micro-onde est composé d'une partie émettrice de fréquence 10 GHz, d'une puissance de 100 mW et une partie réceptrice composée de 16 récepteurs alignés, espacés de 1 cm. Deux cellules photoélectriques permettent la détection du produit et donc, le déclenchement de la mesure ainsi que la connaissance de la longueur de la pièce en couplant l'information issue d'un codeur. La résolution longitudinale de mesure est fixée à 5 mm. Lorsqu'un produit circule entre la partie émettrice et la partie réceptrice, une signature est acquise, digitalisée et traitée.

Les récepteurs sont des diodes sensibles aux fréquences micro-ondes, la tension aux bornes de ces diodes étant liée à la puissance du signal micro-onde qu'elle reçoit. La carte d'acquisition (RTI815, Analog Device) chargée de mesurer cette tension est une carte possédant 16 voies d'entrée analogiques, et un module de conversion analogique/numérique sur 12 bits. La plage des valeurs numériques constituant les signaux à traiter est  $[-2048 ; +2047]$ .

La répétabilité de la signature obtenue dans le système micro-onde de la figure III.6 a été testée par [Charpentier 03] en obtenant un coefficient de corrélation moyenne de 0.99, en passant 100 fois la planche sous le capteur. La figure III. 5 montre la comparaison entre la première acquisition d'une signature et trois répétitions pour une même avivé.

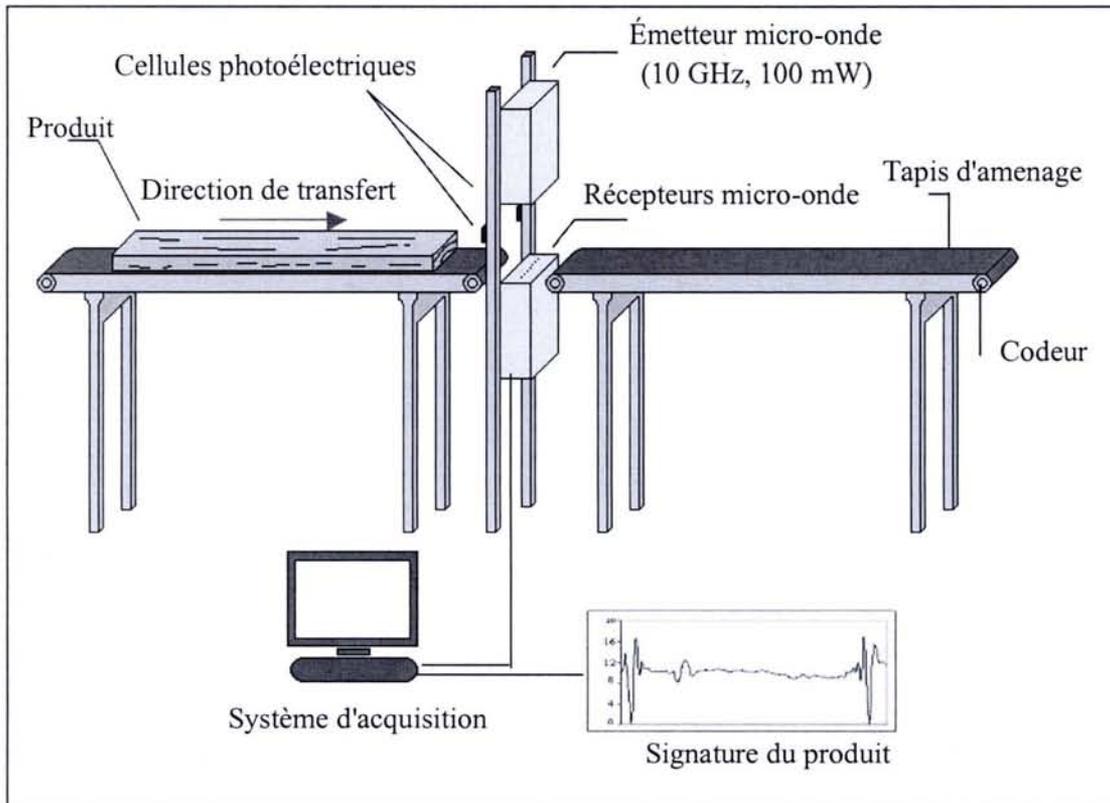


Figure III.4. Banc d'essai micro-onde

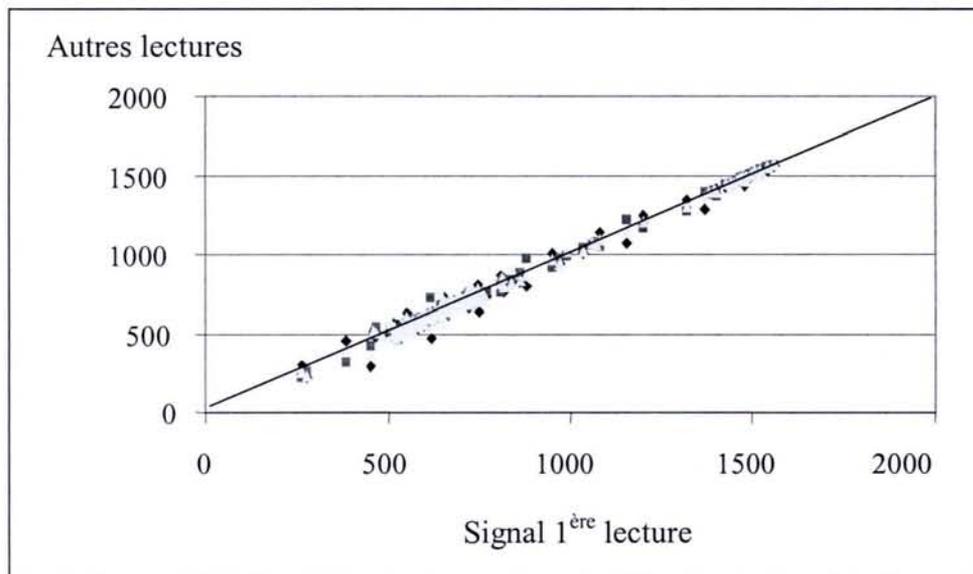
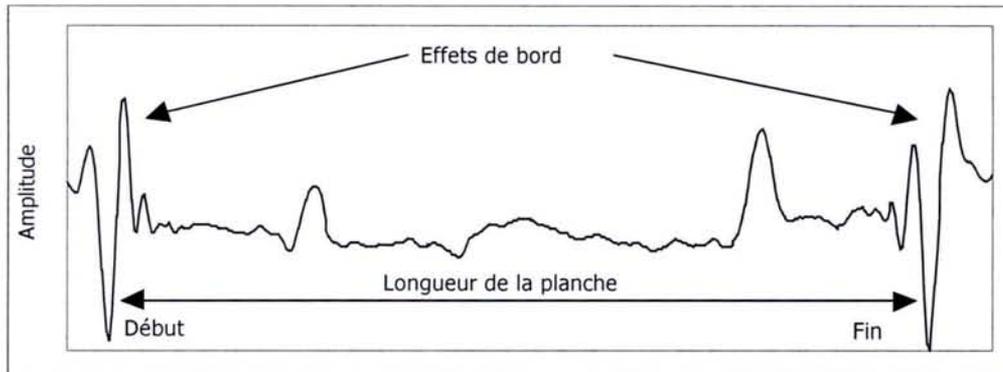


Figure III.5. Répétabilité des mesures micro-onde

La figure III.6 illustre une signature acquise par un des seize récepteurs sur un sciage. Le début et la fin du signal présentent des fluctuations d'amplitude importantes, ce sont les effets de bord dus aux transitions de milieux air-bois à l'entrée et bois-air en sortie de la planche sous le capteur.



**Figure III.6.** Exemple de signature sur un produit bois

### III.3.2 Analyses des facteurs influents pour l'utilisation de micro-onde

Nous avons mentionné que les capteurs micro-onde peuvent être utilisés pour de multiples applications. Pour une application d'identification, il est nécessaire de connaître et contrôler certains paramètres pour une meilleure performance du système. La figure III.7 présente le diagramme de cause - effet (ou diagramme d'Ishikawa) avec tous les facteurs influençant la signature, les causes étant regroupées par thème. Il faut préciser que les facteurs milieu et matière sont très liés dans le cas spécifique du bois. De plus, certains des facteurs mentionnés dans ce diagramme posent des problèmes pour le processus d'identification, d'autres sont très avantageux pour l'identification. Nous allons illustrer ceci en détaillant maintenant les facteurs influents.

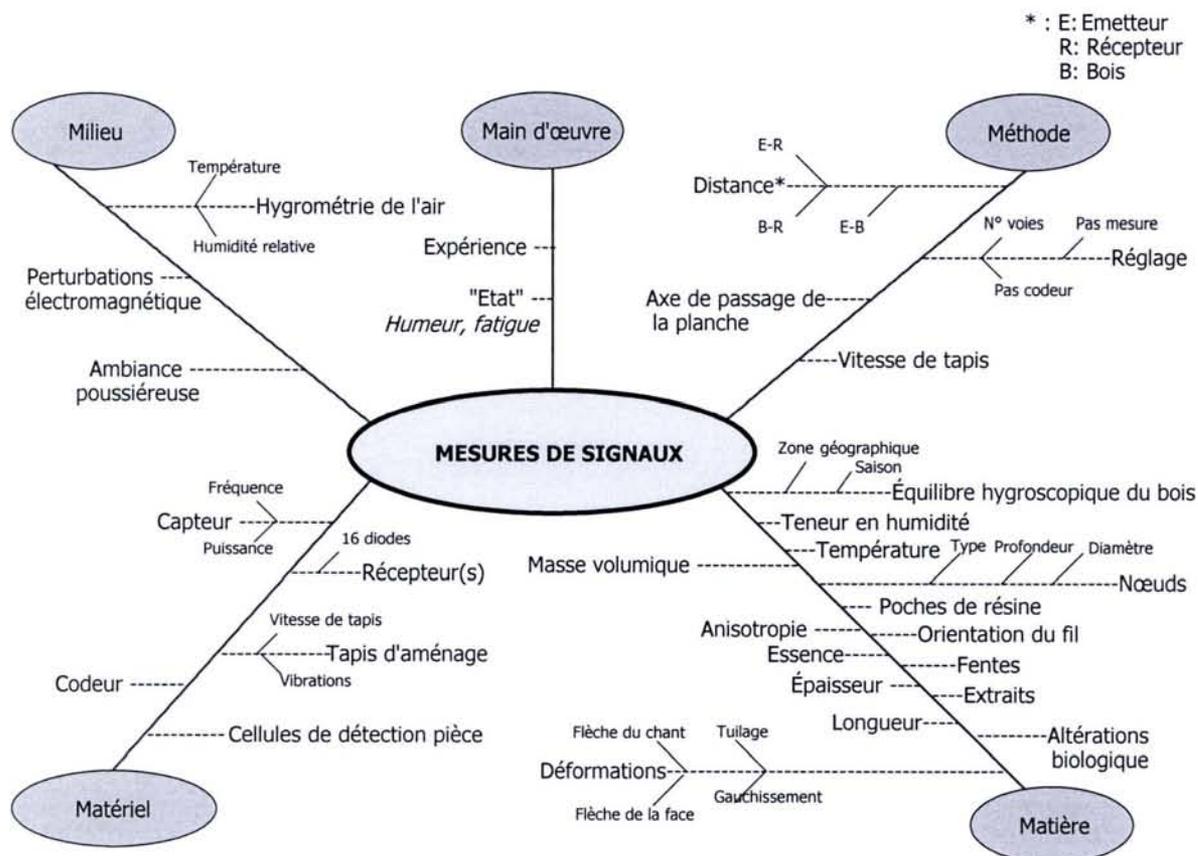


Figure III.7. Diagramme de cause -effet (diagramme d'Ishikawa)

### III.3.2.1 Le milieu

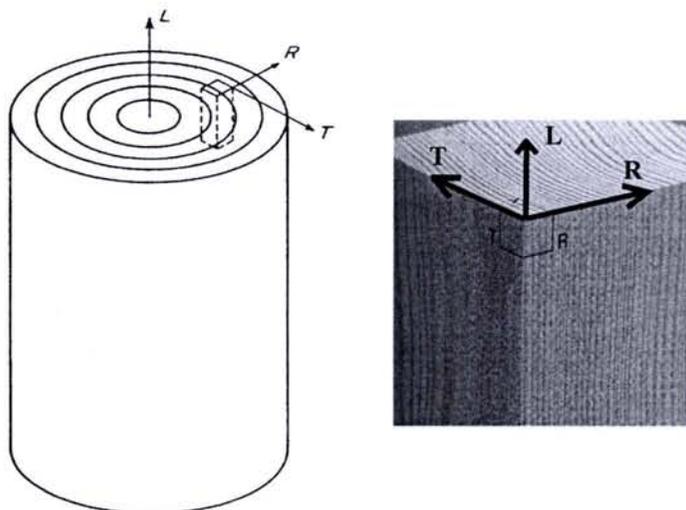
Les conditions hygrométriques du milieu de travail sont très liées avec les changements des propriétés hygroscopiques du bois, elles dépendent ainsi de la zone géographique considérée. Des conditions agressives de température et d'humidité relative peuvent modifier la teneur d'humidité et provoquer des déformations sur le produit, comme par exemple, des planches voilées.

### III.3.2.2 La matière

Le bois est un matériau biologique, donc hétérogène et variable. Cette variabilité provient de facteurs comme :

- la croissance de l'arbre (influencée par des conditions environnementales, du sol et de sylviculture) et la présence de bois de duramen et bois d'aubier, ces deux sont très liées à la densité du bois,
- la présence fréquente de singularités comme les nœuds, les poches de résine et la présence de pente de fil,
- le caractère orthotrope du bois qui est défini par ses trois directions principales : longitudinale, radiale et tangentielle (figure III.8). D'une façon générale, considère les directions radiale et tangentielle sont considérées comme perpendiculaires à la fibre et la direction longitudinale comme parallèle à la fibre,
- le caractère hygroscopique du bois, parce qu'il perd et absorbe de l'eau en fonction de la température et l'humidité relative de l'air.

Toutes ces caractéristiques intrinsèques que nous avons mentionnées confèrent au matériau bois un caractère complexe et unique.



**Figure III.8.** Les trois directions principales du bois (L : longitudinale, R : radiale et T : tangentielle)

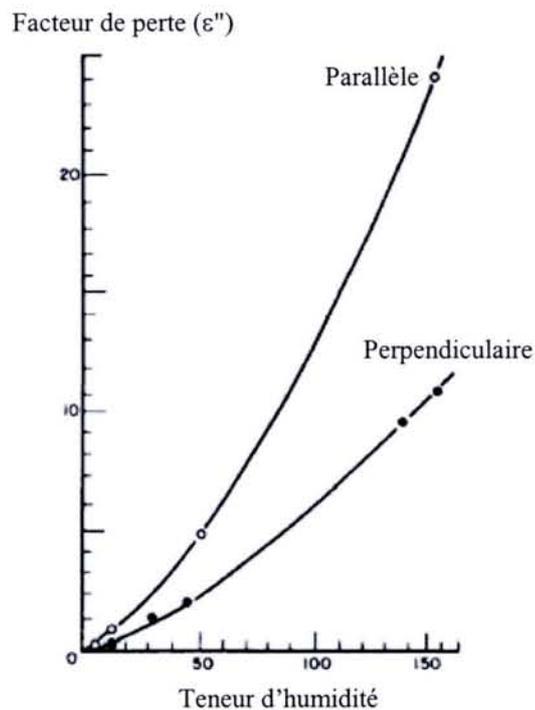
Nous décrirons ensuite comment ces facteurs influent sur les signatures micro-onde.

- Equilibre hygroscopique du bois

La température et l'humidité relative de l'air définissent la teneur d'humidité d'équilibre du bois. L'équilibre hygroscopique correspond à l'état où le bois est en équilibre avec l'environnement, c'est à dire, dans un état stable. Dans ce cas, il n'y aura pas de changement dimensionnel du produit, c'est lorsque l'humidité de l'air varie qu'il y a retrait ou gonflement du bois. Si les mesures micro-onde sont réalisées sous conditions homogènes, il n'y a pas d'influence sur le signal.

- Teneur d'humidité :

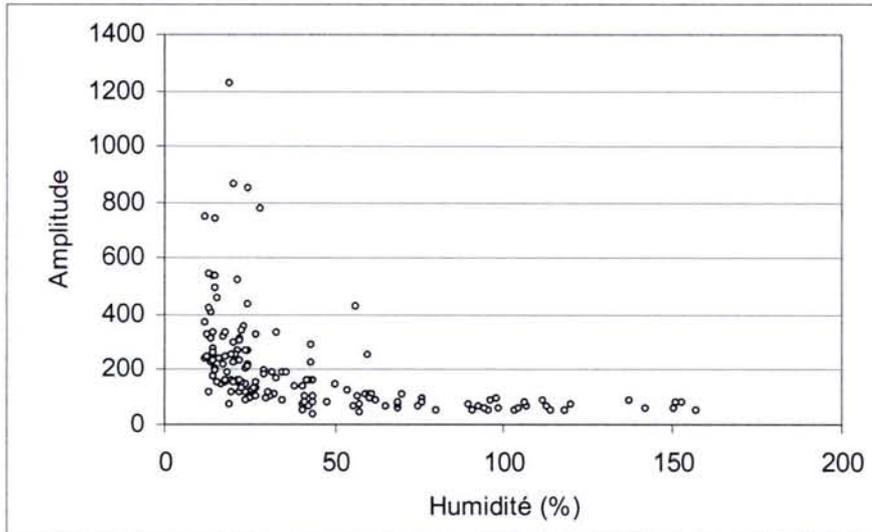
La teneur d'humidité correspond à l'eau qui est contenue dans le bois. L'effet de l'humidité sur les propriétés diélectriques pour le Douglas-fir est montré sur les figures III.9 [James et al 85]. Les courbes correspondent aux valeurs du facteur de perte et l'angle de perte dans le plan parallèle et perpendiculaire au grain, en fonction de la teneur d'humidité.



**Figure III.9.** Effet de la teneur d'humidité du bois sur les propriétés diélectriques [James 85].

[Deville et Rateau 01], dans leur étude des limites d'utilisation du capteur micro-onde pour l'identification de produits, constatent que, pour un séchage depuis l'état vert (environ 150 %) jusqu'à 15%, l'amplitude moyenne des signaux est très affectée par la présence d'eau dans le bois. Ils observent un comportement homogène depuis l'état vert jusqu'à 50%

d'humidité et puis au-delà de cette valeur, il y a une augmentation de l'amplitude moyenne qui commence à être plus importante depuis le point de saturation de la fibre (27%) vers l'humidité objectif de 15%, ceci est montré dans la figure III.10.

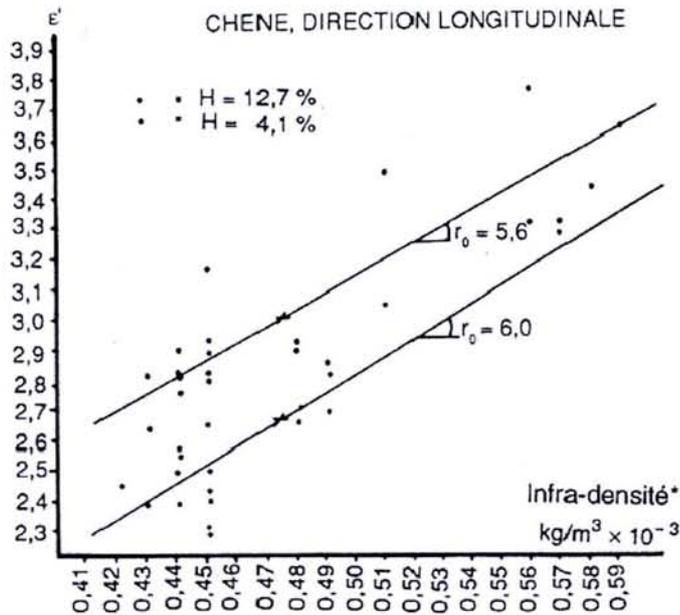


**Figure III. 10.** Amplitude moyenne des signaux en fonction de l'humidité

Conformément à la relation forte entre l'humidité et micro-ondes, Deveille et Rateau ont constaté que les signaux sont beaucoup plus atténués avec une humidité importante et donc moins représentatifs de la structure interne (nœuds, pente de fil,..). Par ailleurs, le capteur utilisé dans nos expérimentations fonctionnant en transmission (émetteur et récepteur à chaque côté de la pièce), les signaux rendent compte de la structure interne projetée sur le plan des récepteurs, les gradients d'humidité dans l'épaisseur de produit ne peuvent être perçus.

#### - Densité

[Collet 84] observe une augmentation de la constante diélectrique  $\epsilon'$  avec la densité (figure II 11). Dans [Martin 92], il est mentionné qu'aucune corrélation n'existe pour  $\text{tg}\delta$ , parce que ce paramètre mesure les pertes diélectriques dues spécialement à la présence d'eau, il est donc moins sensible aux variations de densité comparé à  $\epsilon'$ .

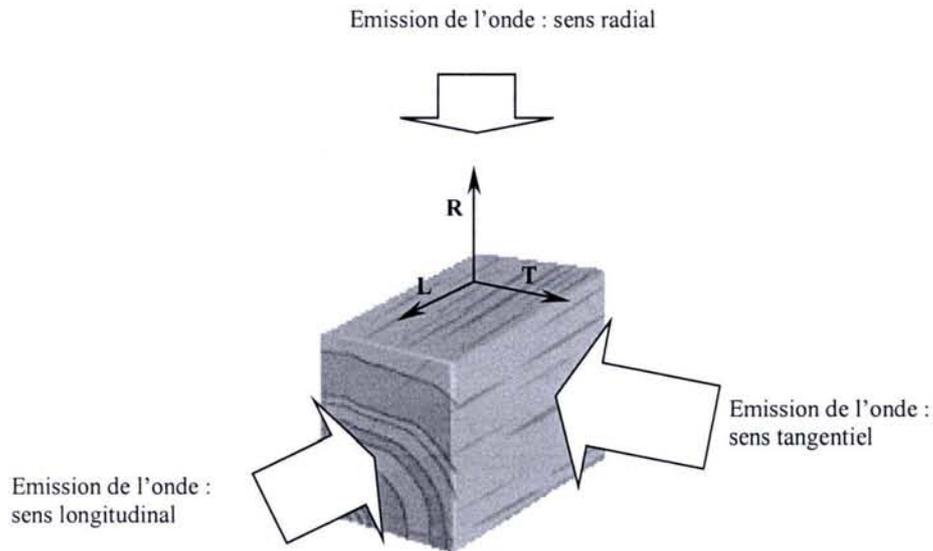


**Figure III.11.** Influence de la densité sur constante diélectrique  $\epsilon'$  [James 85].

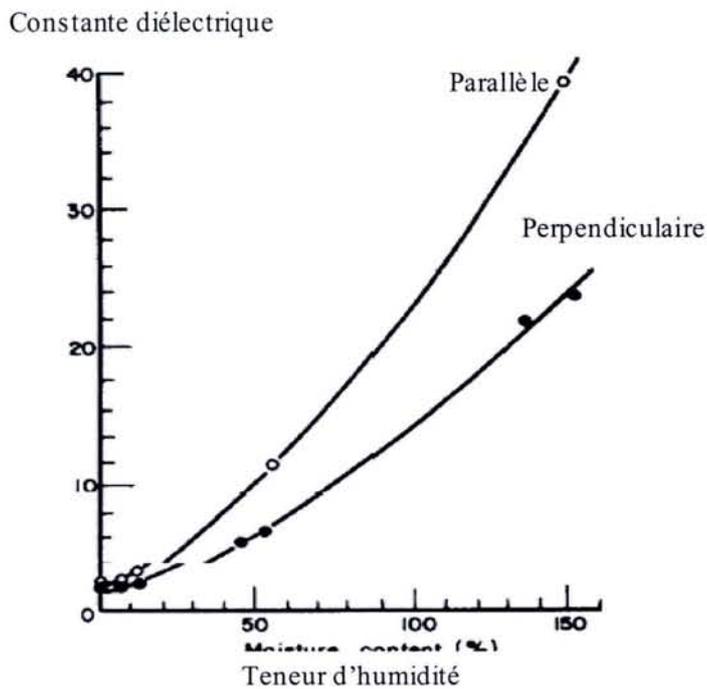
- Anisotropie

Lorsque le champ électrique se propage dans un plan transversal aux fibres, la valeur de la constante diélectrique est plus élevée dans une direction tangentielle que radiale, mais la différence dans ce cas est moins importante qu'entre les directions longitudinales et transversales. Lorsque l'humidité augmente ces différences sont plus marquées (figure II 12).

Dans [Martin 92], il est mentionné que l'anisotropie du bois est aussi une caractéristique qui influence la mesure micro-onde, particulièrement l'amplitude de l'onde. La constante diélectrique est plus grande ou plus faible selon que le champ électrique est parallèle ou perpendiculaire à la direction de fibre (figure III.13).



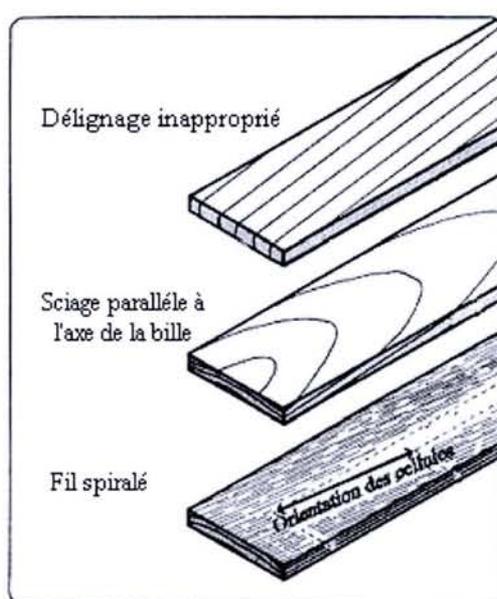
**Figure III.12.** Emission d'un signal micro-onde dans les trois plans d'anisotropie du bois (R : radial, T : tangential, L : longitudinal)



**Figure III.13.** Influence de la direction d'anisotropie sur les caractéristiques diélectriques [Martin 92].

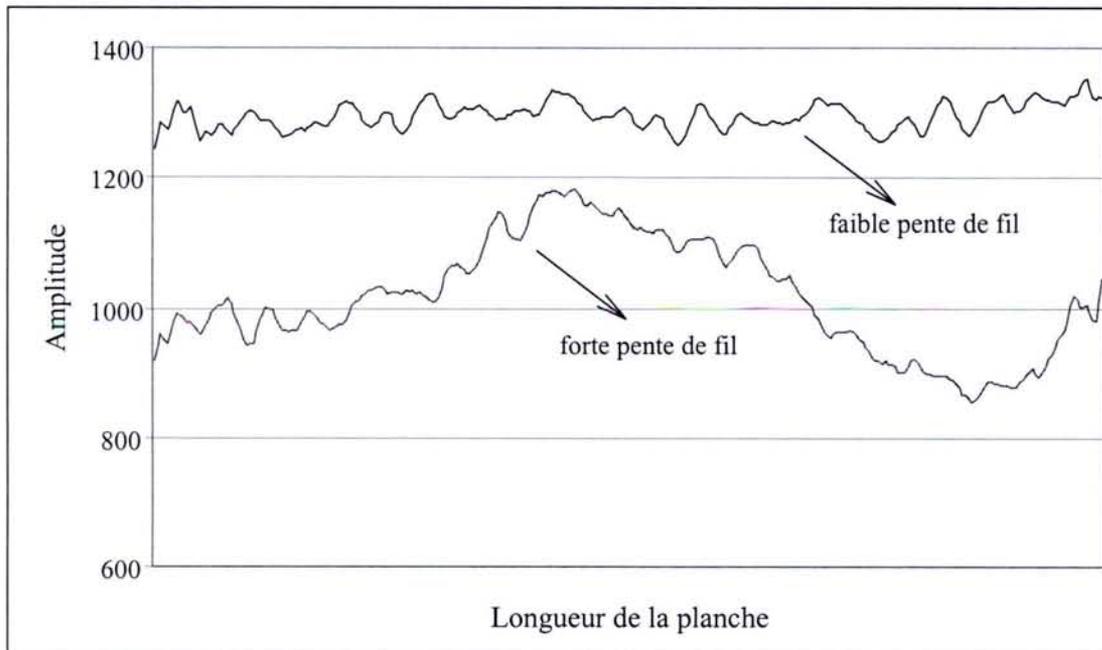
- Pente de fil

La pente de fil ou l'angle du fil du bois est un terme utilisé pour décrire la déviation des cellules longitudinales à partir d'une ligne parallèle au long du bord d'une pièce de bois. Elle est la résultante de deux angles : un angle géométrique qui est issu du plan de débit et de l'enveloppe des différentes limites de cerne dans la grume et un angle appelé biologique qui résulte du fait que, le long d'une génératrice de la grume, même si celle-ci est un tronc de cône parfait, l'angle de fil n'est jamais nul. Ce dernier est très influencé par la présence de nœuds, fil croisé et fil spiralé. Quelques causes de la déviation du fil sont schématisées dans la figure II 14.



**Figure III.14.** Quelques causes de la pente du fil (Haygreen et Bowyer 1989).

La pente de fil est très influente sur l'amplitude des signatures micro-onde, plus l'angle est élevé plus il sera perceptible dans la signature. Ceci est à cause des pertes d'énergie ou atténuations liées aux écarts des caractéristiques diélectriques parallèle ou perpendiculaire. La figure III.15, montre deux signaux issus de planches sans nœuds, l'une d'entre elles est très perturbée par la pente de fil.

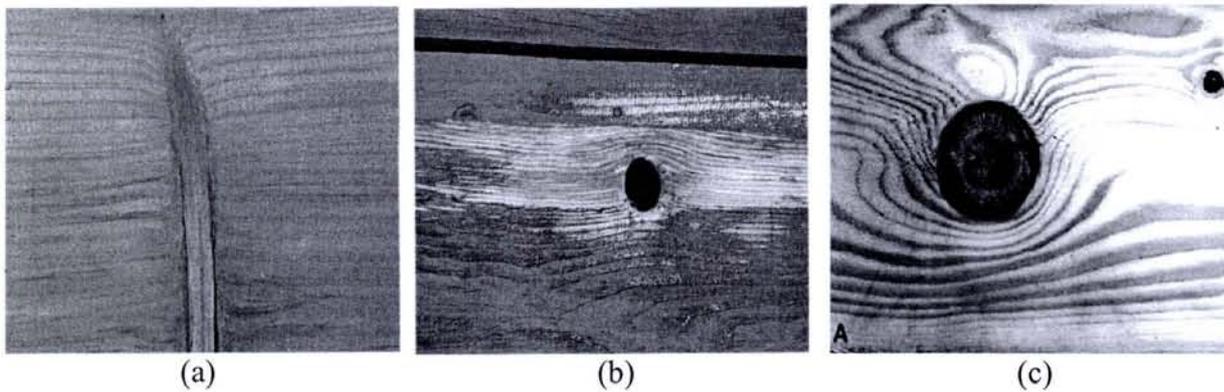


**Figure III.15.** Influence de la pente de fil sur le signal micro-onde

- Présence de nœuds

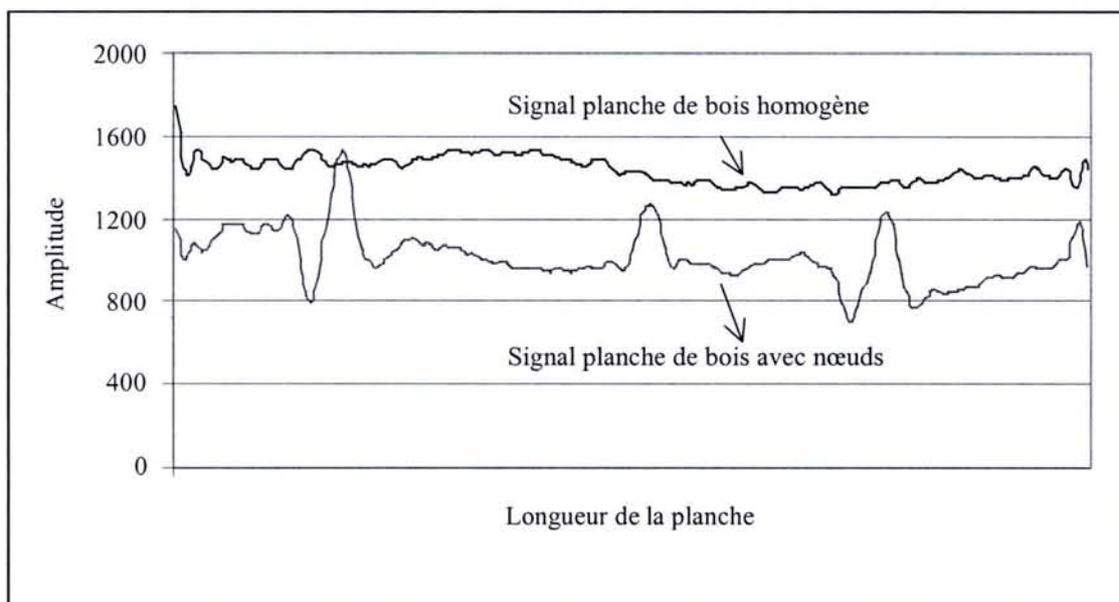
Un nœud est une partie d'une branche qui s'est incorporée dans le tronc d'un arbre. C'est une des singularités les plus fréquemment rencontrées dans le bois. La structure des cellules (fibres) dans les branches est très différente de celle du tronc et l'alignement des cellules longitudinales dans les branches forme un angle avec celles du tronc. C'est à dire, les fibres constituant un nœud sont plus ou moins perpendiculaires à l'axe longitudinal de l'arbre, en fonction de la croissance et l'essence.

Un nœud provoque l'interruption de la continuité et le changement de la direction des fibres, figure III.16 . En général, chaque nœud a ses propres caractéristiques comme : sa position, sa taille, sa fermeté (nœud sain ou pourri), la pente de fil qui l'entoure et sa forme. De plus, la forme d'un nœud sur une surface sciée dépend de la direction de la branche par rapport à la coupe, ainsi on peut trouver, des nœuds presque ronds, ovales ou "pointus". Ainsi, les orientations de fil seront soit perpendiculaires soit obliques.

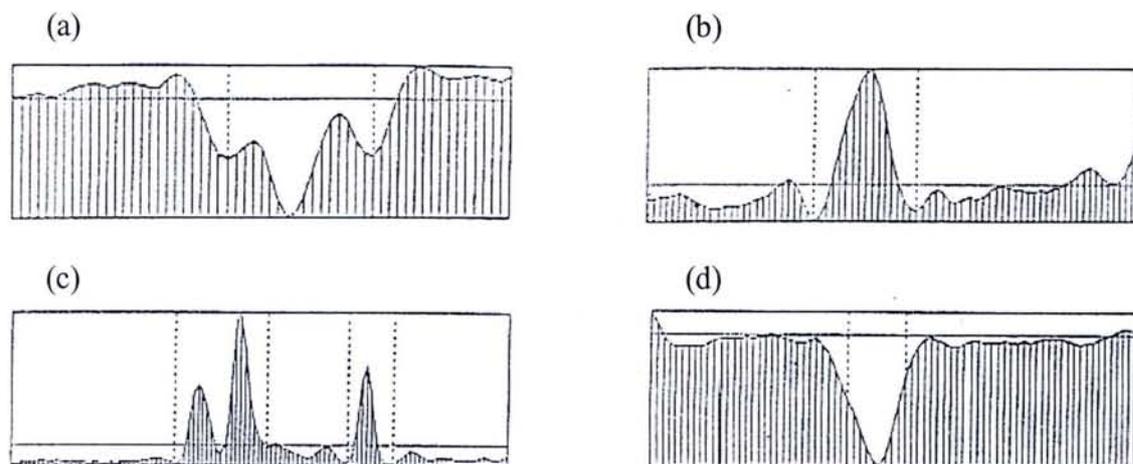


**Figure III.16.** Différents types de nœuds avec forte ou faible déviation de la fibre (a) nœud adhérent, (b) nœud non adhérent et (c) nœud avec forte déviation de fil

Ces caractéristiques se traduisent par des perturbations sur les signaux micro-onde. A l'inverse, une zone de bois sans nœud présentera un signal relativement homogène, les variations sur le signal seront alors inhérentes aux variations de pente de fil ou de densité (figure III.17). [Lambert *et al* 89] présente les signaux obtenus par micro-onde sur divers types de nœuds (figure II 18).



**Figure III.17.** Signaux provenant d'une planche sans nœuds et avec nœuds.



**Figure III.18.** Signaux représentatifs de divers types de nœuds (a) motif formé par une amorce de branche et un nœud, (b) motif caractéristique d'un nœud, (c) motif formé par trois nœuds dont deux sont très proches et (d) motif obtenu en bordure d'un nœud.

Un nœud est une caractéristique prépondérante pour l'identification. [Million 95] a étudié l'applicabilité de la technique de micro-onde pour différencier les divers types de nœuds. Il a cherché une relation entre le diamètre d'un nœud perçu par le capteur micro-onde et celui mesuré visuellement. Une correspondance entre différentes caractéristiques géométriques et statistiques de la signature pour chaque nœud a été réalisée, la hauteur du pic, l'écart entre deux minimums entre autres. Millon tire de son analyse que l'influence de chaque paramètre sur la mesure visuelle du nœud est très variable. Aucun modèle de prédiction n'a pu être mis en œuvre à cause des nombreux facteurs influant sur le signal comme la pente du fil, densité, humidité, poches de résine, etc..

Dans une même essence, la présence de nœuds influent sur la densité du bois et la pente de fil (déviation de la fibre) autour du nœud, cause des pertes d'énergie lorsque les ondes arrivent sur le bois. Il est logique d'attendre une différenciation entre bois sans et avec nœuds. La figure III.19 montre deux signaux où la présence de la pente de fil est très visible pour une planche avec nœuds et une autre sans nœuds. Par conséquent, la pente de fil causée par la présence des nœuds causent des variations importantes sur la moyenne et l'écart-type des signaux. Statistiquement nous avons fait une comparaison de ces paramètres sur 81 planches du bois séparées en deux groupes : avec nœuds et sans nœuds. Nous avons réalisé à travers un test du rang multiple avec la méthode de Bonferroni 95%. Selon cette analyse la moyenne et l'écart-type des signaux qui provient des deux groupes sont statistiquement différents à 95% de limite de confiance (figure III.20 et figure III.21).

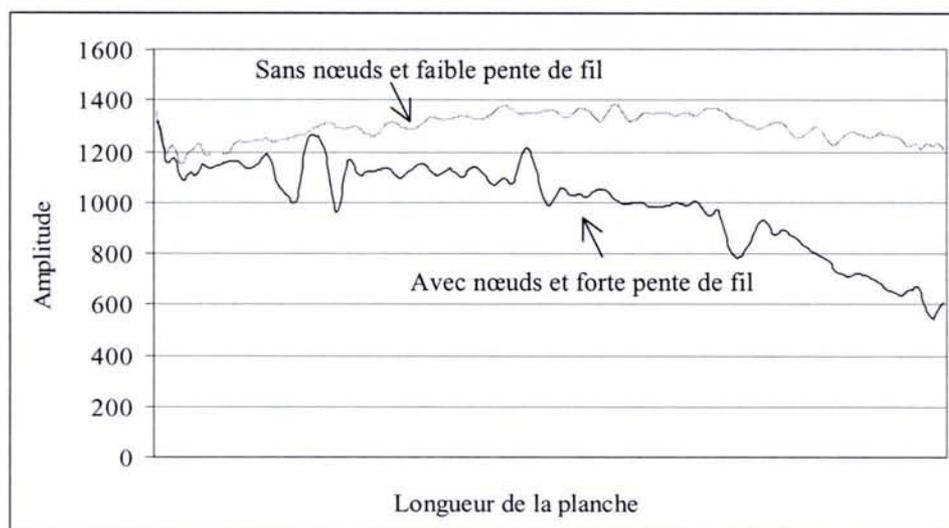


Figure III.19. Comparaisons de signaux avec présence de pente du fil

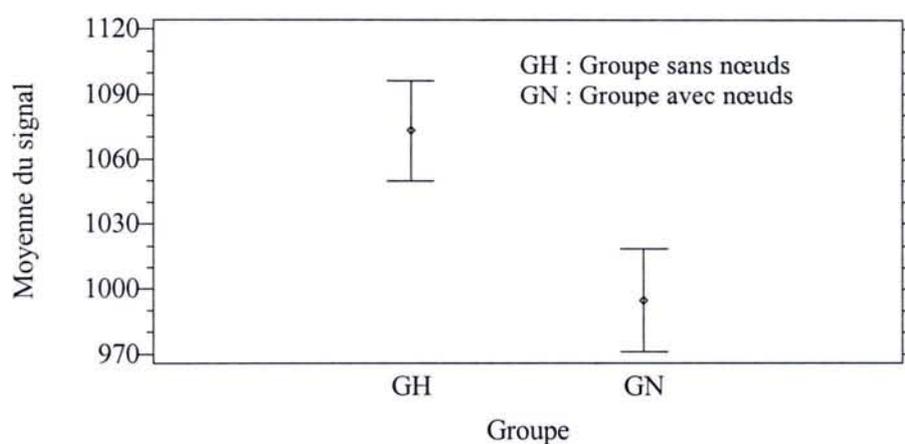


Figure III.20. Graphique de moyenne pour la moyenne des signaux (test Bonferroni 95%)

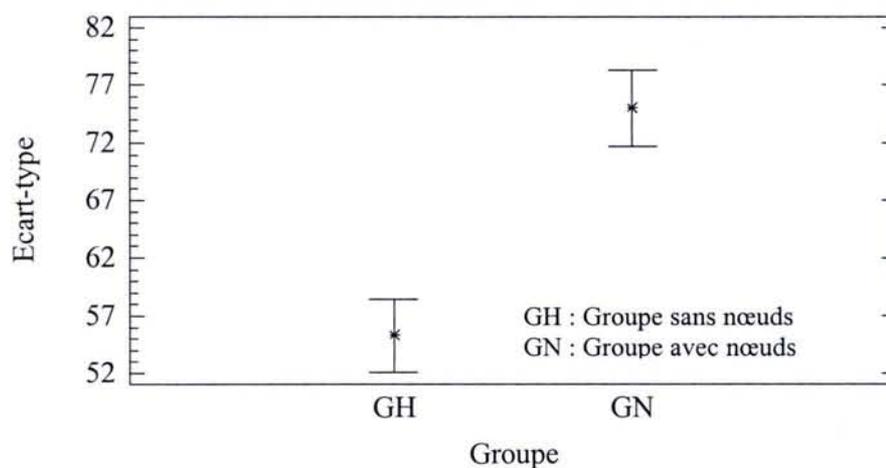
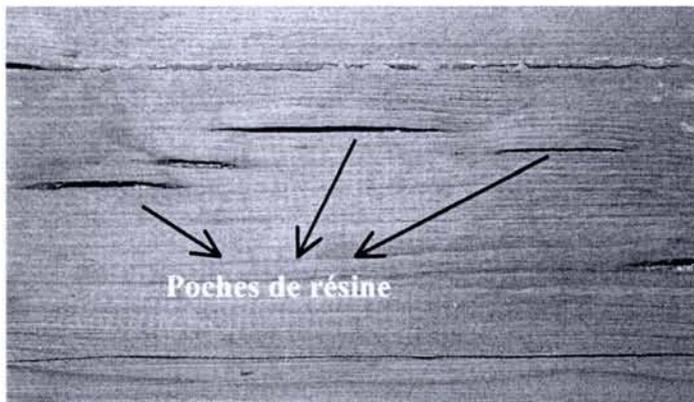


Figure III.21. Graphique de moyenne pour l'écart type des signaux (test Bonferroni 95%)

Dans un processus d'identification cette différenciation peut être très importante parce qu'on peut réaliser un tri des signaux par moyenne et réduire le nombre des comparaisons.

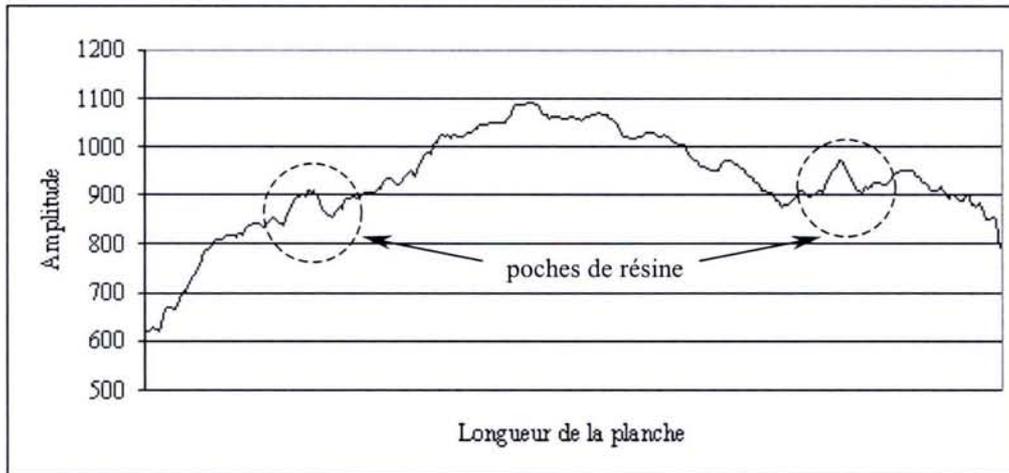
- Présence de poches de résine

Une poche de résine est définie comme une ouverture qui contient de la résine libre. En général, les poches de résine se prolongent parallèlement aux cernes annuels (figure II 22 ) et elles sont présentes dans quelques essences résineuses comme le pin sylvestre et l'épicéa.



**Figure III.22.** Poches de résine

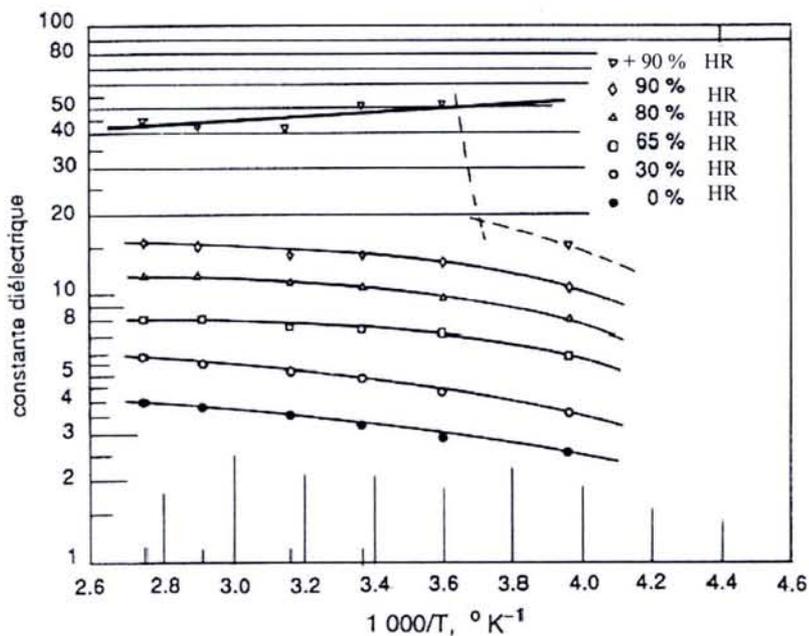
La signature micro-onde est moins affectée par les poches de résine que par la présence des nœuds. Dans ce cas, il n'y a pas de changement d'orientation de la fibre. Si la taille de la poche est grande, elle sera visible dans la signature de façon similaire aux nœuds. L'effet sur la signature provient de la consistance de la résine (autre type de matière) qui remplit la poche, laquelle peut être semblable à une fissure ou un trou. Parfois, les poches de résines sont liées aux nœuds et leur effet ne peut pas être séparé. La figure III.23 montre des poches de résine visibles sur la signature.



**Figure III.23.** Signature micro-onde pour une poche de résine

- Température

Ce paramètre n'est pas inhérent au matériau, parce que, dans la plupart des cas le matériau est à température ambiante. Cependant, si la mesure micro-onde se fait lorsque le produit est à une température différente de la température nominale, cette condition affecte la mesure micro-onde. Ceci a été constaté par [James 77] qui observe une légère croissance de la constante diélectrique  $\epsilon'$  avec la température. La figure II 24 montre cette influence à différents humidités relatives (HR) pour le Douglas fir à 10 kHz.



**Figure III.24.** Influence de la température sur la constante diélectrique  $\epsilon'$  [James 77]

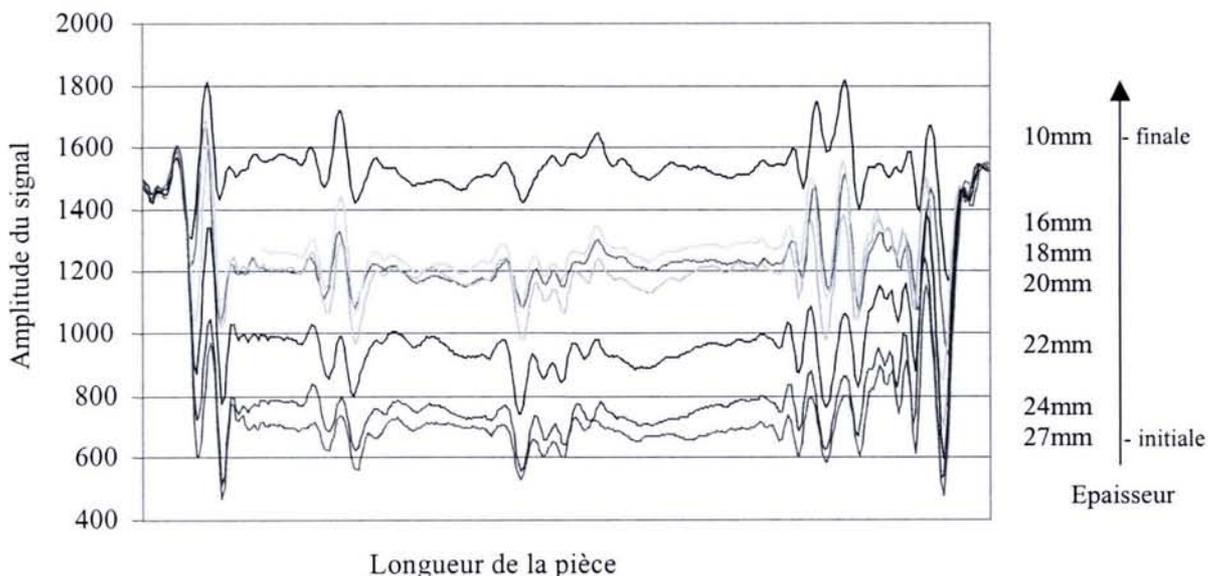
### III.3.3 Influence des processus de transformation sur la signature et l'identification

Le processus de transformation du bois amène des changements morphodimensionnels sur le produit, dont certains très importants. De ce fait chaque changement génère une nouvelle signature plus ou moins semblable de celle d'avant transformation. C'est une forte contrainte à prendre en compte pour l'identification. Voici les transformations déjà étudiées :

#### - Influence du rabotage

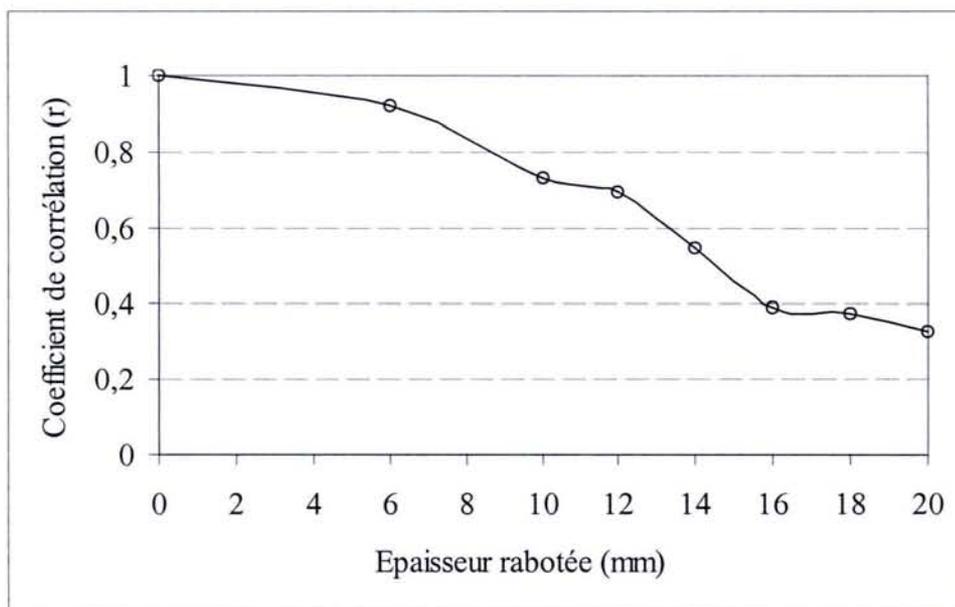
La modification de l'épaisseur par rabotage influence le niveau de reconnaissance des pièces. Le rabotage engendre une perte de matière, donc, une modification des signaux, d'autant plus forte que la profondeur de rabotage est importante. Deux facteurs interviennent : la modification d'épaisseur, et avec elle le changement de la pente de fil.

Dans la figure III.25 sont présentés les essais réalisés par [Charpentier 03]. Une planche a été rabotée plusieurs fois avec une passe de 2 mm (épaisseur initiale de 27 mm jusqu'à 10 mm). Après chaque passe, une mesure micro-onde a été effectuée. Nous constatons que l'amplitude du signal augmente sans modifier la forme du signal, évidemment de 27 mm à 18 mm nous pouvons assurer que nous sommes en face d'une même planche, au-delà, la possibilité de la reconnaître est plus difficile, surtout si les défauts sont éliminés pendant le rabotage.



**Figure III.25.** Effet du rabotage sur la même voie micro-onde.

[Deville et Rateau 01] utilisent le calcul du coefficient de corrélation,  $r$ , pour mesurer la ressemblance des signaux issus de planches rabotées. Ils comparent la signature micro-onde initiale avec la signature obtenue après chaque passe de rabotage. Ils concluent que la reconnaissance des planches est possible quand l'épaisseur rabotée est inférieure à 20 mm, figure III.26.



**Figure III.26.** Coefficient de corrélation pour la comparaison des signaux avec rabotage

Pour montrer plus en détail ce qui se passe avec la signature dans les étapes successives du rabotage, nous avons pris les données de [Deville et Rateau 01] et quantifié la ressemblance en calculant le coefficient de corrélation ( $r$ ) entre les signaux. Ces résultats sont montrés dans le tableau III.1. Il apparaît ainsi qu'entre les épaisseurs initiale et finale le coefficient de corrélation est le plus faible, mais d'une épaisseur à la suivante  $r$  est élevé. Ceci signifie qu'un produit raboté, issu de l'équivalent d'une seule passe de 2 mm, pourra être identifié. Dans le cas d'enlèvement de matière de 12 mm, cas peu fréquent en industrie, nous pourrions tout de même espérer identifier la pièce mais avec un risque d'erreur plus élevé que dans le cas précédent.

**Tableau III.1 :** Coefficient de corrélation pour une planche rabotée depuis une épaisseur de 32 mm jusqu'à 20 mm.

Epaisseur finale	Epaisseur initiale (mm)			
	32	24	22	20
32	1.000			
24	0.916	1.000		
22	0.867	0.895	1.000	
20	0.798	0.837	0.938	1.000

- Retournement de pièces

Le changement d'orientation des pièces dans le flux que l'on peut qualifier de retournement a une influence sur la mesure. Par la suite, c'est à cette transformation que sera appliqué notre algorithme d'identification. Néanmoins, nous présentons, ici, la comparaison de planches avant et après retournement avec le critère simple que constitue le coefficient de corrélation, tableau III.2

**Tableau III.2 :** Coefficient de corrélation de deux planches P69 et P80 pour le cas de retournement ( $P_i-V_{0i}$  : nombre de la planche - mesure du voie i)

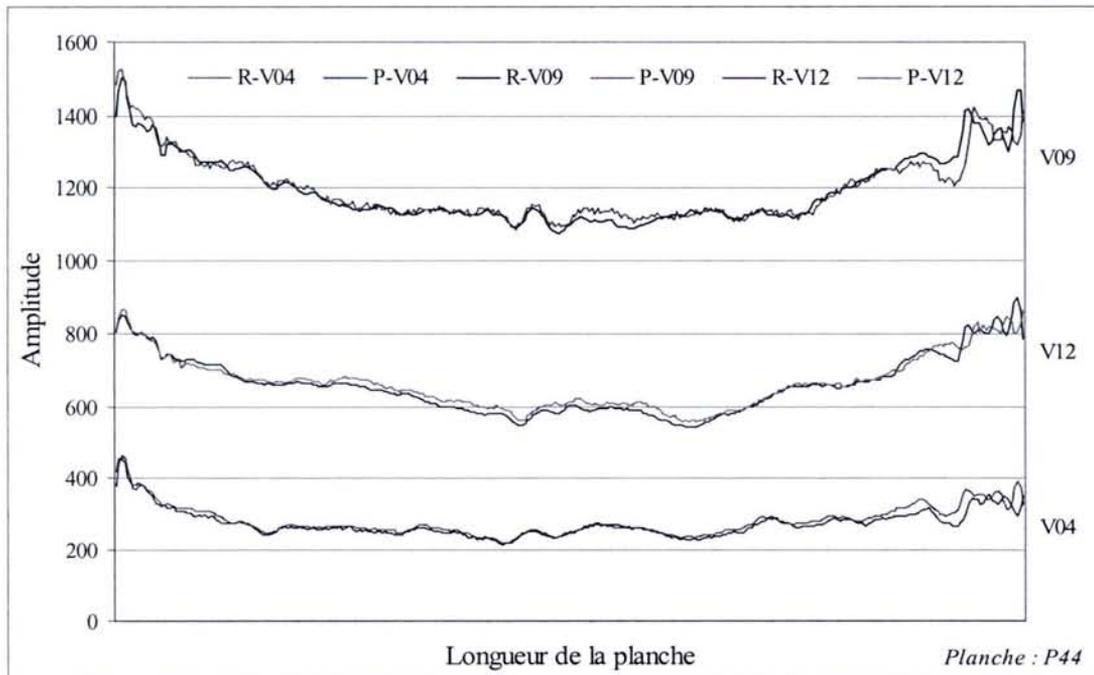
Orientation de retournement	Orientation - P69-V07				Orientation - P80-V09			
	A	B	C	D	A	B	C	D
A	1				1			
B	0.83	1			0.43	1		
C	0.67	0.81	1		0.52	0.82	1	
D	0.81	0.70	0.65	1	0.64	0.47	0.53	1

- Traitement de finition

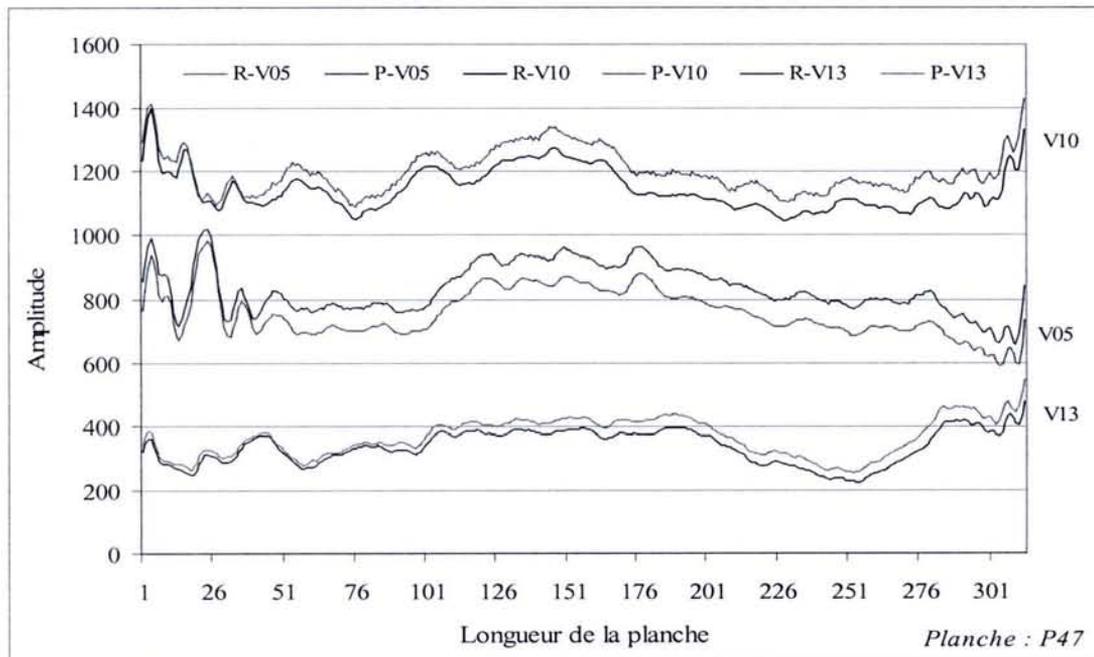
Nous avons voulu connaître le comportement d'un signal micro-onde quand une planche de bois est soumise à un traitement de finition, ce qui correspond à un secteur d'activité particulier pour les industries du bois. 10 planches de *Pinus sylvestris* ont été utilisées, elles possédaient une masse volumique de 430-550 kg/m<sup>3</sup> et une teneur d'humidité entre 8 et 10%. Chaque planche a été rabotée pour obtenir une qualité de surface en accord avec le traitement de finition appliqué. Les planches ont été peintes avec une peinture du type acrylique XP610 - Primaire Hydro Blanc.

Une première acquisition des signaux micro-onde est effectuée sur la planche rabotée et une seconde acquisition après l'application de la peinture. Dans la figure III.27 nous voyons une ressemblance très forte entre les signaux avant et après finition pour une planche, P44, trois voies d'analyse. La figure III.28 présente pour une autre planche, P47, toujours sur trois

voies d'analyse, les courbes obtenues avant et après finition. Ici, nous pouvons remarquer une variation d'amplitude seulement sans modification de la forme du signal.



**Figure III.27.** Signaux micro-onde provenant de trois voies pour l'état raboté et peint d'une même planche (R-V<sub>0i</sub> : planche rabotée – mesure voie i, P-V<sub>0i</sub> : planche peinte-mesure voie i)



**Figure III.28.** Signaux micro-onde provenant de trois voies pour l'état raboté et peint d'une même planche (R-V<sub>0i</sub> : planche rabotée – mesure voie i, P-V<sub>0i</sub> : planche peinte-mesure voie i)

La ressemblance a été mesurée grâce au coefficient de corrélation ( $r$ ). Le tableau III.3 montre pour trois planches le coefficient  $r$  obtenu suite à la comparaison des signaux sans finition et avec finition sous les conditions :

- délai entre la première acquisition et la seconde acquisition : 4 heures,
- produit de finition sec,
- nombre de voies utilisés : 7.

On constate que tous les coefficients de corrélation sont supérieurs à 0,85. Les signaux étant fortement ressemblants, le processus d'identification ne devrait pas être affecté par l'application des peintures.

**Tableau III.3 :** Coefficient de corrélation ( $r$ ) obtenu de la comparaison des signaux sans et avec traitement de finition sur 8 voies.

	V05	V06	V07	V08	V09	V10	V11	V12
P01	0,95	0,93	0,98	0,95	0,88	0,81	0,90	0,98
P02	0,98	0,93	0,98	0,99	0,96	0,95	0,95	0,98
P03	0,94	0,95	0,98	0,98	0,92	0,95	0,95	0,97

( $P_i$  et  $V_i$  sont les désignations pour les planches et les récepteurs respectivement)

Nous avons analysé les principaux facteurs influants sur la signature. Quelques-uns sont contrôlables ou seront plus ou moins stables dans l'environnement de travail.

En revanche, les facteurs influants liés au processus de transformation des produits tels que la diminution d'épaisseur, devront être intégrés dans l'identification. En effet, si la signature est fortement modifiée soit une nouvelle référence doit être créée soit une modélisation de la nouvelle signature doit être trouvée.

A travers les illustrations que nous venons de donner, il est bien souvent évident à l'œil nu de constater la ressemblance entre signaux. Pour automatiser le processus d'identification, il s'agit maintenant de définir un algorithme de reconnaissance de formes performant.

### **III.4. La reconnaissance de formes**

Avant la mise en œuvre d'une méthode de reconnaissance de forme nous avons utilisé le coefficient de corrélation comme indicateur de ressemblance entre deux signaux.

Les résultats indiquent que le coefficient de corrélation est un bon outil dans la majorité des situations en indiquant la similarité des signaux quand celles-ci proviennent bien de la même planche et la non-similarité des planches différentes. Dans les cas difficiles de reconnaissance, il a été constaté que la déviation de la pente de fil du bois est un paramètre qui influence fortement sur le coefficient de corrélation des signaux qui proviennent de la même planche. En revanche, la présence de singularités comme les nœuds permet d'avoir moins d'erreurs pour la reconnaissance, la direction des fibres à l'intérieur du nœud étant perpendiculaire à l'axe longitudinal des bois, quel que soit son sens d'introduction sous le capteur.

Nous pouvons ajouter aussi que le coefficient de corrélation est très similaire quand on compare des planches homogènes, dans ce cas la décision présente beaucoup d'incertitude. Parfois, des signatures très semblables à l'œil ont donné un coefficient très bas. Vis à vis de la variabilité de résultats, nous n'avons pas été capables de fixer une valeur fiable du coefficient de corrélation qui montre la similarité ou non-similarité entre signaux. Il a donc été nécessaire de faire appel aux méthodes du domaine de la reconnaissance de forme.

En effet, l'identification grâce à une signature de caractéristiques d'un individu ou d'un objet est un problème classique de reconnaissance de formes [Jin 01], [Simon 97], [Parker 02]. Le processus d'identification exploite la fonction bijective entre les valeurs des attributs et des identités des objets. Ceci est fait via la comparaison des valeurs des attributs des objets d'identité connue avec les valeurs des attributs des objets d'identité inconnue.

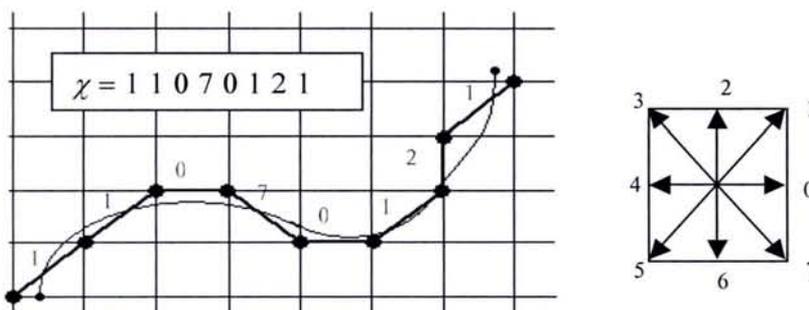
La reconnaissance de formes est définie selon Dubuisson comme "une science de définition de méthodes permettant de classer des objets, dont l'aspect a varié par rapport à un objet type. Il s'agit de définir à quelle forme type une forme observée ressemble le plus" [Dubuisson 90].

La notion de formes concerne une entité concrète ou abstraite, appréhendée par des sens, des capteurs ou fournie par un raisonnement. Dans cette thèse, nous considérons une forme sous une représentation vectorielle, c'est-à-dire comme un point dans un espace de représentation multidimensionnel. Chacune des dimensions de cet espace porte un caractère ou attribut particulier de la forme.

Selon [Simon 96], la reconnaissance de formes automatique doit passer par la perception du monde physique continu sous une forme numérique discrète afin d'imiter le raisonnement humain et de déterminer naturellement les symboles les plus adaptés pour caractériser ces formes. L'objectif est de nommer ce qui est perçu par rapport à ce qui est connu.

La reconnaissance de formes se divise en deux familles de méthodes qui sont : la reconnaissance structurelle [Miclet 84] et la reconnaissance globale [Postaire 87] ou vectorielle [Heutte 94], chacune de ces familles est liée à la nature de la représentation de formes.

Les méthodes structurelles exploitent la structure des objets connus et à reconnaître. Ces méthodes se basent sur des outils adaptés à la représentation de structures comme les graphes, les arbres ou les structures de chaînes. Cette dernière a été utilisée par [Komarczuk 99] pour l'identification des produits bois en utilisant la signature interne, via le codage de Freeman, la signature est représentée par un code (figure III.29). La comparaison est faite en utilisant l'algorithme de Wagner et Fisher [Miclet 84]. Komarczuk obtient dans son étude des résultats d'identification acceptables (95%), cependant il prend comme hypothèse de base une installation industrielle où les planches ne peuvent pas tomber de la chaîne ni être retournées, situation peu probable dans des conditions réelles de production dans l'industrie du bois.



**Figure III. 29.** Codage de Fremman appliqué aux signatures micro-ondes

Les méthodes globales exploitent les caractéristiques ou attributs pris sur les formes. Ces méthodes utilisent une représentation vectorielle qui place la forme comme un point dans un espace de représentation. Ces attributs peuvent être obtenus grâce : à la transformée de Fourier, à des descripteurs statistiques, des moments, etc..

Après avoir placé ces caractéristiques sur un espace, il faut évaluer la ressemblance. Cette problématique de reconnaissance peut être abordée selon une approche statistique à travers la

fonction de densité de probabilité ou une approche géométrique, à travers la notion de distance. C'est cette seconde approche qui a été utilisée dans cette thèse. Les distances séparant les observations des individus semblables sont normalement plus petites que celles séparant les observations des individus différents. L'approche géométrique consiste donc en la définition de paramètres de réglages comme des seuils [Sabourin 94] ou des pondérations, appliqués aux distances pour réaliser la classification.

### **III.4.1 Processus d'identification**

Le problème d'identification d'individus est différent du problème de la classification. Le problème de la classification est une des applications classiques de la reconnaissance de formes et constitue un cas spécifique du problème d'identification.

Dans l'identification, le nombre de classes est égal au nombre d'individus susceptibles d'être identifié : chaque individu constitue en lui-même une classe. Donc, si le nombre d'individus  $n$  n'est pas connu, on peut supposer que le nombre de classes est illimité.

Un problème de classification peut se situer dans deux cas :

- avoir une complète connaissance de la distribution statistique de l'observation  $x$  et de la classe  $\theta$ ,
- n'avoir aucune connaissance ou une connaissance partielle issue des échantillons.

Dans le premier cas, une analyse standard de Bayes donnera une procédure de décision optimale et une probabilité d'erreur minimum de classification. En l'autre cas, une décision pour classer  $x$  dans la classe  $\theta$  est permise seulement sur une collection de  $n$  échantillons correctement classés  $(x_1, \theta_1), (x_1, \theta_2), \dots, (x_n, \theta_n)$  et la procédure de décision n'est pas très claire. Ce type de problème se trouve dans le domaine de la statistique non paramétrique et il n'existe pas une procédure de classification optimale par rapport à la statistique fondamentale.

Généralement, les problèmes de classification sont résolus par la discrimination linéaire ou analyse discriminante (AD). Les méthodes de discrimination s'appliquent à des observations multidimensionnelles réparties en plusieurs groupes (ou sous-populations) définis a priori avec deux objectifs: étudier si les variables permettent de distinguer les groupes et fournir des règles de classement pour prédire l'appartenance des observations aux groupes [Confais 00].

Dans notre cas, nous possédons une signature par produit, chaque signature est un prototype unique de la classe d'identité. Ceci peut être perçu dans un contexte de

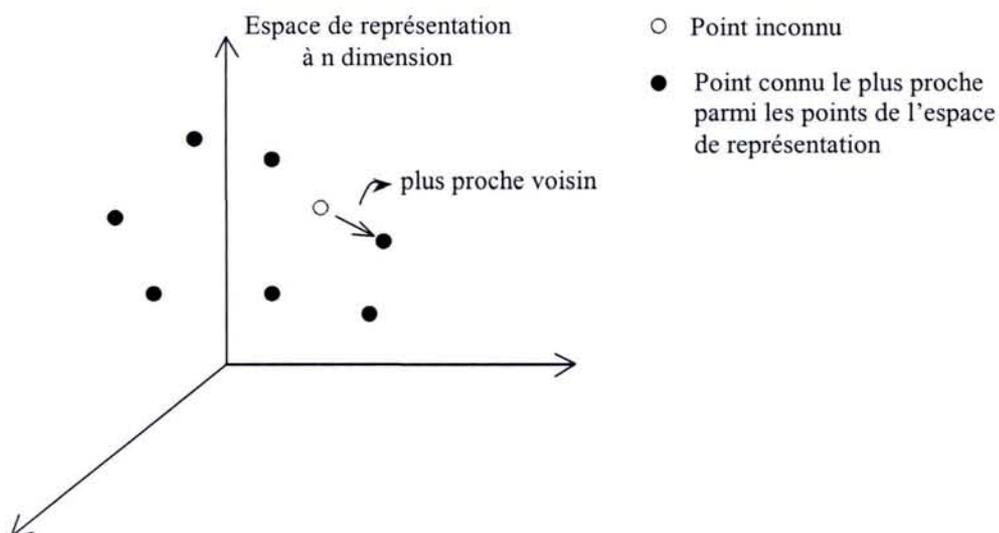
discrimination des  $k$  plus proches voisins (  $k$  nearest neighbor). Nous montrons ensuite une description de cette méthode.

### III.4.2 Méthode de $k$ plus proches voisins

Dans la théorie de la décision, la méthode des  $k$  plus proches voisins correspond au cas où il n'existerait aucune hypothèse de loi précise sur l'ensemble des observations. Il s'agit donc d'estimer la densité de probabilité à l'aide de méthodes non paramétriques.

Le principe d'estimation relève d'une hypothèse simple. Si l'on admet qu'une fonction de densité de probabilité ne présente pas de variations importantes à l'intérieur d'un domaine limité de l'espace de représentation, alors on peut considérer que la valeur de la fonction de densité, en tout point de ce domaine, est la valeur moyenne de la fonction de densité sur ce domaine [Dubuisson 90].

Il est raisonnable d'assumer que les observations qui sont proches auront la même classification ou, du moins, elles auront presque les mêmes distributions de probabilité après leur classification. La procédure la plus simple de décision non paramétrique est probablement la règle du plus proche voisin (nearest neighbor), laquelle classifie  $x$  dans une classe de leurs plus proches voisins dans l'espace de représentation défini par ses caractéristiques (figure III.30).



**Figure III.30.** Espace de représentation pour le plus proche voisin

La première formulation de la règle du type proche voisin été faite par Hodges et Fix en 1954. Ils ont défini une règle du  $k_n$ -plus proche voisin ( $k_n$ -nearest neighbor rule) avec laquelle, on assigne à un point non classifié la classe la plus fortement représentée parmi ses  $k_n$ -plus proches voisins.

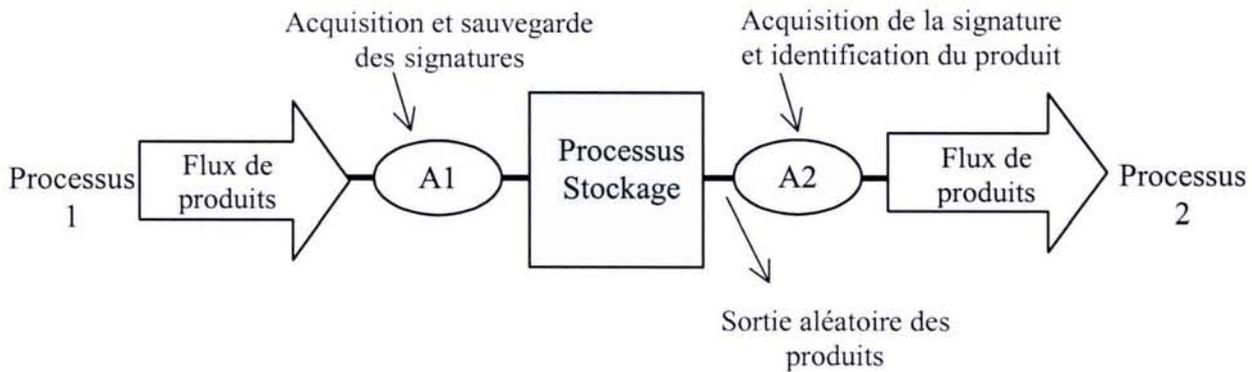
La méthode des  $k$  plus proches voisins consiste en l'ajustement de la taille du domaine d'estimation en fonction de la densité de prototypes dans le voisinage d'un point. Le domaine va croître jusqu'à ce qu'un nombre fixé de prototypes soit considéré. Si la densité des prototypes est élevée, le domaine sera automatiquement petit et l'estimateur sera précis. En revanche, si la densité des prototypes est faible, alors le domaine d'estimation sera grand, et l'estimation moins précise [Simon 96].

Dans [Cover 67] il est montré que, dans le cas d'un grand nombre des échantillons, cette simple règle a une probabilité d'erreur qui est inférieure à deux fois la probabilité d'erreur de Bayes ( $P_{\text{Bayes}} < P_{\text{ppv}} < 2P_{\text{Bayes}}$ ) et inférieure à deux fois la probabilité d'erreur de toute autre règle de décision, non paramétrique ou autre, basée sur un ensemble infini des l'échantillons. Dans [Simon 96], il est mentionné que, dans le cas d'un nombre fini d'échantillons, cette performance n'est plus assurée et que la performance du processus est liée au nombre de voisins et au type de distance utilisé. En général, le choix de la distance se porte sur la distance euclidienne par sa simplicité.

La règle des  $k$  plus proches voisins avec  $k \neq 1$  impose une attribution de classe sur la base d'un vote majoritaire. Dans notre cas,  $k = 1$ , c'est-à-dire, qu'un seul voisin provoque l'attribution.

### III.4.3 Situation de reconnaissance

La problématique de reconnaissance étudiée est celle de la perte d'ordre FIFO (First in, First Out : Premier Entré, Premier Sorti) dans le cas d'un stockage des produits semi-finis. Cette problématique est récurrente dans l'industrie du bois, la présence des stocks intermédiaires fait que, souvent, l'opérateur choisit les produits en fonction de différents critères comme les dimensions, la qualité, etc. donc il n'y a pas conservation de l'ordre d'arrivée. De plus, le produit peut être introduit de différentes façons dans une machine. En effet, la situation de stockage n'engendre pas de changements morphodimensionnels sur le produit, mais le retournement de pièces provoque néanmoins un changement vis à vis de la signature. La situation d'identification est montrée dans la figure III.31.



**Figure III. 31.** Identification de produits avec retournement de pièces

### III.4.4 Expérimentation

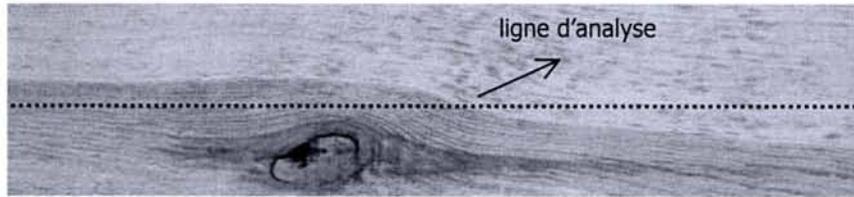
#### III.4.4.1 Produits

Les essais ont porté sur 81 planches de *Pinus sylvestris* (25 x 110 x 1500 mm) de masse volumique  $0,5 \text{ g/cm}^3$  et une teneur d'humidité homogène de 9%.

La teneur en humidité n'a pas été étudiée dans ce travail. En effet, le cas d'application choisi (atelier de finition de fenêtres) induit que les bois ont une teneur en humidité en équilibre, sans influence sur nos signaux.

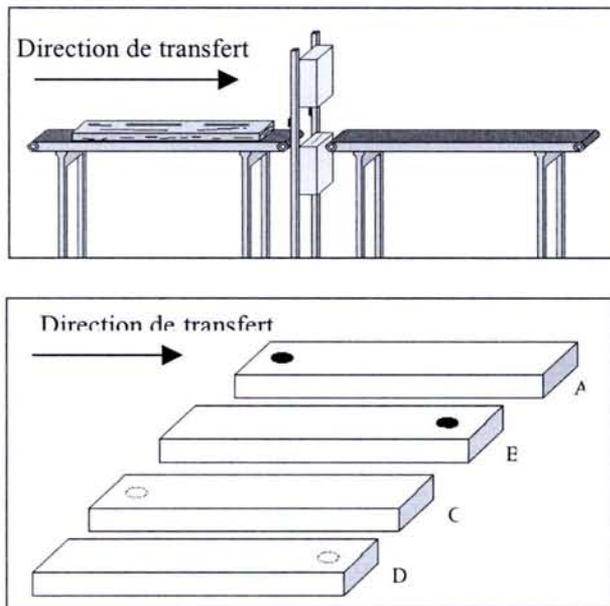
#### III.4.4.2 Acquisition de signatures

Les mesures ont été faites sur le banc d'essai présenté précédemment. Le pas de mesure utilisé a été fixé à 5mm, la vitesse d'avance du produit sous le capteur était de 20 m/min. Nous avons utilisé un seul récepteur parmi les seize existants. Cette décision vient du fait que nous avons voulu montrer d'abord si la signature provenant d'un seul récepteur était capable de caractériser la planche pour l'identification. L'avantage du récepteur unique est que le temps de calculs sont faibles. De plus, la zone centrale de chaque planche a été choisie comme zone d'analyse, parce qu'il y a plus de probabilité que cette zone reste après transformation (figure III.32), cela permet aussi d'avoir le même récepteur en cas de retournement de la pièce. Le nombre de récepteurs dépendra à terme du compromis coût/performance.



**Figure III.32.** Trajectoire de l'acquisition d'une signature sur un produit bois

La procédure pour l'acquisition des signatures pour simuler la situation de perte d'ordre FIFO a été faite de la suivante manière : 4 signatures ont été acquises par produit en changeant l'orientation de la planche sous le capteur micro-onde. Les 4 signatures sont référencées de A à D (figure III.33).



**Figure III.33.** Acquisition des signatures avec retournement de pièces

Pour être comparés et identifiées, ces différentes signatures doivent être présentées avec la même origine en prenant le premier passage comme référence, tableau III.4.

**Tableau III.4 :** Technique de mise en référence

Signal brut	Signal référencé
Signal orientation A	Sans modification
Signal orientation B	Symétrique de B
Signal orientation C	Sans modification
Signal orientation D	Symétrique de D

### III.4.4.3 Traitement des signatures

Pour augmenter la performance du processus d'identification les signatures ont été traitées avant la comparaison. D'abord, les effets de bord sur toutes les signatures ont été supprimés.

De la même façon, deux autres prétraitements ont été appliqués :

- Élimination de bruit

Un filtre passe-bas permet d'éliminer le bruit sur la mesure micro-onde.

- Compensation des déformations des signatures pour les planches voilées

Le signal reçu dépend de la distance entre le récepteur et la planche et, entre la planche et l'émetteur. Par conséquent, les planches voilées produisent une variabilité importante. La figure III.34 illustre cet effet, deux signatures sont acquises sur la même planche mais prises sur les faces opposées.

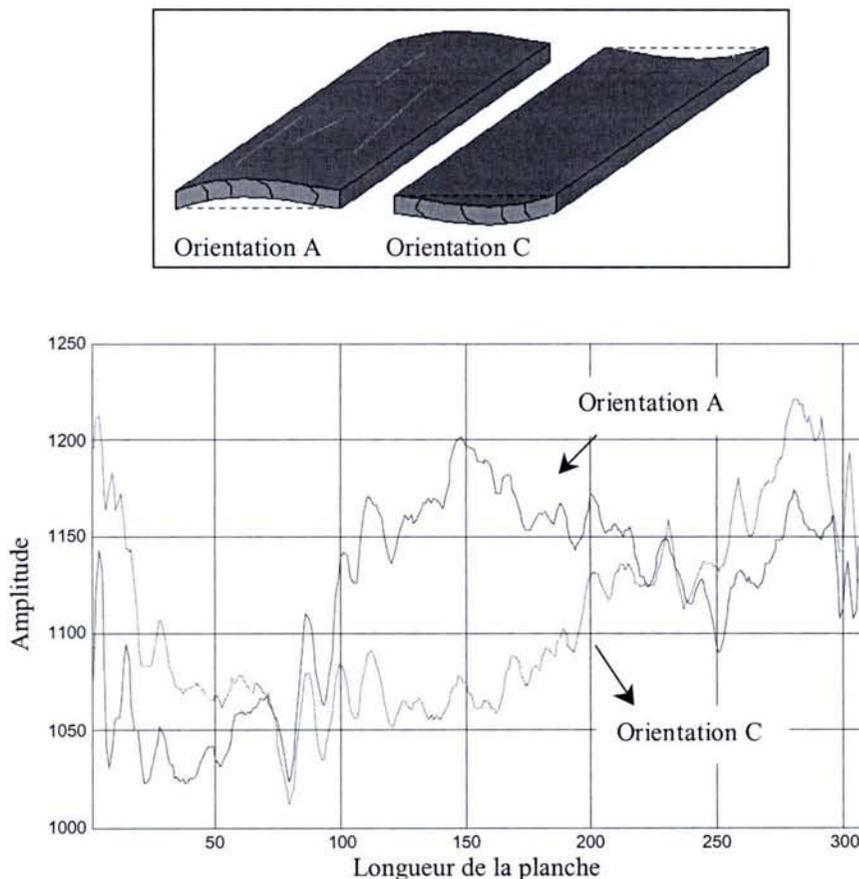


Figure III.34. Signatures sur une planche voilée

La différence entre ces signatures est une source d'erreur pour l'identification. Cette courbure n'est pas une caractéristique d'une planche et donc, elle doit être éliminée de la signature.

Le processus d'élimination de la courbure consiste en l'estimation de la courbure générale sur les mesures de la signature. Le degré du polynôme a été choisi de manière heuristique à partir de l'observation de signatures de la base de données. Le résultat de cette estimation a donné un polynôme de degré 7, lequel a été soustrait à chaque signature. Après correction, les signatures sont redressées et centrées autour de zéro. La figure III.35 montre la correction de la courbure de la signature de la figure III.33.

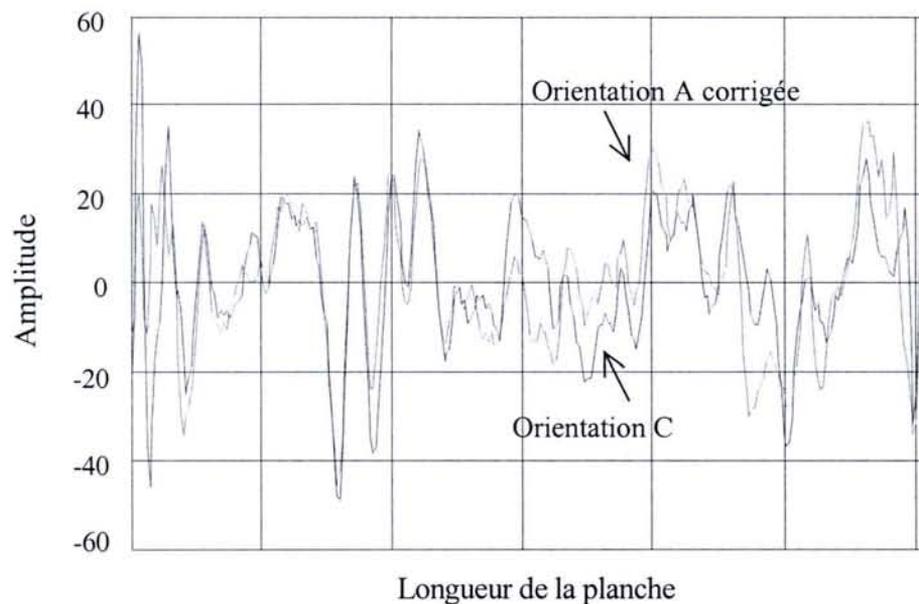


Figure III. 35. Signature corrigée

### III.4.5 Descripteurs utilisés pour la reconnaissance de produit bois par signature interne

Selon Cover, la performance du processus d'identification dépend du type des échantillons (nos signatures dans le contexte de cette thèse) et au bon choix des attributs [Cover 67]. Ce choix dépend des systèmes de mesure disponibles, la modification des valeurs des attributs ou des descripteurs par les processus de transformation.

De plus, le suivi des produits serait aisé s'il était possible de définir des attributs invariables pour chaque type de transformation rencontrée. Mais cette situation semble très difficile, parce que, quand le produit change, ses attributs changent aussi.

En résumé, quand la transformation du produit bois est seulement superficielle comme le ponçage, la finition et le stockage, l'entrée et la sortie des signatures sont directement projetées dans le même espace de référence pour être comparées et identifiées. En revanche, quand la transformation subie par un produit provoque de forts changements morphodimensionnels comme le moulurage, l'espace de référence des signatures d'entrée doit être projeté dans l'espace de référence de la sortie en modélisant la transformation du processus.

A partir des signatures prises sur les produits, trois descripteurs ont été utilisés : extraction des caractéristiques numériques à partir des signatures, utilisation de la transformée de Fourier et l'utilisation directe de la signature numérique complète.

#### **III.4.5.1** Extraction des caractéristiques numériques à partir des signatures

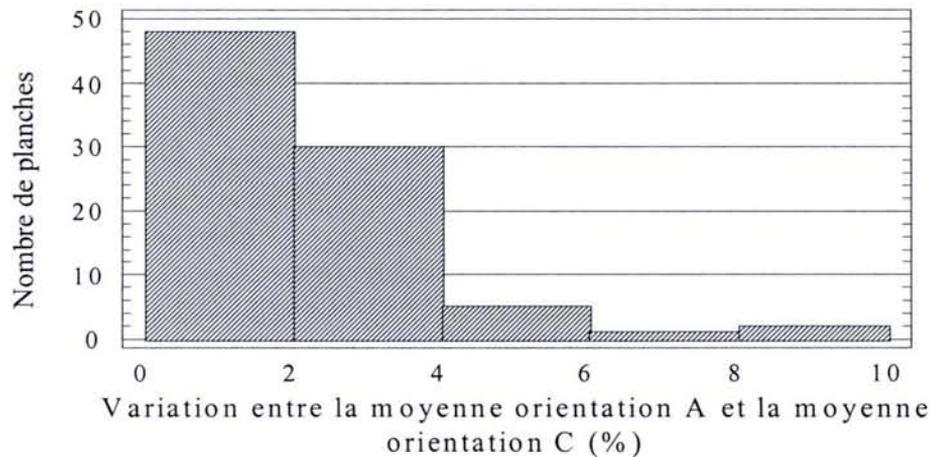
Dans cette approche les caractéristiques utilisées doivent être invariantes à la transformation réalisée sur le produit, ainsi la réduction d'information qui se réalise sur le signal ne doit pas générer d'ambiguïté.

Nous avons construit le vecteur signature  $S$  en utilisant les descripteurs statistiques des signaux plus quelques caractéristiques physiques. Ce vecteur est :

$$S_S = (\text{moyenne, pente, maximum, minimum, écart type, longueur de signal, nombre de nœuds})$$

Nous avons observé d'abord que la différence d'amplitude pour une même planche entre les orientations A et C n'est pas très importante. Sur l'histogramme de la figure III.36, sauf deux cas particuliers, 96% des signatures présente une variation de la moyenne inférieure à 6%. Les autres descripteurs ont le même comportement.

La simplicité de cette approche a l'avantage de réduire la quantité d'information en particulier quand le nombre de produits est important



**Figure III.36.** Histogramme de la variation d'écarts de la moyenne pour les orientations A et C.

#### III.4.5.2 Utilisation de la transformée de Fourier

La transformée de Fourier Rapide, Fast Fourier Transform (*FFT*), fournit une représentation plus appropriée grâce à ses propriétés invariantes, vis à vis du décalage, du retournement ou de l'échelle de la signature.

Le signal a été réduit à 256 points (puissance de 2 pour le calcul de la *FFT*), il a permis d'obtenir un spectre constitué par 256 points. Comme nous n'avons pas d'hypothèse de sélection des fréquences, et compte tenu de la symétrie du spectre, seule la moitié des points a été utilisée. La signature est donc constituée de 128 points.

$$S_F = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_i, \dots, y_{128}), \text{ avec } y_i \text{ un point composant le spectre du signal}$$

#### III.4.5.3 Utilisation de la signature numérique complète

Cette approche consiste à utiliser directement la signature numérique obtenue par le capteur micro-onde comme caractéristique. Dans ce cas, il n'y a pas de réduction d'information sur la signature, mais la quantité de données est importante. Cependant, les stocks de production présentant un nombre limité de produits, la masse d'information peut être maîtrisée.

En considérant la longueur du produit et la résolution longitudinale, chaque produit est constitué par 310 points de mesure, nous allons donc définir un espace de représentation de 310 dimensions.

$$S_D = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_{310}), \text{ avec } x_i \text{ un point composant la signature}$$

### III.4.6 La discrimination

Les signaux traités sont utilisés comme des signatures caractéristiques. La discrimination au sens du plus proche voisin est utilisée en calculant une distance entre les différentes signatures représentées par leur vecteur caractéristique. Nous avons utilisé la distance euclidienne et de Manhattan, qui sont en général, les plus utilisées pour cette méthode, pour quantifier l'écart de position entre 2 points. Les équations de ces deux distances sont données ci-dessous :

Distance euclidienne :

$$d_{xy} = \left( \sum_{i=1}^{310} (x_i - y_i)M(x_i - y_i) \right)^{1/2}$$

Distance de Manhattan :

$$d_{xy} = \sum_{i=1}^{310} |(x_i - y_i)M|$$

Où :

$x$  : signature inconnue d'un produit,

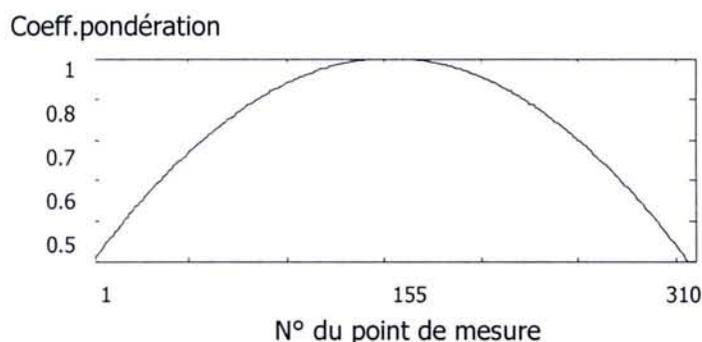
$y$  : signature connue parmi celle de référence,

$x_i$  ou  $y_i$  :  $i^{\text{ème}}$  caractéristique de la signature  $x$  ou  $y$ ,

$M$  : matrice de pondération.

A travers la comparaison des signatures acquises pour les quatre orientations, nous avons constaté une meilleure correspondance des signaux dans la zone centrale des signatures qu'aux extrémités. Pour cette raison, nous avons pondéré la distance des extrémités afin que leur contribution à la distance totale soit faible, par contre, la distance évaluée pour les points de mesures centraux est pleinement prise en compte. Cette pondération intervient dans la

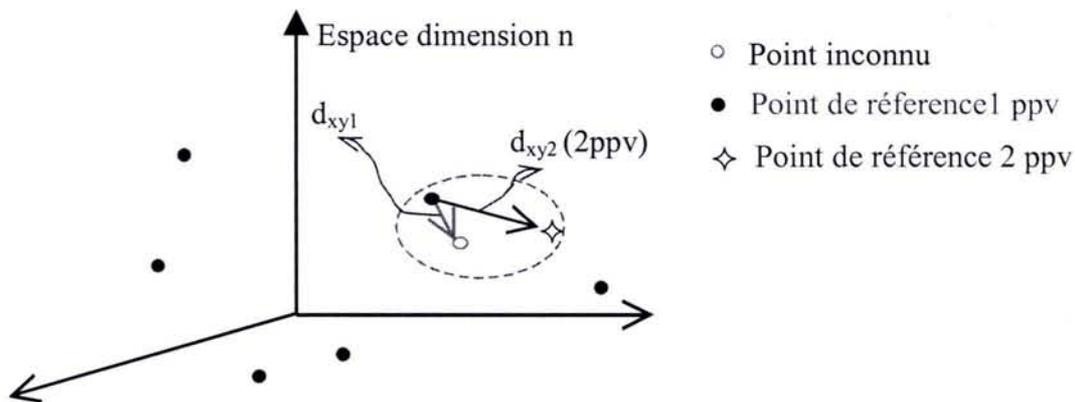
diagonale de la matrice  $\mathbf{M}$  du descripteur qui utilise la signature numérique complète. Donc, nous avons fait varier les coefficients de pondération de 0.5 à 1 en fonction de la position des points de mesure par rapport au premier point de mesure selon la courbe montrée dans la III.37. Pour le cas de l'utilisation du vecteur statistique,  $S_S$ , et du vecteur issu de la Transformée de Fourier,  $S_F$ , les termes de la diagonale de  $\mathbf{M}$  sont égaux à 1.



**Figure III.37.** Coefficients de pondération en fonction de la position des points de mesure.

### III.4.7 Coefficient de confusion

Dans l'identification, la mesure du risque de prendre une décision est très importante, surtout parce qu'une erreur peut engendrer ensuite encore plus d'erreurs. Dans la méthode du plus proche voisin, la signature la moins éloignée de la signature inconnue est l'identité la plus probable. Après classement par ordre croissant des distances entre l'ensemble des signatures connues et la signature inconnue, on peut évaluer la possibilité de confusion en calculant le rapport des deux plus petites distances, c'est à dire entre les 2 plus proches voisins. Ce calcul nous permet de savoir si la décision d'attribution au plus proche voisin est sujette à caution. Car si la différence entre les deux signatures les plus proches (les plus probables) est très faible, il y a un grand risque d'erreur. Le degré de confusion est un degré d'ambiguïté très connu dans les règles de décision bayésiennes qui permet d'évaluer le risque de confusion de la décision prise. Ce risque est mesuré grâce au coefficient de confusion (CC). La figure III.38, montre de façon schématique le coefficient de confusion.



**Figure III.38.** Coefficient de confusion

- Calcul du coefficient de confusion

$$\text{Coefficient de Confusion} = CC = \frac{d_{xy1}}{d_{xy2}}, \quad \text{où } 1 \geq CC \geq 0$$

Où :

$d_{xy1}$  (1ppv) = distance du premier plus proche

$d_{xy2}$  (2ppv) = distance du deuxième plus proche

### III.5. Résultats

Pour tester la faisabilité de l'identification individuelle, deux cas ont été traités :

- comparaison de signatures issues de planches de même orientation, le cas le plus facile pour l'identification.
- Pour une même planche, les orientations les plus critiques pour la reconnaissance, les orientations A et C.

La figure III.39 montre un cas pour lequel les quatre signatures qui sont très semblables quelle que soit l'orientation. En revanche, la figure III.40 montre un cas d'identification plus complexe, comme présenté au § III.3.4.3, la courbure de la planche a affecté l'allure de la signature pour les orientations C et D à cause du changement de distance entre le capteur et le bois.

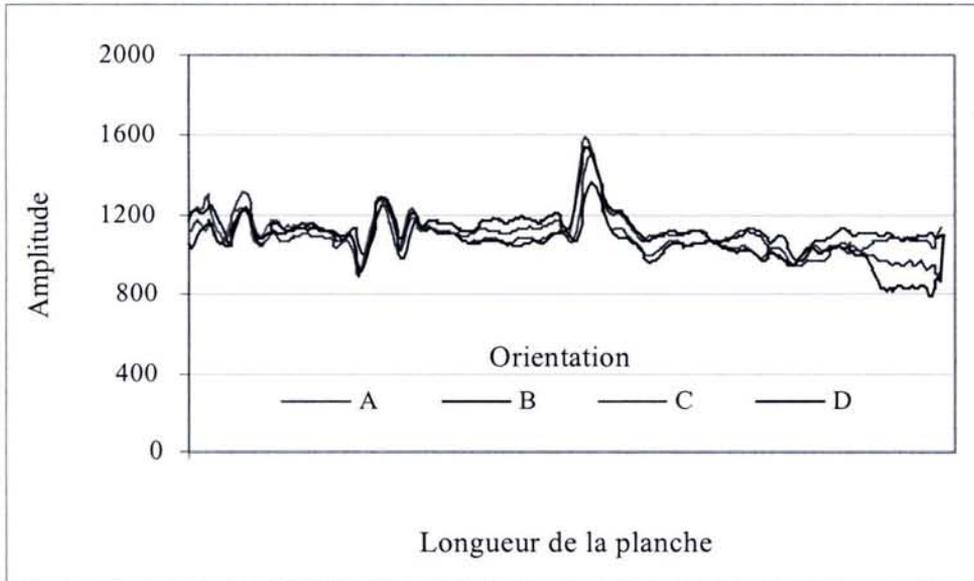


Figure III. 39. Signatures d'une identification simple

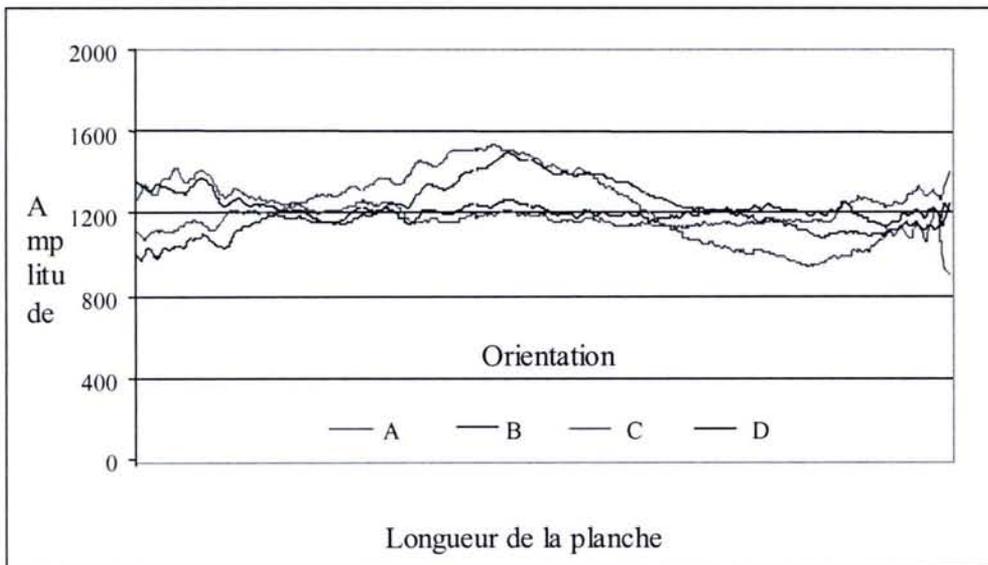


Figure III. 40. Signatures d'une identification plus complexe

Dans un premier temps, nous avons voulu montrer, le cas de la comparaison des signaux issus de planches de même orientation avec le descripteur numérique des signaux, pour expliquer comment fonctionne le processus d'identification. Le problème d'identification sur les 81 signaux a consisté à déterminer quel signal parmi les 81 de la base correspond à celui que l'on observe.

La totalité du vecteur  $S_S$  des caractéristiques statistiques permet d'obtenir (en utilisant la distance euclidienne) 100% de réussite d'identification.

Si l'on sélectionne les caractéristiques utilisées, voici les plus pertinentes :

- La moyenne, l'écart type, la pente du signal, degré de discrimination élevé (100% d'identification)
- La valeur minimum du signal, degré de discrimination moyen (67% d'identification)
- La valeur maximum du signal, degré de discrimination moyen (61% d'identification)
- Le nombre de nœuds visibles sur le signal, degré de discrimination faible (40% d'identification)

De ces résultats, il ressort que le vecteur : moyenne, écart type, pente du signal est le meilleur discriminant, et que le nombre de nœuds ne peut être utilisé comme caractéristique discriminante unique.

Nous avons également analysé ce que chaque paramètre apporte comme potentiel de discrimination. Une mesure de proximité a été calculée pour connaître la quantité de signaux qui sont très proches vis à vis du même paramètre. Ceci correspond à la distance entre chaque signal et son plus proche voisin par rapport à la moyenne du paramètre considéré. Voici l'analyse et les courbes de distances :

- Moyenne du signal

La plage de variation des valeurs pour la moyenne est [800 et 1500]. Sur la figure III.41 on constate que ce paramètre n'est pas la caractéristique la plus discriminante car 98% des signaux sont distants de moins de 1% de la valeur moyenne de ce paramètre.

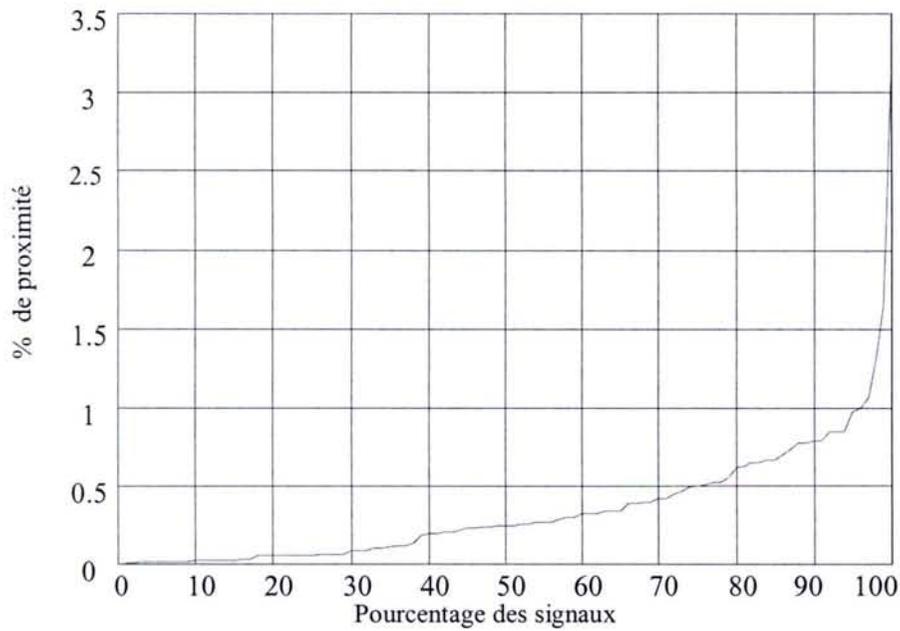


Figure III.41. Courbe de proximité pour la moyenne

- Ecart type du signal

La plage de variation pour les valeurs de l'écart type des signaux est [20 et 140] (figure III.42). Ce paramètre est un peu meilleur que la moyenne mais son pouvoir discriminant reste très bas.

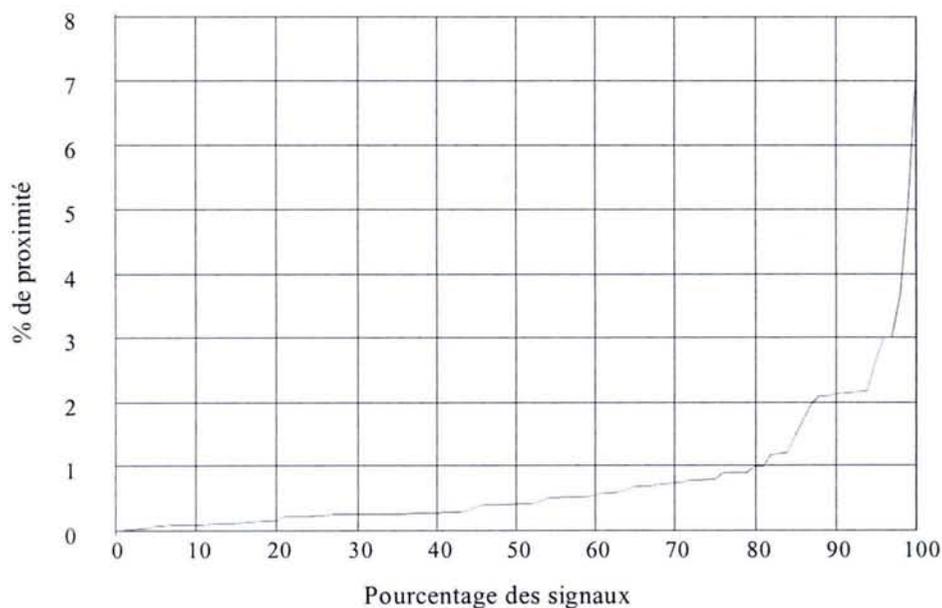


Figure III.42. Courbe de proximité pour l'écart type

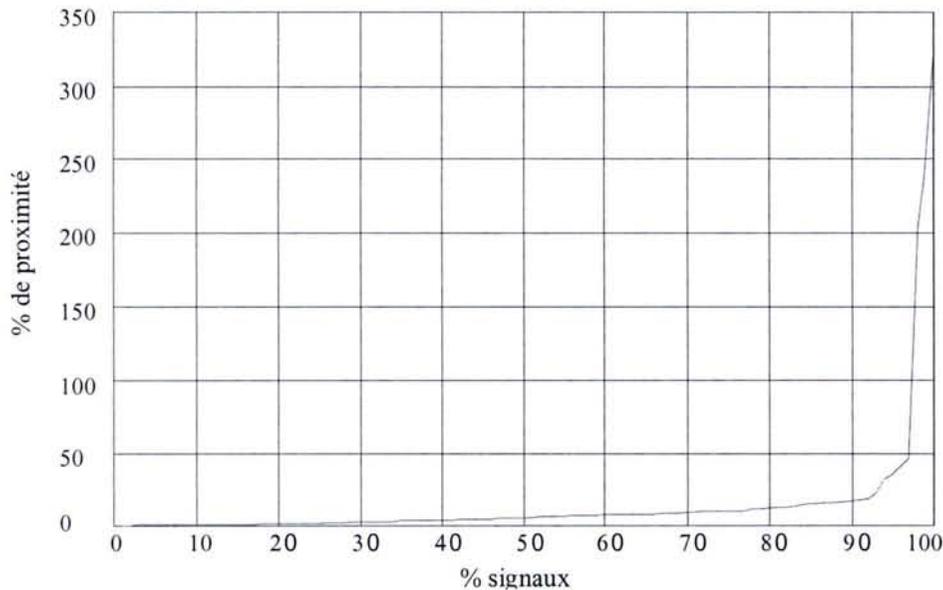
- Maximum et minimum du signal

Les minimum et maximum sont obtenus lors de la présence de nœud. Pour le maximum des signaux, la plage de variation est de 900 à 1700. De la figure, on voit que 94% des signaux ne sont qu'à une distance relative de 1%. En outre, 25% des signaux sont très proches. Ceci confirme que le maximum n'est pas très pertinent si on l'utilise comme unique caractéristique de discrimination, toute la décision se fait en un seul point, ce qui est dangereux.

Pour le minimum, la plage de variation se trouve entre 450 et 1400. Ici, 89% des signaux sont à une distance inférieure à 1%, il y a un peu moins de confusion que pour le maximum 22% au lieu de 25%, mais son caractère discriminant est toujours trop faible.

- Pente du signal

Ce paramètre a un pouvoir discriminant supérieur aux caractéristiques précédentes. Seulement 12% des signaux se trouve à une distance inférieure à 1% (figure III.43).



**Figure III.43.** Courbe de proximité pour la pente du signal

L'identification pour le cas plus simple (sans retournement) avec le descripteur numérique a donné de bons résultats. Cependant l'identification sur les signaux des pièces retournées n'a pas été performante. Ceci sera montré dans la partie qui suit.

### III.5.1 Taux d'erreur d'identification

Le taux d'erreur d'identification est calculé comme le rapport entre le nombre d'identifications incorrectes et le nombre total d'identifications.

Le choix de l'utilisation des distances euclidienne et de Manhattan n'a pas été un facteur significatif pour la performance d'identification. Nous avons constaté qu'en utilisant la distance euclidienne nous avons une augmentation sur l'identification des produits testés de 1%, ce qui n'est pas concluant. Le tableau III.5 donne la synthèse des pourcentages obtenus pour les différents descripteurs utilisés, avec le calcul de la distance euclidienne.

**Tableau III.5 :** taux d'erreur obtenu pour les différents descripteurs (distance euclidienne)

Type de Descripteur	Espace de référence	Signature inconnue	Pourcentage d'erreur d'identification
Caractéristiques statistiques	Orientation A	Orientation A	0%
	Orientation A	Orientation C	31%
Transformée de Fourier	Orientation A	Orientation A	40%
	Orientation A	Orientation C	40%
Signature numérique complet	Orientation A	Orientation A	0%
	Orientation A	Orientation C	1,5%

### III.5.2 Coefficient de confusion pour l'identification

Le coefficient de confusion a été calculé pour le vecteur le plus performant (vecteur numérique complet). En utilisant la distance de Manhattan (pourcentage d'erreur d'identification de 2.5%), les coefficients de confusion vont de 0.5 à 1 comme le montre l'histogramme de la figure III.44.

En utilisant la distance euclidienne, dans la même expérience (pourcentage d'erreur de 1.5%), les taux de confusion obtenus sont présentés sur l'histogramme de la figure III.45. Il semble y avoir une très faible augmentation du coefficient de confusion. Nous supposons que le risque de décision commence à avoir de l'importance quand le coefficient de confusion est supérieur à 0.75. Nous constatons alors que pour les deux histogrammes, environ 50% des

bonnes décisions ont été faites avec un risque très élevé. Reste à déterminer, si l'on peut inclure cet indice dans la problématique d'identification, parce que, d'une certaine manière, le but de l'identification a été atteint, mais dans beaucoup de cas, il y a une signature toute proche qui ressemble beaucoup. Dans les cas de planches homogènes, cette situation est très fréquente.

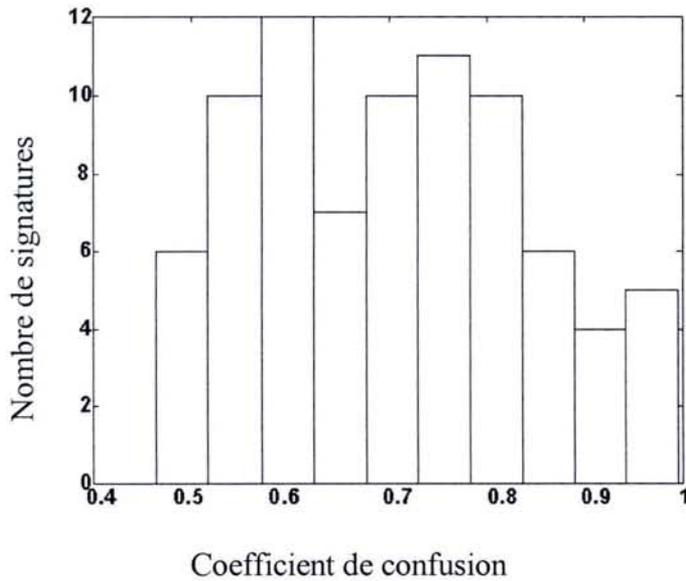


Figure III.44. Histogramme du degré de confusion, distance de Manhattan

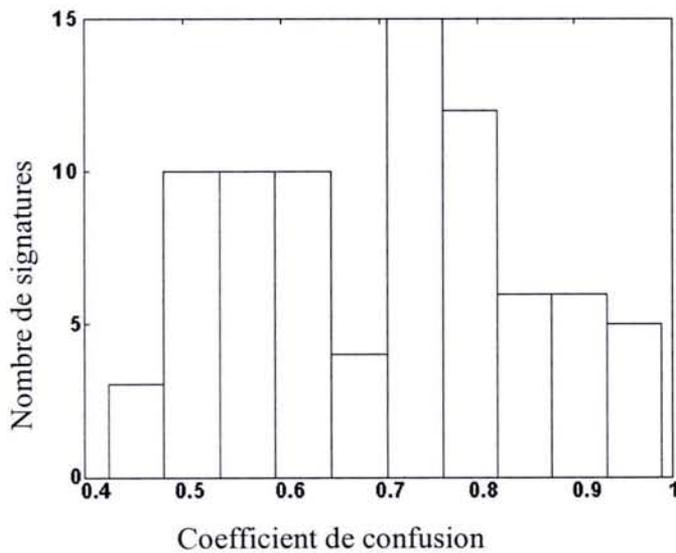


Figure III.45. Histogramme du degré de confusion, distance euclidienne

### **III.5.3 Sensibilité de l'erreur d'identification**

Pour évaluer la sensibilité de l'erreur d'identification, nous avons réalisé pour le processus de stockage une simulation de type "Monte Carlo". Le signal identifié par le procédé est retiré de la base des signatures de référence pour les identifications suivantes. Cette simulation correspond au cas pratique observé lors de la sortie physique d'un produit du flux.

A travers ceci, nous avons pu vérifier que, quand une signature est mal identifiée, la fausse référence sort de la base de données et produit un effet domino. Par conséquent, le moment où une erreur d'identification se produit dans la simulation est très important. Pour un total de 30 simulations, le pourcentage d'erreur moyen fluctue entre 1,5% et 11%.

Dans ce contexte, peut-être faudrait-il mieux laisser les signatures dans la base de données quelque temps, pour diminuer l'effet cumulé de l'erreur. On pourrait aussi trouver un tri initial des signatures pour diminuer le nombre de comparaisons à faire.

### **III.6. Conclusion**

Nous constatons le grand potentiel qui montre l'application du concept de signature interne en utilisant les caractéristiques intrinsèques du bois. Cette signature a été obtenue à travers d'un outil de contrôle non destructif, un capteur micro-onde sensible aux propriétés du bois.

Le coefficient de corrélation a tout d'abord été utilisé comme indicateur du degré de ressemblance entre deux planches, cependant la variabilité des résultats ne laissent pas déterminer de façon claire l'utilité de cet indicateur, surtout dans le cas de planches homogènes.

Le processus d'identification réalisé à travers la méthode du plus proche voisin et la notion de distance a montré une performance acceptable. Nous avons obtenu une identification de 98,5 % sur un total de 81 planches, c'est à dire une erreur. Cependant, pour mieux montrer la performance de l'algorithme, ceci devra être testé avec un nombre d'essais plus élevé.

Nous montrons que c'est possible d'identifier individuellement les produits bois dans une étape du cycle de production dans le cas de retournement d'une pièce.

Les travaux futurs sont centrés sur la réduction des risques de prise de décision pour une identification avec une fiabilité élevée et les transformations agressifs comme le moulurage.

## ***Chapitre IV***

### *Intégration de la traçabilité dans le système d'information de l'entreprise*

---

## **Chapitre IV**

### **Intégration de la traçabilité dans le système d'information de l'entreprise**

#### **IV.1. Introduction**

Dans le premier chapitre nous avons vu qu'un système de traçabilité est constitué d'un système d'identification automatique (IdA) et d'un système permettant le stockage et la mise à disposition des données processus et produit. [Viel 00] mentionne qu'avec un dispositif manuel, retrouver la provenance ou la destination d'un lot défectueux peut demander des jours, délai devenu inacceptable actuellement. Le seul moyen pour réagir à temps est d'intégrer, d'une part, l'identification automatique et d'autre part, le système d'information à l'intérieur et à l'extérieur de l'entreprise. A elle seule, en effet, l'identification automatique ne suffit pas. L'identifiant doit être relié à une base de données et permettre d'accéder aux autres informations de l'entreprise.

[Kärkkäinen *et al* 02] mentionne que la gestion d'information au niveau d'article individuel est l'un des plus grands défis auquel il faut faire face actuellement dans la gestion de la chaîne logistique. Ce défi est principalement généré par deux facteurs différents :

- le premier est dû à l'augmentation de la quantité d'information au niveau d'un article : la demande de produits différents et de produits adaptés aux besoins du client est de plus en plus élevée. En outre, des conditions plus strictes sur la gestion du cycle de vie de produit, de la traçabilité, et des services après vente ont émergé.
- le deuxième facteur est lié au fait qu'à présent l'information doit être gérée dans des réseaux de complexité croissante.

Ainsi, les entreprises se doivent de maintenir les données reliées au produit, de les modifier au fur et à mesure de son avancement sur les différents processus de la chaîne logistique ou lors de contrôles, et même lorsqu'un produit est maintenu après achat. Ces quantités et variétés d'information reliées au produit génèrent des complications considérables de la tâche de gestion de l'information au niveau du produit individuelle (item) [Kärkkäinen *et al* 02].

Dans ce chapitre, nous verrons le système d'information et l'intégration du système de traçabilité dans le système d'information. Nous présenterons ensuite, les divers modèles ou

représentations existants dans la littérature par rapport à la traçabilité. Finalement, nous proposerons un modèle ayant pour vocation de montrer comment l'identification automatique s'intègre dans le système d'information pour permettre la traçabilité des produits dans un contexte tel que présenté figure IV.1. Sur cette figure, sont donnés des postes de transformation ou d'acquisition d'information qui collaborent à l'enrichissement du système d'information et qui, par conséquent, peuvent disposer des éléments pertinents nécessaires à leur déroulement. Cette configuration n'est pas atteinte dans le cas des industries du bois où les postes fonctionnent encore de manière autonome.

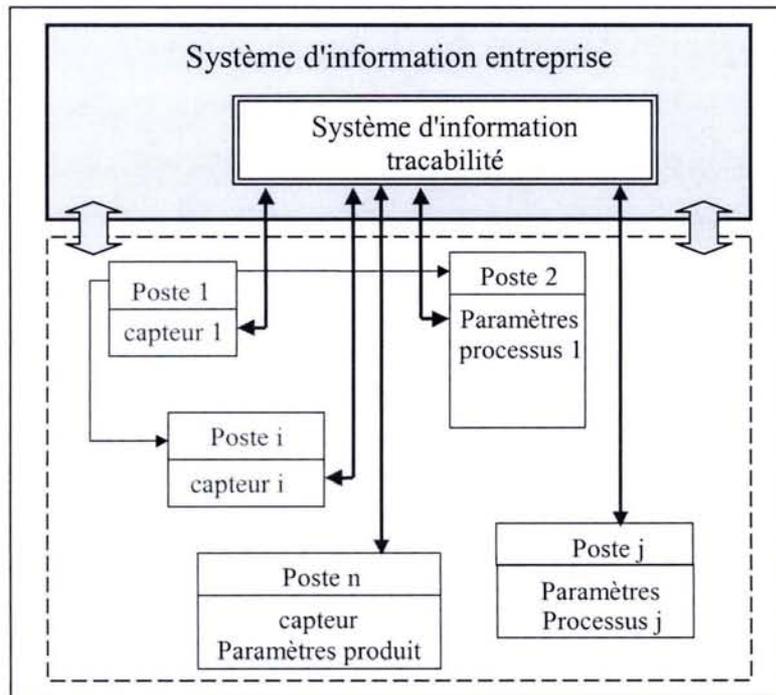


Figure IV.1. Flux d'information intégré, état projeté.

#### IV.2. Le système d'information et le concept d'intégration

D'après [Morley 02], traditionnellement, l'information joue trois rôles fondamentaux, qui sont : être un support pour l'action, conserver une trace des activités et apporter une aide à la prise de décision.

Depuis une vingtaine d'années, les technologies de l'information et de la communication sont venues amplifier et étendre le rôle de l'information dans l'entreprise. Elles offrent, en effet, des possibilités de mémorisation, de traitement automatique et de diffusion qui ouvrent de nouveaux horizons. Ce phénomène est particulièrement perceptible dans trois courants qui influent sur la gestion des entreprises [Morley 02] :

- La dématérialisation des objets : c'est-à-dire que dans certains cas l'information n'est plus simplement un reflet ou une trace, elle est, elle-même, un objet de gestion,
- L'exigence de la qualité : sous la pression concurrentielle, un nombre croissant d'entreprises se préoccupent non seulement de la qualité de leurs produits, mais aussi de celle de leurs processus. L'entreprise est donc conduite à gérer des informations supplémentaires pour améliorer la qualité de la gestion,
- La recherche continue de l'innovation : pour se développer ou pour survivre, les entreprises sont forcées à entrer dans un cycle d'amélioration et innovation.

Le système d'information peut simplement être défini comme l'ensemble organisé des ressources qui utilise comme support les technologies de l'information. Aujourd'hui, l'extension de la place de l'information et de l'usage des technologies de l'information dans l'entreprise conduit à faire évoluer la notion de système d'information. Selon Morley, il correspond à la partie du réel constitué d'informations organisées, d'événements ayant un effet sur ces informations, et d'acteurs qui agissent sur ces informations ou à partir de ces informations, selon des processus visant une finalité de gestion et utilisant les technologies de l'information [Morley 02]. Les gestionnaires sont donc directement concernés par la définition d'un système d'information. Pour situer clairement leur rôle par rapport à celui des informaticiens, il est utile de distinguer le système d'information et le système informatique (figure IV.2).

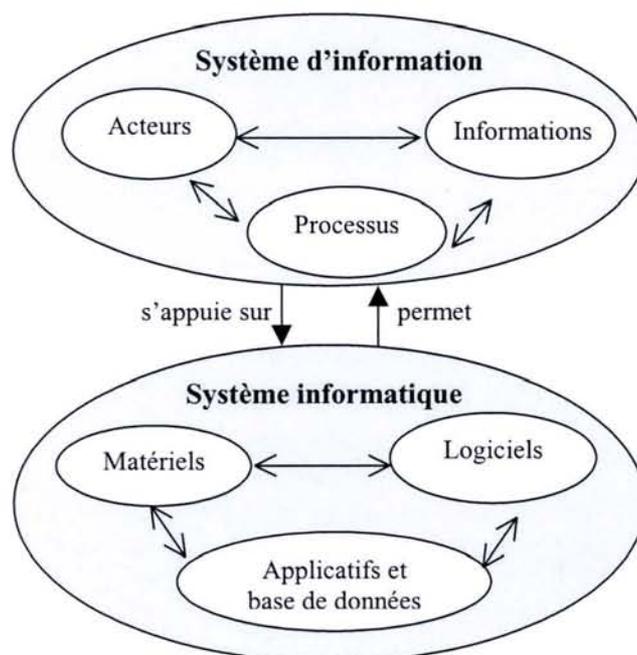
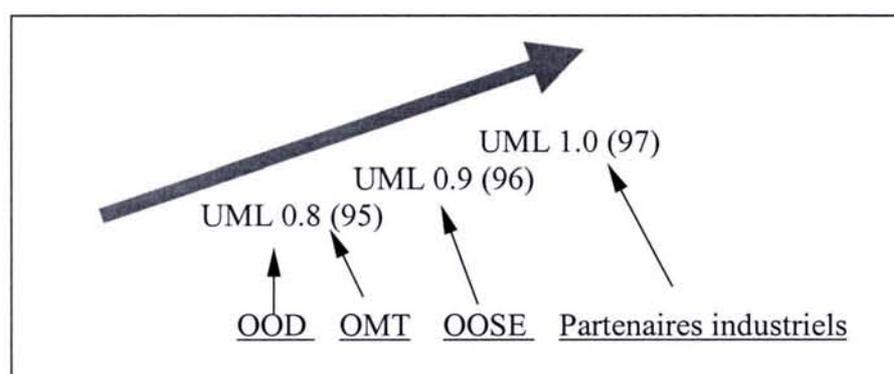


Figure IV.2. Système d'information et système informatique [Morley 02]

Pour concevoir un système d'information, il est nécessaire d'avoir les moyens de représenter les différentes facettes de l'existante dans l'entreprise et de ce vers quoi l'on veut tendre. C'est la raison pour laquelle il est important de faire des modèles mettant l'accent sur les aspects essentiels à mettre en évidence, en s'appuyant pendant la phase de conception sur des méthodes adaptées. De plus, la représentation de la réalité, actuelle ou projetée, ne peut être réduite à un seul modèle; plusieurs modèles cohérents entre eux et qui présentent des perspectives différentes sont souvent nécessaires.

Apparue dans les années 70, la première méthode d'analyse pour modéliser les systèmes d'information a été la découpe cartésienne (fonctionnelle et hiérarchique). Cette approche a généré des méthodes connues comme : la méthode structurée (DFD, dictionnaire de données, etc.), la méthode de Jackson et la programmation structurée. Dans les années 80, l'approche systémique (modélisation des données plus modélisation des traitements) comme Merise, Axial, IE, etc... sont apparues. L'émergence des méthodes objet date des années 90 à 95 ; plus de 50 méthodes objet sont apparues durant cette période, parmi elles, Booch, Classe-Relation, Fusion, HOOD, OMT, OOA, OOD, OOM, OOSE, etc. Aucune de ces méthodes ne s'est réellement imposée. En 1997, le langage UML (Unified Modeling Language) fait son apparition comme résultat de la fusion de trois des principales méthodes objet (figure IV.3). Face à la diversité des méthodes d'analyse et de conception objet et en particulier, aux différentes notations de mêmes concepts, UML représente un réel facteur de progrès par l'effort de normalisation réalisé par l'OMG (Object Management Group).



**Figure IV.3.** Origine du langage UML (OOD : Object Oriented Design, OMT : Objet modeling technique, OOSE : Object Oriented Software Engineering)

En regard de nos objectifs et du caractère normalisé de ce langage, nous nous sommes naturellement orientés vers UML pour la construction du système d'information intégrant la traçabilité et l'identification automatique.

Avant de passer à la construction du système d'information, nous présentons les travaux portant sur les efforts d'intégration de la traçabilité au sein des systèmes d'information d'entreprises.

Aujourd'hui, on parle beaucoup d'intégration à l'intérieur d'une organisation et au-delà du cadre organisationnel, dans une approche "entreprise étendue", on parle aussi d'intégration dans la chaîne logistique.

La raison de cette intégration vient du fait que les entreprises doivent rester compétitives et rentables dans un contexte international mouvant, devenir plus réactives et plus flexibles. Elles cherchent donc à rationaliser leurs différents flux d'information et à harmoniser leurs systèmes d'information.

[Kim 02] mentionne que les systèmes d'information peuvent être utilisés sous quatre formes pour l'intégration dans la chaîne logistique : comme un support de l'infrastructure, pour créer de la valeur pour la gestion, pour les opérations logistiques et pour la performance de la gestion dans la chaîne logistique. Kim remarque, par conséquent, que la compétitivité de l'entreprise est très liée à la façon d'utiliser le système d'information.

Cependant, le concept d'intégration couvre aussi partage d'information et sur ce point là, les entreprises ont des soucis pour aller vers cette voie, principalement, parce que les limites des échanges d'information ne sont pas très claires.

Un nombre important de projets de recherche porte sur la mise en œuvre d'un système d'information intégré. Nous pouvons mentionner les standards d'échange d'information (STEP<sup>1</sup>, PDM<sup>2</sup>), les données techniques de l'entreprise (SGDT<sup>3</sup>) et la modélisation de processus, le rôle des technologies d'information, etc.

Un des principaux projets d'intégration est le standard ISA95 : Enterprise-Control system Integration de l'instrumentation System and Automation Society. Il correspond à l'intégration des systèmes de contrôle de la production dans le système de gestion de l'entreprise pour améliorer les communications entre toutes les parties impliquées; un accès plus simple et

---

<sup>1</sup> STEP : Standard for Transfert and Exchange of Product data model – ISO 10303

<sup>2</sup> PDM : Product Data Management

<sup>3</sup> SGDT : System Gestion de Données Techniques

efficace aux informations est alors offert par les nouvelles technologies de l'information et de la communication.

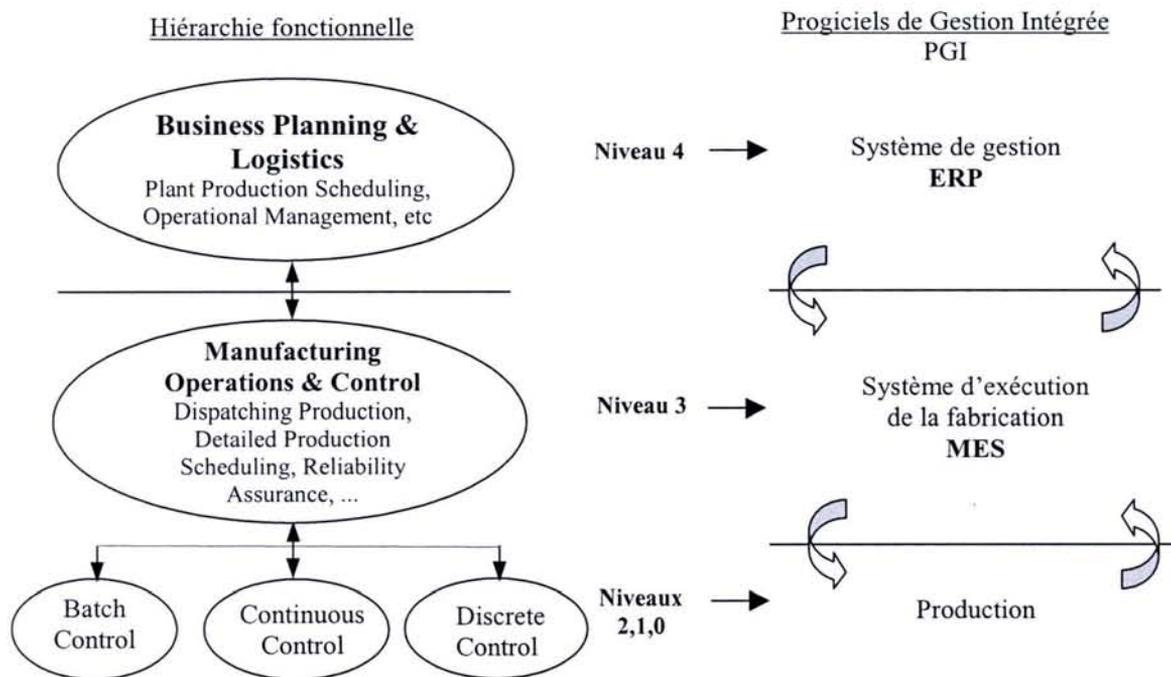
Ainsi l'ISA95 est un ensemble de standards qui définissent les interfaces entre les activités de l'entreprise et les activités de contrôle. Il est constitué de trois parties :

Partie 1 : Modèles et Terminologie, (Models and Terminology) [ANSI/ISA-95-00-01-2000]

Partie 2 : Attributs des Modèles Objets, (Object Model Attributes) [ANSI/ISA-95-00-02-2001]

Partie 3 : Modèles des Activités de la Gestion des Opérations de Production, (Activity Models of Manufacturing Operations Management) [ANSI/ISA-95-00-03-2004].

La partie gauche de la figure IV.4, tirée de l'ISA95-partie 1 montre les niveaux hiérarchiques dans lesquels les décisions sont prises. La partie 1 de ce standard se positionne à l'interface entre les niveaux 3 et 4, ce qui correspond pour les PGI à l'interface entre ERP et MES.



**Figure IV.4.** Hiérarchie fonctionnelle [ANSI/ISA-95-00-01-2000] et les progiciels de gestion intégrée.

### **IV.3. Représentation de la traçabilité**

La littérature concernant les systèmes d'information en lien avec la traçabilité est très peu développée dans le domaine industriel, mis à part les systèmes d'information liés à la traçabilité en conception. Nous avons déjà remarqué que le caractère général de certains systèmes de gestion intégrant la traçabilité (MES) fait d'obstacle à une adaptation massive. Nous nous proposons donc une solution par une approche pragmatique basée sur les informations réellement disponibles dans l'entreprise et en mettant en liaison les opérations, les activités, les produits, etc. La construction d'un modèle pour représenter les données est une des activités les plus cruciales et complexes. Si le modèle n'est pas bon, les applications l'utilisant ne répondront pas aux attentes initiales et seront peu fiables.

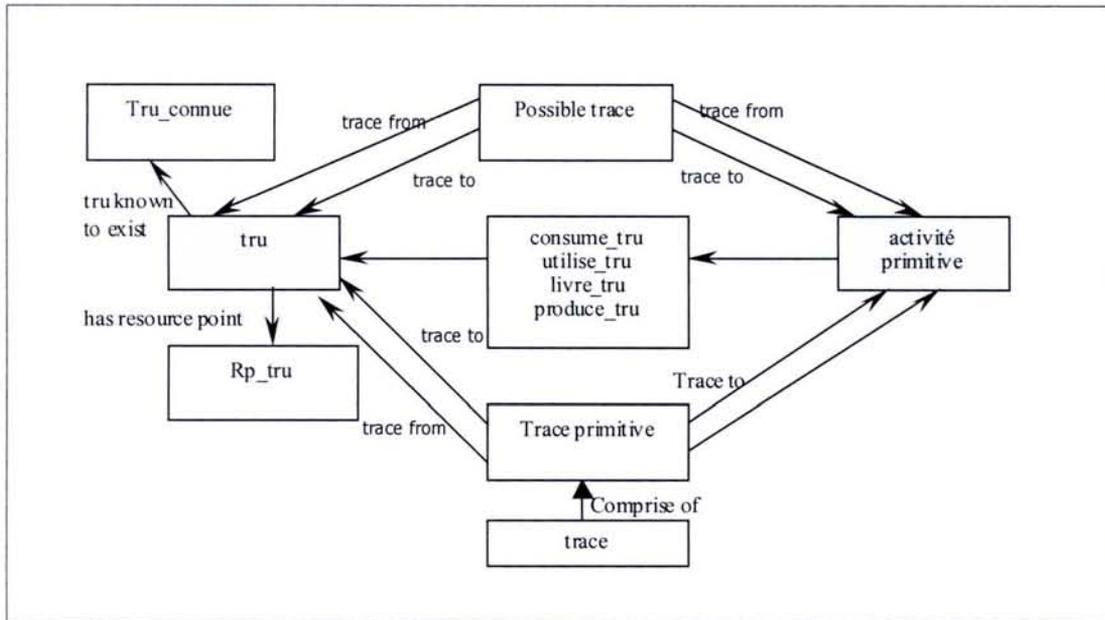
Nous présentons dans cette partie la littérature sur les différentes manières d'intégrer la traçabilité dans un modèle ou une représentation.

Dans [Cauvet 01], il est mentionné que la trace est une information persistante qui évoque une action déjà entreprise. Cette trace a une dimension historique du déroulement du processus, sans affecter la représentation du produit qui peut continuer à évoluer sous l'emprise d'autres actions. La trace peut se révéler utile à chaque fois que le suivi de l'évolution des produits est souhaité. En général, on trouve la traçabilité sous la forme d'enregistrement des traces et le souhait de la mise en correspondance entre les opérations définies et celles effectuées.

Pour sa part, [Grady 93] affirme que la traçabilité peut être vue comme une structure arborescente de type généalogique. Logiquement sa représentation graphique est un arbre. Ainsi, une des tâches de la traçabilité est de commencer à décomposer répétitivement les nœuds de l'arbre, jusqu'à ce que les nœuds terminaux soient trouvés. De même, [Shinghal 92] mentionne qu'une tâche de décomposition d'un problème représenté par un graphique-ET/OU- peut être utilisé pour représenter le problème de traçabilité.

Un des premières approches théoriques de la traçabilité est réalisée par [Kim *et al* 95], il propose une ontologie de la traçabilité dans le projet TOVE (TOronto Virtual Enterprise). Cette ontologie introduit deux concepts devant être tracés : le TRU (Unité de Ressource Tracée) et l'activité primitive. Le TRU est une entité unique, c'est-à-dire, qu'il n'existe pas d'autre unité identique du point de vue de traçabilité. Pratiquement, un TRU correspond à un lot de production identifiable. L'activité primitive peut signifier acheter, vendre, manipuler ou transporter, .. et il décrit la route du produit.

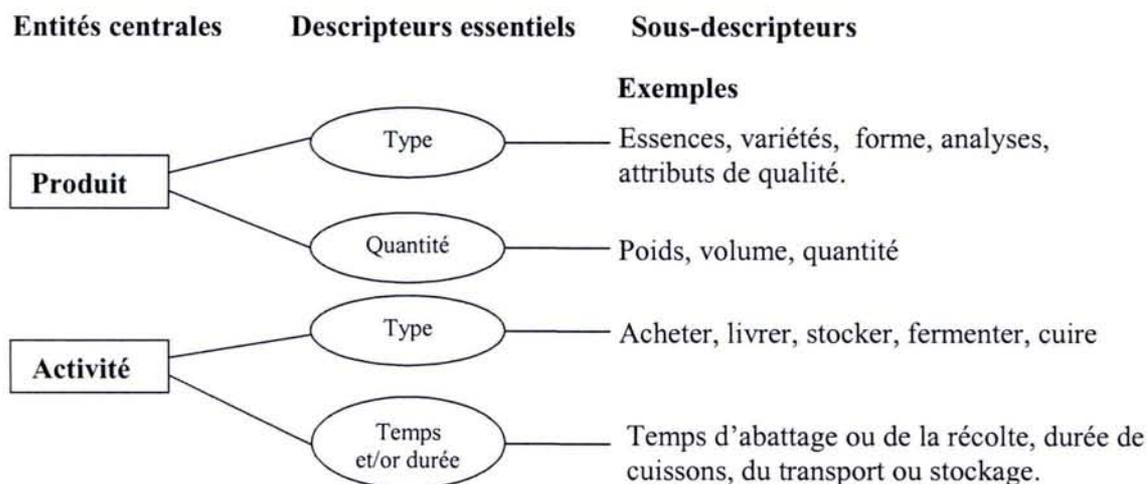
Kim remarque l'importance d'inclure la traçabilité comme un sous-domaine de la qualité. Il affirme que dans un système de traçabilité idéal, la capacité de tracer les activités et les produits est fondamentale. Les produits et les activités sont appelés les "entités centrales" et ils existent seulement quand ils sont individuellement décrits et considérés. La figure IV.5 montre les termes de l'ontologie de traçabilité évoqués par Kim. La principale contribution du modèle de Kim est la supposition explicite sur l'identification unique de chaque item. De



plus, la capacité d'analyser les problèmes de qualité par la traçabilité a été faite avec succès par ce modèle.

**Figure IV.5.** Modèle ontologique de la traçabilité [Kim et al 95]

[Moe 98] utilise le modèle créé par [Kim et al 95] et l'applique à l'industrie alimentaire. Il fournit un modèle plus opérationnel que le modèle théorique de Kim. Pour cela, il définit pour chaque entité centrale une série de descripteurs essentiels qui peuvent être inclus afin d'assurer une traçabilité idéale des produits et des activités (figure IV.6).



**Figure IV.6.** Structure fondamentale d'un système de traçabilité selon [Moe 98]

De même, [Dupuy 02] propose une méthode pour modéliser et optimiser les systèmes de traçabilité dans l'alimentaire en utilisant la méthode de modélisation basée sur les concepts de TRU de Kim et de la dispersion de lot. Après la définition de TRU, il suggère de reconstruire la chaîne de processus dans un graphique en utilisant une structure d'arbre (bill of material tree). Le résultat de ce modèle fournit une vision suffisante pour pouvoir améliorer le processus et pour trouver les points faibles.

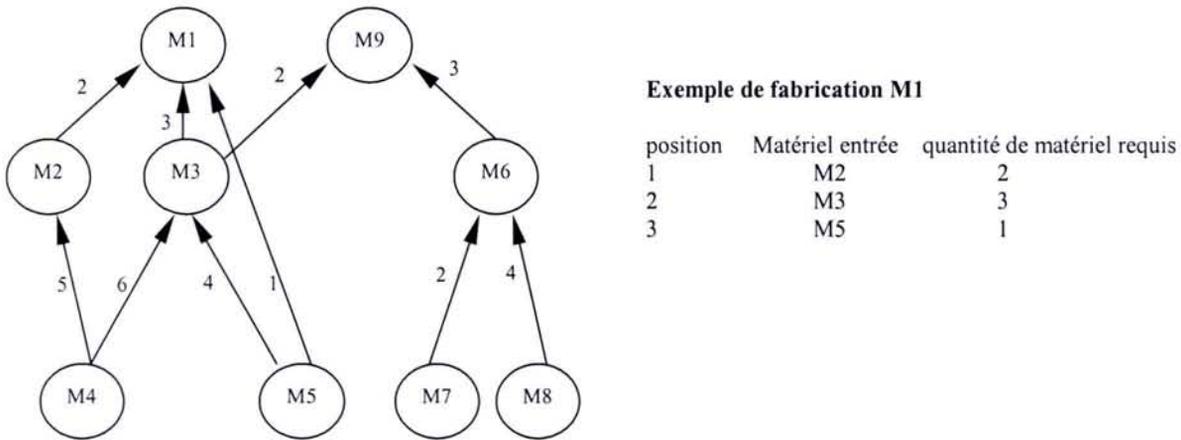
Les travaux les plus récents sur la modélisation de la traçabilité ont été faits par [van Dorp 04] et [Terzi *et al* 04].

Van Dorp, mentionne pour sa part que le développement des systèmes de traçabilité requiert une représentation précise du système en question. Pour cela, il faut prendre en compte une représentation avec les suivants éléments [van Dorp 04] :

- les objets présents dans le système,
- les types d'objets à localiser ou/et tracer,
- l'information d'intérêt sur ces objets,
- les relations entre les objets,
- l'intégrité de la représentation et des objets (en relation à la performance du système).

Ainsi, van Dorp montre une approche de conception d'un système d'information pour la traçabilité du flux de marchandises. Il applique une modélisation au travers de graphiques *Gozinto*. Ceux-ci représentent une liste graphique des matières premières, pièces, ensembles et sous-ensembles, transformés en produits finis à travers une séquence d'opérations (ou

processus). La représentation de la structure de données par Gozinto est désignée sous l'acronyme BOM<sup>4</sup> (figure IV.7).

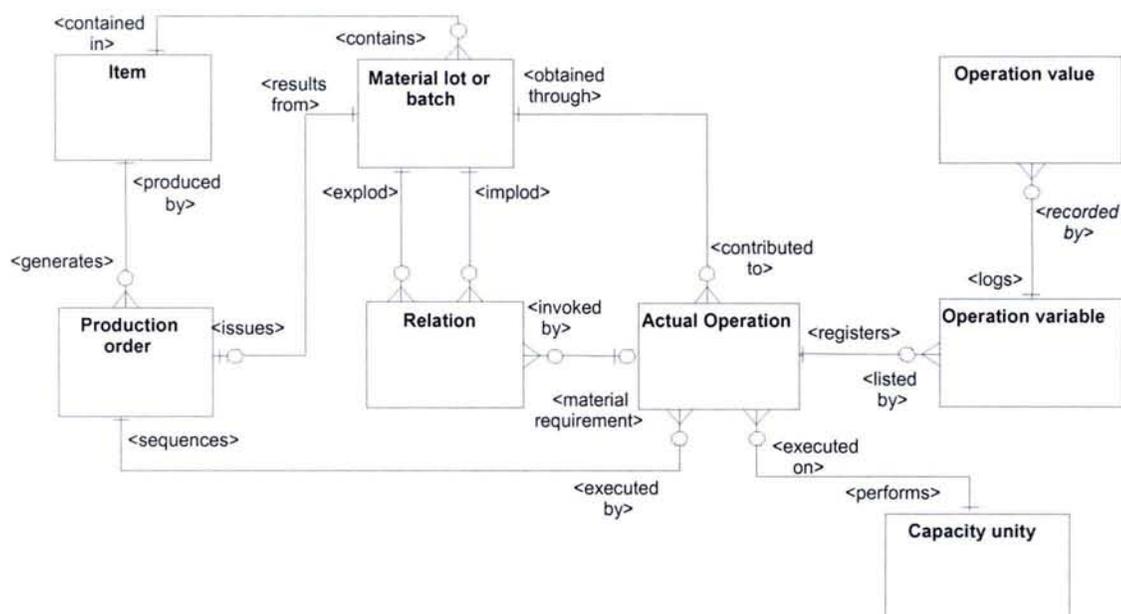


**Figure IV.7.** Exemple d'un graphique *gozinto* pour la production des matériels M1 et M9

Cette liste graphique est ensuite traduite dans un modèle de données de référence qui est la base pour la conception du système d'information pour la traçabilité (figure IV.8). La composition de certains produits finis est représentée à travers la modélisation de tous les matériels constituants et de leurs différentes relations intermédiaires. Quand la séquence complète d'assemblage pour fabriquer un produit fini est terminée, une liste à multi-niveaux de lot appelée BOL<sup>5</sup> est compilée. Cette liste fournit l'information nécessaire pour déterminer la composition d'un lot d'articles. Cette composition de données peut être utilisée pour rappeler tout article ayant consommé un composant donné. Elle sert également à certifier la qualité du produit et à ajuster pro-activement le processus de production pour optimiser la qualité du produit.

<sup>4</sup> BOM : Bill of material

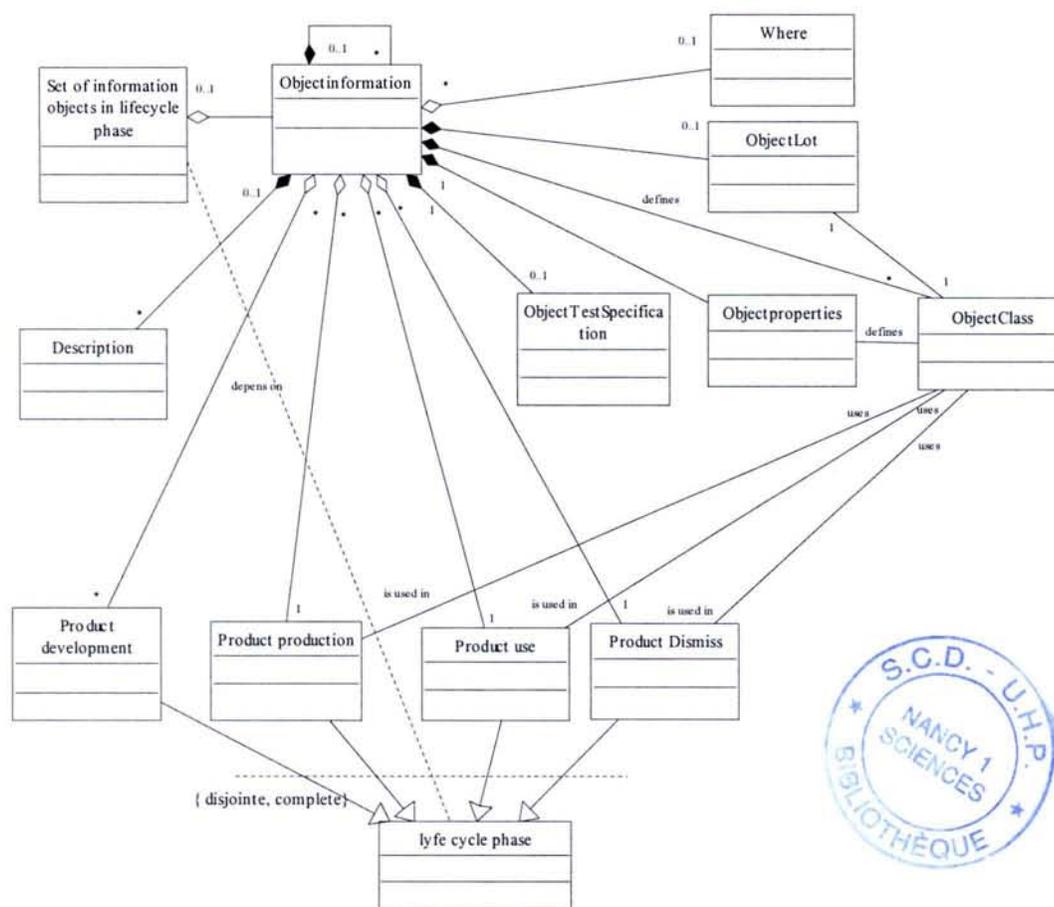
<sup>5</sup> BOL : Bill of lots



**Figure IV.8.** Modèle de référence pour l'industrie agroalimentaire [van Dorp 04]

Un prototype du modèle proposé par van Dorp a été développé et puis testé en entreprise. En conclusion, il semble que les fonctionnalités “trace de lots ou batch” et “opérations exécutées” soient correctement prises en compte par le modèle. Cependant certains points faibles de ce modèle ont été constatés. Ils sont liés aux interfaces du system d'information, à la prise de décision, aux produits labellisés et à l'intégrité du produit. Par exemple, pour le premier point, il manque l'interface avec le système ERP ou encore l'intégration avec le système de pilotage de l'atelier, l'intégration avec les systèmes de qualité et l'intégration avec l'équipement de l'identification automatique et de capture. Le modèle proposé par van Dorp concerne uniquement le secteur agroalimentaire et n'a pas été testé dans le secteur manufacturier. Cependant, il fournit une méthodologie de modélisation en se focalisant sur les aspects les plus importants de la traçabilité.

Dans le travail de [Terzi *et al* 04], sont illustrés les résultats préliminaires de l'approche holonique pour la traçabilité des produits. Les auteurs proposent un modèle dans lequel le produit supporte la partie informationnelle pour la traçabilité (Holon-produit) tout au long de son cycle de vie. Ce modèle réutilise des concepts existants autour des standards d'entreprise comme PLCS, MANDATE, ANSI/ISA-95 et PLM@XML. Une partie du meta-modèle proposé par Terzi est représentée dans la figure IV.9. Il formalise, sous UML, la structure du système d'information associé aux données de traçabilité des produits. Ce modèle reste tout de même conceptuel et doit être validé.



**Figure IV.9.** Structure du système d'information associé à la traçabilité produit [Terzi *et al* 04]

Il est important d'insister sur le fait que le modèle proposé par [Terzi 04] prend en compte une traçabilité où le produit lui-même est capable de porter l'information, de faire évoluer son état d'information, et d'agir sur le processus, ceci grâce aux systèmes à identifiant interprétable localement (SIIL) comme les RFID.

Dans notre cas, aucune hypothèse sur le type d'identification n'est faite (elle doit inclure l'approche biométrique pour les industries du bois que nous proposons) avec comme objectif de suivre et trouver la trace d'un produit. Le modèle sera développé plus loin dans ce mémoire.

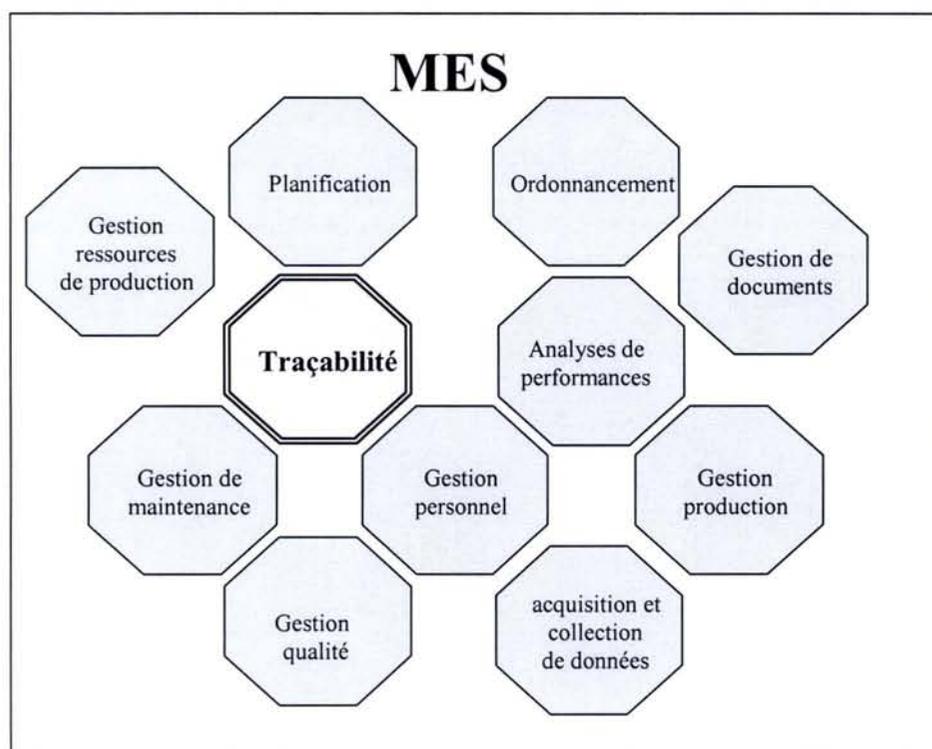
[Cauvet 01] mentionne que malgré le fait que la traçabilité soit amplement justifiée et recommandée, les standards ne donnent pas d'indication sur la façon dont les liens de traçabilité doivent être réalisés, ce qui pose un véritable problème pour la mise en œuvre des systèmes d'information.

#### IV.4. Positionnement de la traçabilité

Pour trouver la place de la traçabilité dans le système de l'entreprise nous nous sommes inspirés du standard ISA95.

ISA 95 décrit dans le domaine du contrôle (niveau 3, figure IV.4) la fonction qui consiste à fournir l'état de production et la disposition du travail. Cette information peut inclure le personnel associé au travail, les matériaux composants, les conditions de production en temps réel, des alarmes et d'autres exceptions liées au produit. Cette fonctionnalité inclut la capacité d'enregistrer l'information de production pour permettre une traçabilité ascendante ou descendante des composants et leur utilisation dans chaque produit final.

Dans cette hiérarchie, le niveau 3 est opéré par les systèmes MES (Manufacturing Enterprise System). MESA<sup>6</sup> définit les onze éléments d'un MES qui constituent la base des informations dans tout type d'entreprise (figure IV.10). La traçabilité est une des ces fonctions.

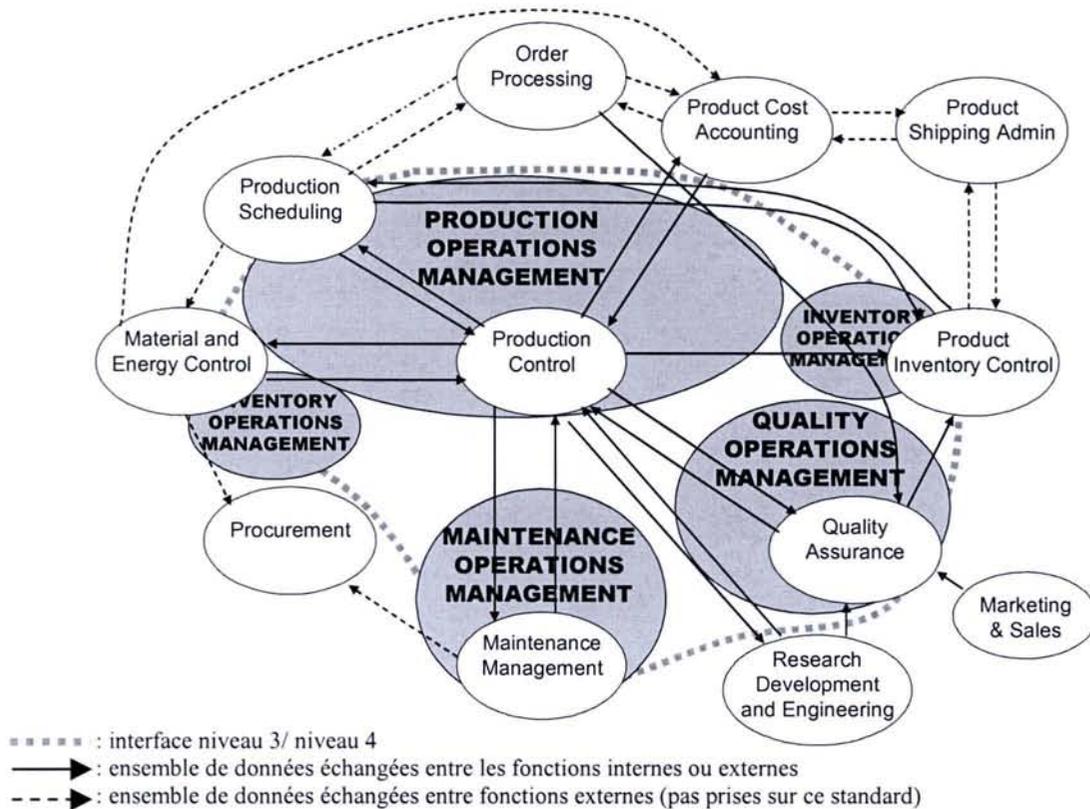


**Figure IV.10.** Modèle fonctionnel de MES [MESA International 97]

<sup>6</sup> MESA : Manufacturing Enterprise System Association

La figure IV.11 montre les différentes activités de gestion des opérations définies par le standard ISA95. La plus grosse ligne en pointillé est équivalent de l'interface niveau 3/ niveau 4 de la figure IV.4, les flèches en continu représentent un ensemble de données échangées entre les fonctions internes ou externes. Les flèches en pointillé représentent un ensemble de données échangées entre fonctions externes et qui ne sont pas prises sur ce standard.

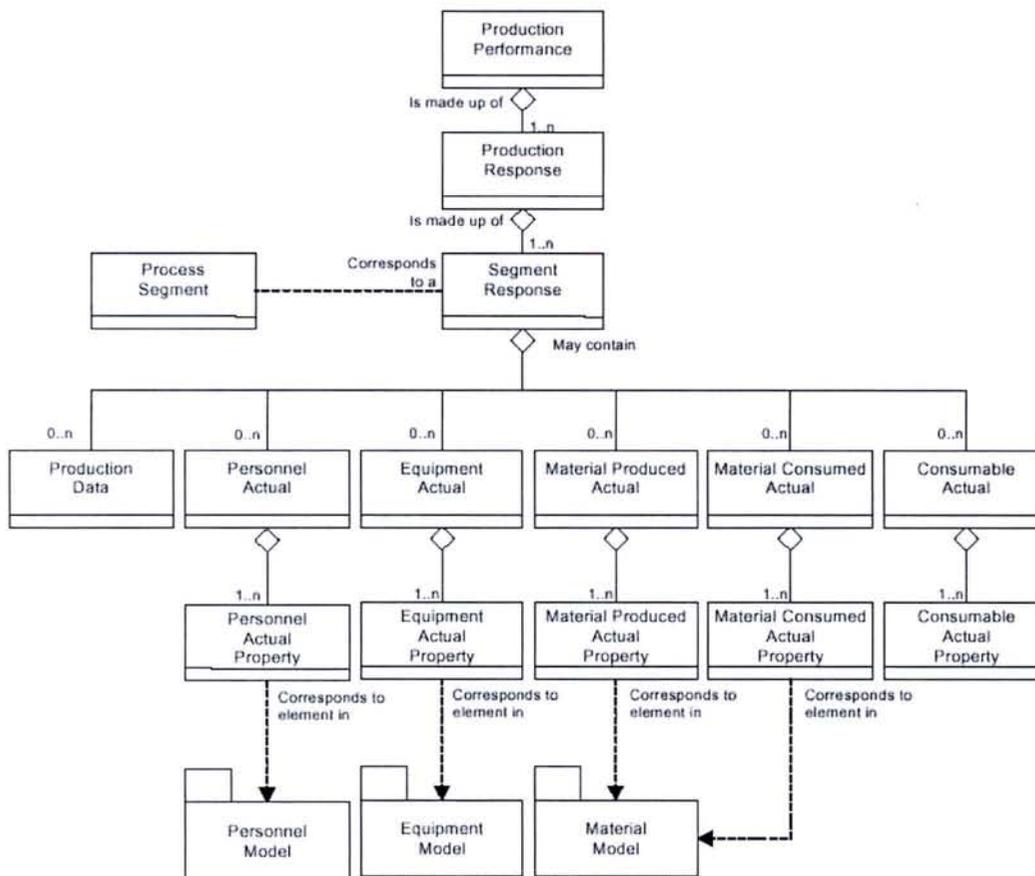
La gestion des opérations est subdivisée en quatre catégories : gestion des opérations de production, gestion des opérations de maintenance, gestion des opérations de qualité et gestion des opérations d'inventaire.



**Figure IV.11.** Modèle de gestion d'opérations de système manufacturier [AINSI /ISA -95-00-03-2004]

L'essentiel de l'information contenue dans le modèle de la figure IV.11 s'insère dans trois catégories d'information : l'information requise pour produire un produit, l'information liée à la capacité de produire un produit, et l'information sur la production actuelle d'un produit. Dans notre cas, le type d'information qui nous concerne est lié à cette troisième catégorie (en lien avec "production control" sur la figure IV.11). La fonction "production control" de cette figure englobe plusieurs des fonctions associées au contrôle. C'est ici que sont générées et stockées les informations du processus. Celles-ci seront mises à disposition des autres

fonctions du modèle ou utilisées par la fonction de contrôle elle-même. Elle est donc au cœur même de la problématique de traçabilité et permettra de renseigner sur ce qui se passe à un moment donné, mais aussi d'accéder à ce qui a été déjà fait sur le produit. Cependant, la traçabilité n'apparaît pas en tant que telle dans cette norme. Elle apparaît de manière implicite dans la classe "segment de réponse" du modèle de performance de production (figure IV.12). Ce segment de réponse est constitué d'information sur le produit, le personnel, l'équipement, le matériel consommé, le matériel produit et les consommables, à l'instant t. Les attributs de chaque classe du modèle sont définis par [ANSI/ISA-95-00-02-2001].



**Figure IV.12.** Modèle de performance de production [AINSI /ISA -95-00-01-2000]

Nous avons décidé de ne pas utiliser directement ce modèle pour atteindre notre objectif. Les raisons principales sont les suivantes :

- le modèle proposé par cette norme ne précise pas comment les différentes opérations d'espace, de temps ou de forme sont associées aux produits.
- le lien du produit avec son identifiant (obtenu par un système d'identification automatique quelconque) n'est pas mis en évidence.

Bien évidemment, ce modèle pourrait par la suite être adapté pour complètement suivre le standard ISA.

Nous nous sommes proposés de créer un modèle de système d'information capable de supporter la traçabilité. L'objectif demeure d'aboutir à un modèle centré sur le produit individuel (item) où les systèmes d'identification apparaissent clairement.

#### **IV.5. Construction du modèle**

Le modèle que nous proposons prend en compte quelques aspects définis par [van Dorp 04] pour avoir une représentation plus précise du système à modéliser et des aspects de la norme [ANSI/ISA-95-00-01-2000].

Les points suivants nous semblent cruciaux à être représentés sur notre modèle :

- la définition des objets présents dans le système incluant leur trace et localisation,
- les relations entre ces objets et l'information contenue pour chaque objet.

##### **IV.5.1 Exigences**

Selon la définition de traçabilité, on constate que le modèle de traçabilité exige les aspects suivants:

- La mise en évidence de moyens d'identification automatique permettant le suivi de produit,
- La connaissance de l'utilisation ou de la localisation d'une entité dans le processus, c'est-à-dire, l'emplacement du produit, dans quel état, sur quelle machine et avec quel opérateur.
- La disposition d'un historique du produit, c'est à dire, un enregistrement de toutes les informations liées au produit pendant leur cycle de production. On peut mentionner (figure IV.13) :
  - les références des pièces utilisées dans un processus d'assemblage,
  - la sauvegarde de l'information et la génération de nouvelles références dans un processus de désassemblage,
  - la référence du lot auquel le produit appartient, le cas échéant,
  - la date et l'heure de passage du produit pour chaque opération,

- des informations supplémentaires comme des mesures issues des capteurs ou équipements, doivent être ajoutées aux informations du produit.

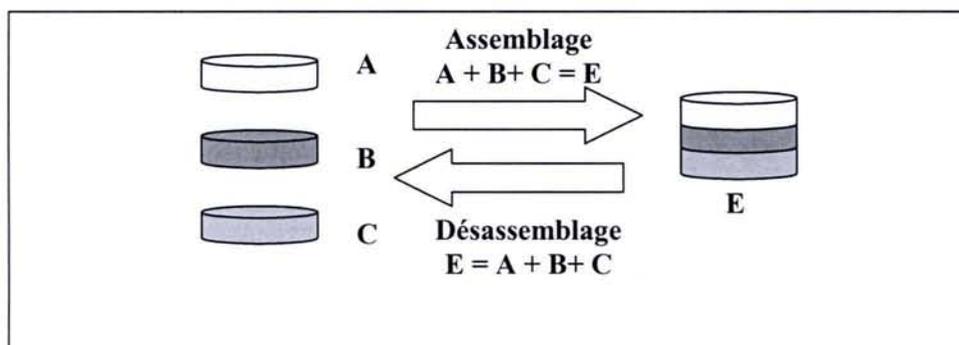


Figure IV.13. Cas d'un produit assemblé et un produit désassemblé

#### IV.5.2 Explication du diagramme

Dans le formalisme de diagramme de classe UML nous présentons le diagramme de classe pour la traçabilité (figure IV.14). L'explication des éléments constituant le diagramme est :

- Un `item_produit` quelconque (matière première ou secondaire) est à un instant donné lié à une opération. Une association de composition est mise sur cette classe ce qui veut dire qu'un `item_produit` peut être composé d'un produit ou de plusieurs produits (un lot qui contient plusieurs produits, un produit désassemblé, un produit composé pour l'assemblage des composants).
- Une opération peut être une transformation, un transport ou un stockage, cette classification est faite par une généralisation.
- En même temps, une transformation peut être de trois types : simple (un produit vers un produit), assemblage (plusieurs produits vers un produit : la fabrication d'un nouveau produit ou un lot ou un paquet), désassemblage (un produit vers plusieurs produit : la fabrication des nouveaux produits ou le fait de déballer un lot ou un paquet).
- Tout `item_produit`, pour être tracé, doit posséder une identification. Dans cette classe nous voulons mettre en valeur l'approche d'identification que nous développons, c'est

pourquoi, nous faisons la différence entre une identification de type biométrique, et non\_biométrique, supportées par une technologie différente. L'identification non\_biométrique est le terme générique regroupant à la fois RFID, les code à barres et la reconnaissance de caractères. Pour l'identification biométrique, nous pouvons différencier l'empreinte chimique, l'empreinte génétique et la signature interne.

- Pour la traçabilité, une trace du produit doit être gardée et cette trace existe seulement si une opération a été effectuée sur un item\_produit. Donc la trace apparaît comme une relation entre deux classes : la classe item\_produit et la classe opération. Pour ce faire, une classe association “trace” est créée. La durée effective d'une opération peut être connue à partir des données enregistrées sur les classes “trace\_entrée” et “trace\_sortie”. Celle-ci peut être différente de la durée prévue ou théorique définie comme attribut dans la classe operation\_item.
- La double association entre la classe item\_produit et la classe opération a été mise place pour résoudre les problèmes apparaissant lors des opérations d'assemblage et désassemblage. L'objectif est de pouvoir créer des nouvelles références tout en conservant l'origine des produits ayant été assemblés. De plus, les multiplicités (ou cardinalités) permettent de dire qu'un type d'opération peut être fait sur 1 ou plusieurs produits, cas particulier de l'assemblage. A l'opposé, l'opération de désassemblage est réalisée toujours sur un seul produit (lot ou article). Dans ce cas, la classe de sortie correspond à plusieurs nouveaux produits, ceci est déjà représenté dans la classe item\_produit avec l'association de composition.
- Pour enrichir l'information liée au produit (valeur ajoutée sur l'information), les classes mesure\_opération liées à la classe opération et mesure\_produit liées à la classe produit ont été introduites. La multiplicité de l'association veut dire que, pour toute opération sur un produit, aucune ou plusieurs mesures peuvent être faites. De même, une mesure prise n'appartient qu'à une seule opération. Il est pertinent de connaître lesquelles seront effectuées puis stockées au sens de la traçabilité.

- Sur la classe opération, la classe machine a été introduite avec comme objectif de savoir sur quelle machine un produit a été réalisé et une classe opérateur pour connaître, le cas échéant qui est intervenu pour la fabrication du produit.

Les commentaires ajoutés sur le diagramme sont les suivants :

- Des mesures sur le produit peuvent servir d'identification. Dans l'approche d'identification que nous avons développée, une mesure sur le produit par micro-ondes sert d'identification.

Nous avons ajouté une particularité du système d'identification biométrique :

- L'identification biométrique n'a pas besoin de la pose de matériel sur le produit. En revanche, contre les systèmes d'identification non-biométriques ont besoin d'une forme de préparation du produit. En effet, un assemblage doit être effectué pour mettre en place l'identifiant sur le produit.

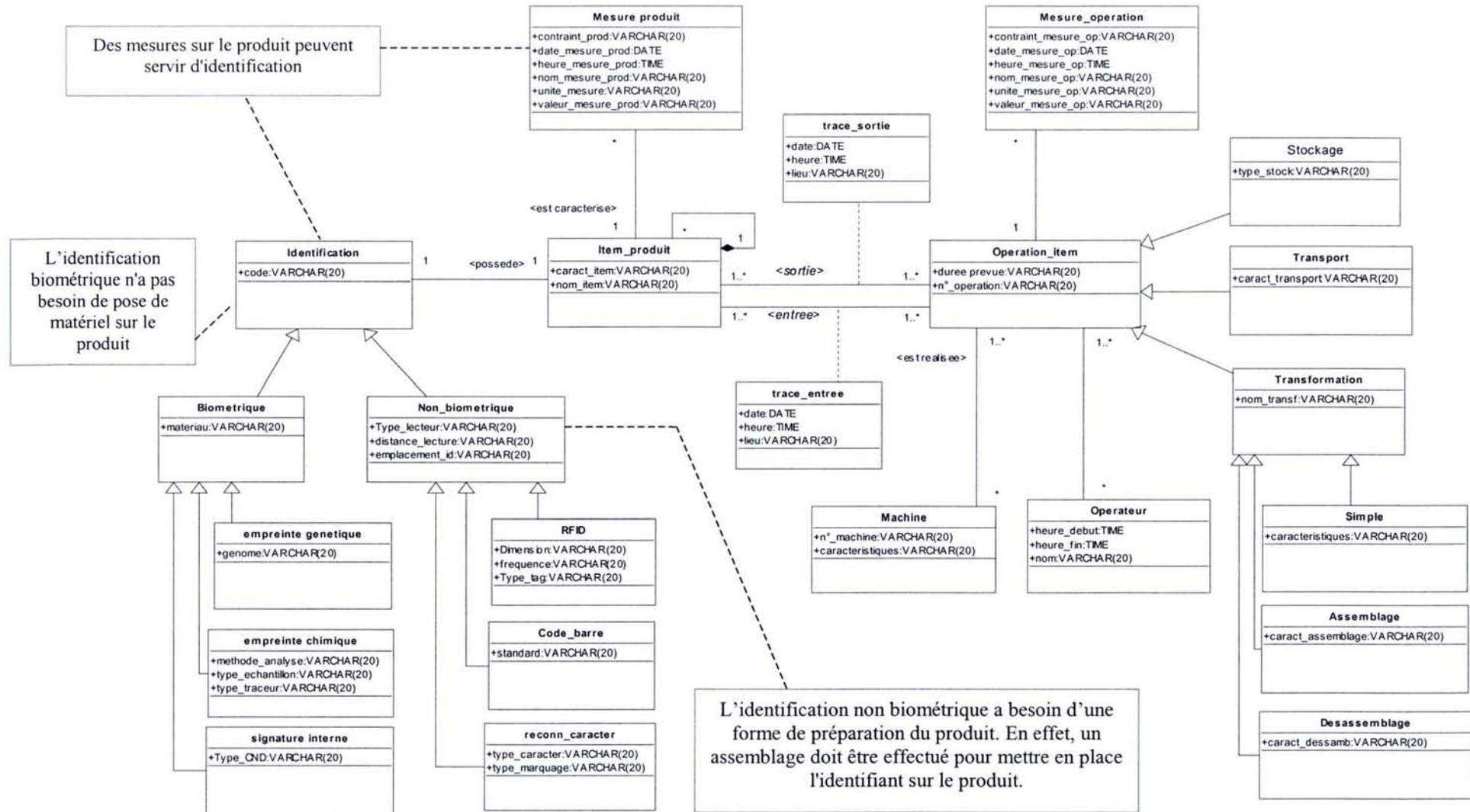


Figure IV.14. Diagramme de classe pour le système d'information intégrant la traçabilité

## IV.6. Implantation

Le seul moyen pour vérifier que la structure du système d'information réalisée permet de contenir toutes les données souhaitées en conservant la sémantique qui les lie, est de renseigner manuellement un exemple. Ainsi la validation du modèle consiste à valider la cohérence des données. L'exemple choisi est celui de la fabrication des fenêtres, en incluant notre approche biométrique dans le flux des opérations.

Pour ce faire, une fois le modèle construit, nous devons réaliser les étapes suivantes pour arriver à obtenir la base de données (figure IV.15).

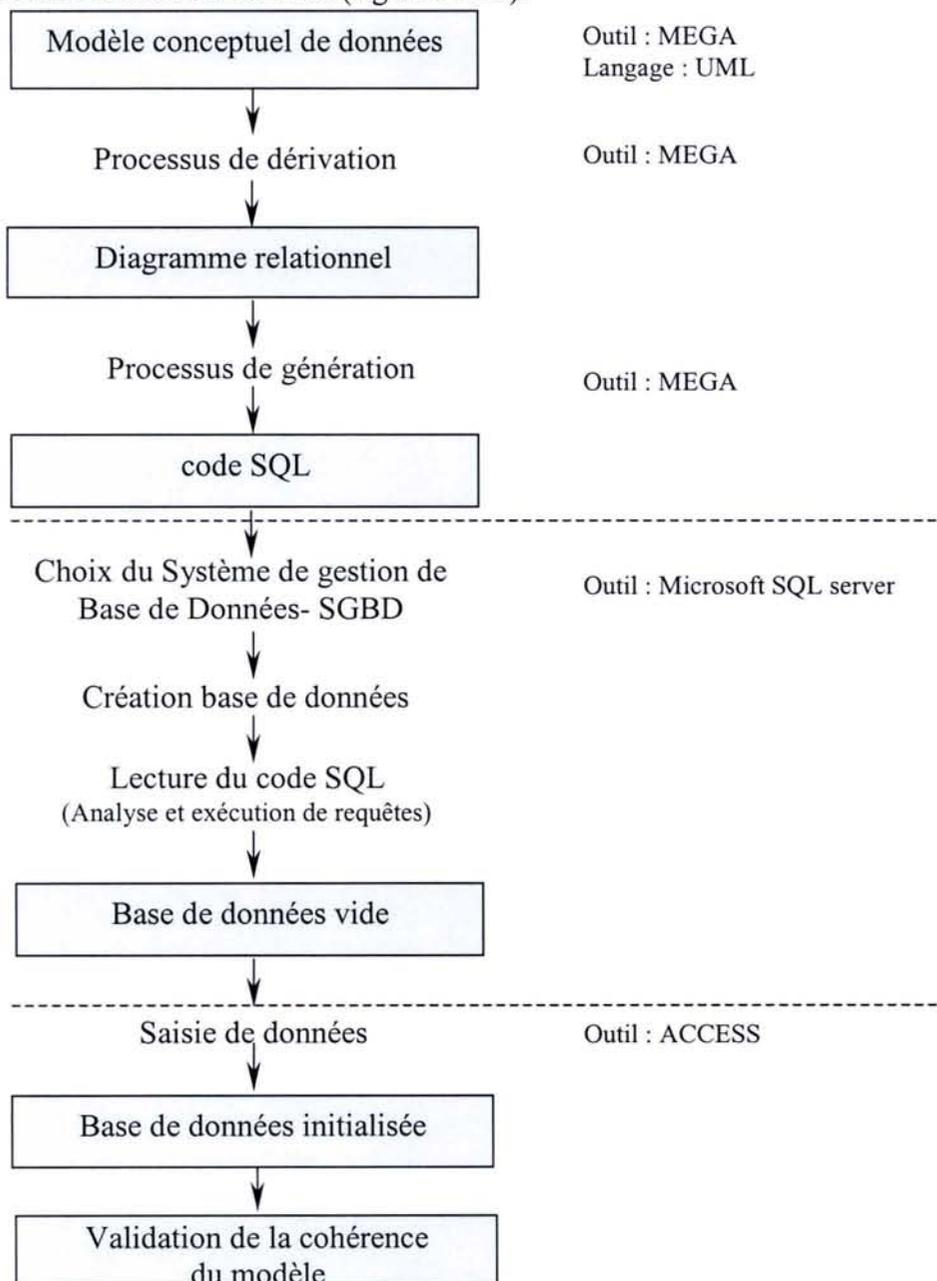


Figure IV.15. Méthodologie de création du système d'information

La figure IV.16 montre le schéma relationnel obtenu sur SQL server après dérivation du diagramme de classe de la figure II.14. Après présentation du diagramme relationnel nous montrerons notre cas d'application.

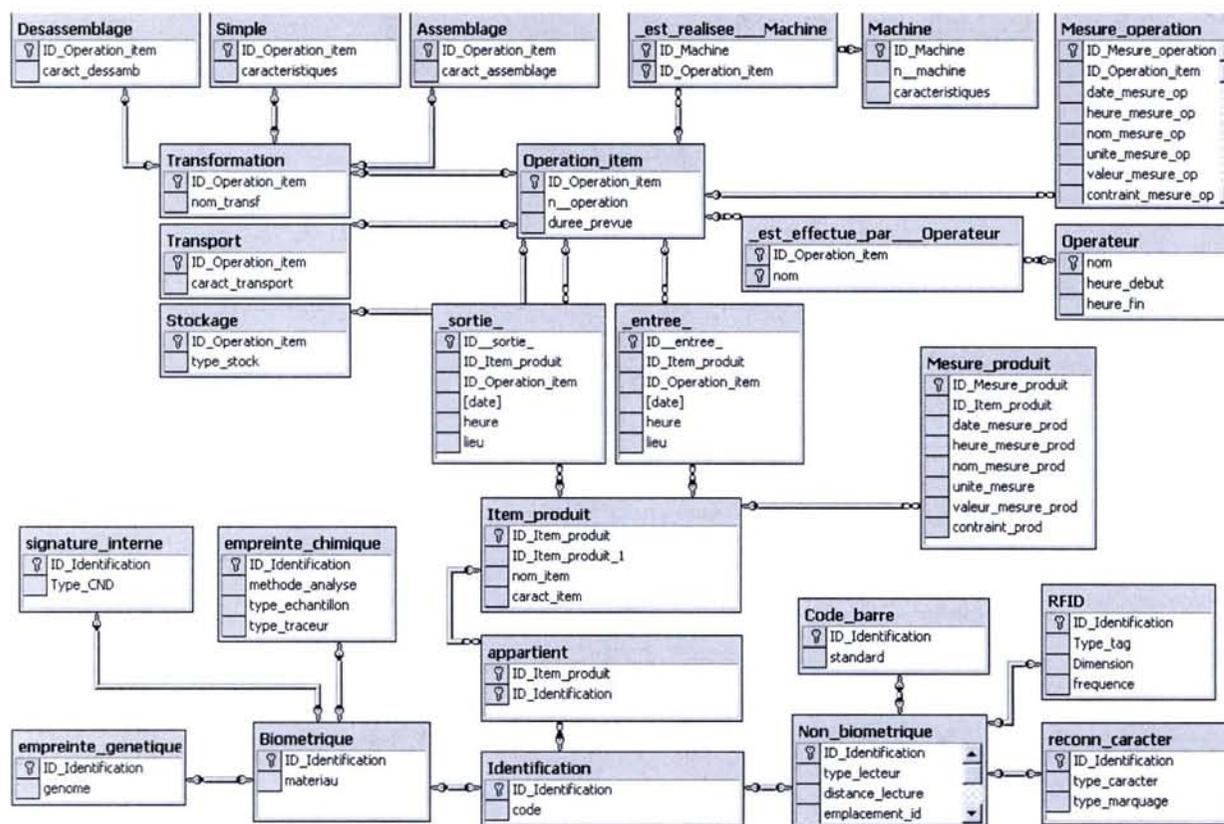


Figure IV.16. Diagramme relationnel

## IV.6.1 Application du modèle sur un atelier de finition de fenêtres

### IV.6.1.1 Fabrication d'un dormant de fenêtre

La figure IV.17 montre une vision schématique des étapes de la fabrication de fenêtres. La réception de la matière première prend lieu en (1), elle est constituée de : carrelets, peintures, vernis, teintes, quincaillerie, vitres, etc. Les différents matériels sont stockés en (2) pour les peintures, le vernis et les teints, en (3) pour les carrelets et en (4) pour la quincaillerie, vitres, et autres. Les carrelets sont ensuite moulurés et usinés en (5) et assemblés dans l'atelier des cadres (6). Les cadres sont stockés en (7). Une partie des cadres est sortie de (6) pour appliquer la finition en (8). Après la finition, les cadres peints sont stockés en (9). Les cadres sont transportés à l'atelier de produit fini, l'assemblage final (fenêtre) est fait en (10) selon les spécifications du client. Finalement, les fenêtres sont stockées en (11) pour être délivrées au client, (12).

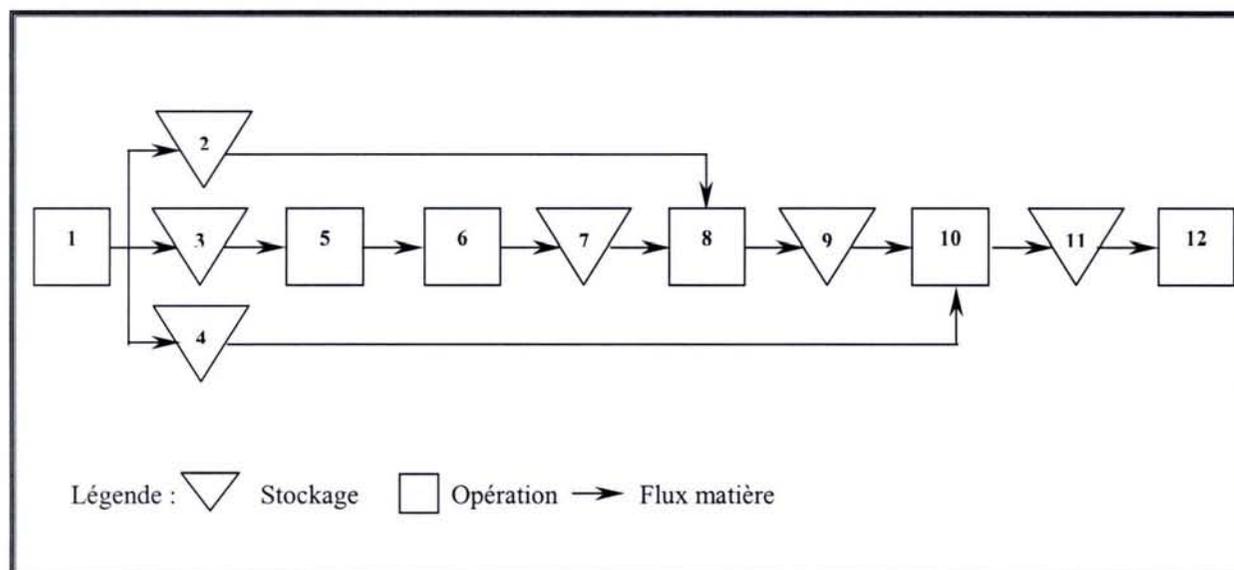


Figure IV.17. Etapes de fabrication d'une fenêtre

Donc, nous pouvons citer les trois états du produit dans la fabrication d'une fenêtre :

- un état "carrelet" où des opérations simples sont réalisées (usinage, moulurage),
  - un état "cadre assemblé", ici une opération d'assemblage est réalisée avec 4 carrelets.
- Dans ce cas, le système d'information doit être capable de créer une nouvelle

référence sans perdre la trace de ses composants, ceci est une situation à tester sur le modèle,

- un état cadre peint, ici une opération simple de finition est réalisée.
- finalement, un état cadre fini, ici l'assemblage des autres composants sont ajoutés, ex : la quincaillerie et les vitres.

#### **IV.6.1.2** Problème d'identification

La figure IV.18 montre les états qu'un cadre présente jusqu'à sa forme finie et les différents liens informatiques qui doivent être mis en place sur cette chaîne. Le problème d'identification pour arriver à une traçabilité efficace dans cet atelier est ensuite détaillé.

Actuellement, lorsque les cadres sont assemblés, un code imprimé est mis sur le cadre (composant principal d'une fenêtre). Après stockage, ils sont transportés et disposés dans la cabine de finition. Ici, les cadres n'ont aucun ordre et après traitement de finition le code est effacé par la peinture. Le fait de n'avoir pas un ordre FIFO, oblige qu'un opérateur affecte de nouveau le code en fonction de la couleur ou de la dimension, par exemple. Ceci a deux inconvénients : une perte de temps pour trouver le bon code et un manque de fiabilité sur l'assignation de ce code.

Nous proposons de lire le code au début de cette chaîne et ensuite, de faire une acquisition avec le capteur micro-onde (MO), nous associons ce code à la signature. L'ensemble des signatures constitue notre espace de référence de signatures connues. Après sortie de finition, une nouvelle signature est acquise. Le processus d'identification permet d'attribuer une identité à cette signature inconnue. La signature une fois connue sert à retrouver le code effacé lors de l'application de la finition et à accéder aux informations, sur le client par exemple.

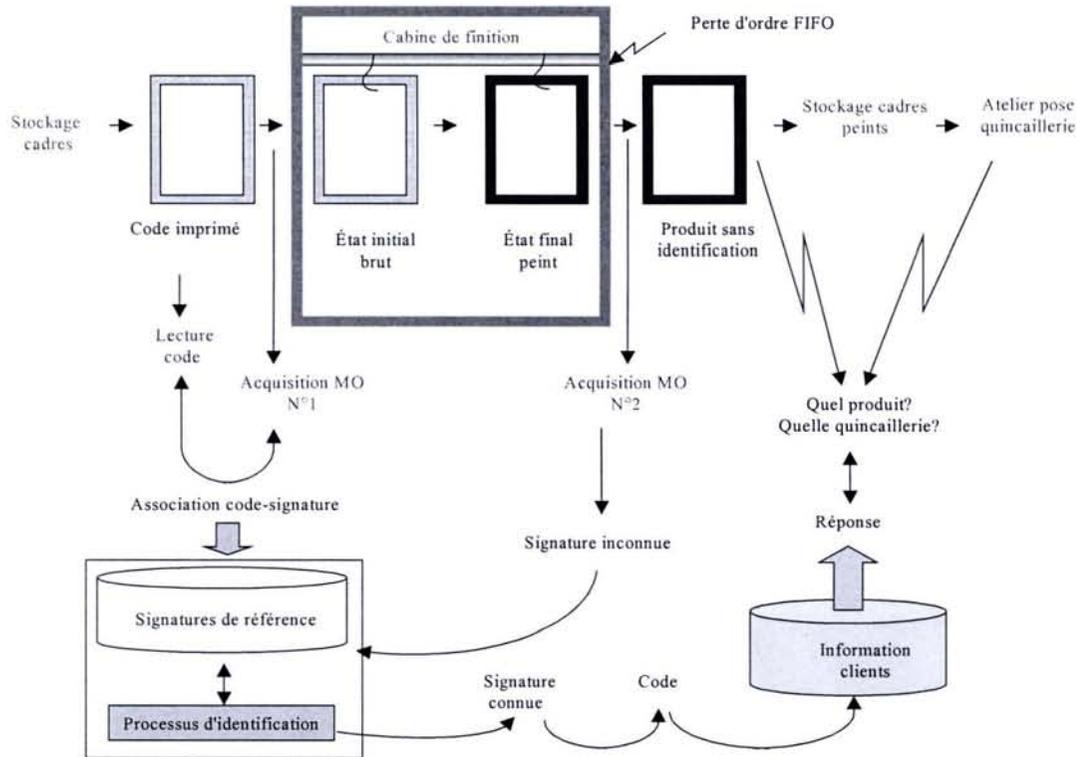


Figure IV.18. Du cadre au produit fini, conservation de la trace

#### IV.6.1.3 Problèmes rencontrés lors de l'implantation

Nous avons testé les situations des opérations simples sur un carrelot et la situation d'assemblage. La proposition du modèle de système d'information intégrant la traçabilité semble, d'un point de vue théorique, correct.

Le modèle crée en langage UML est bien adapté pour la conception des systèmes d'information, cependant le passage au modèle logique présente quelques difficultés quand on veut rentrer les données souhaitées dans la base de données :

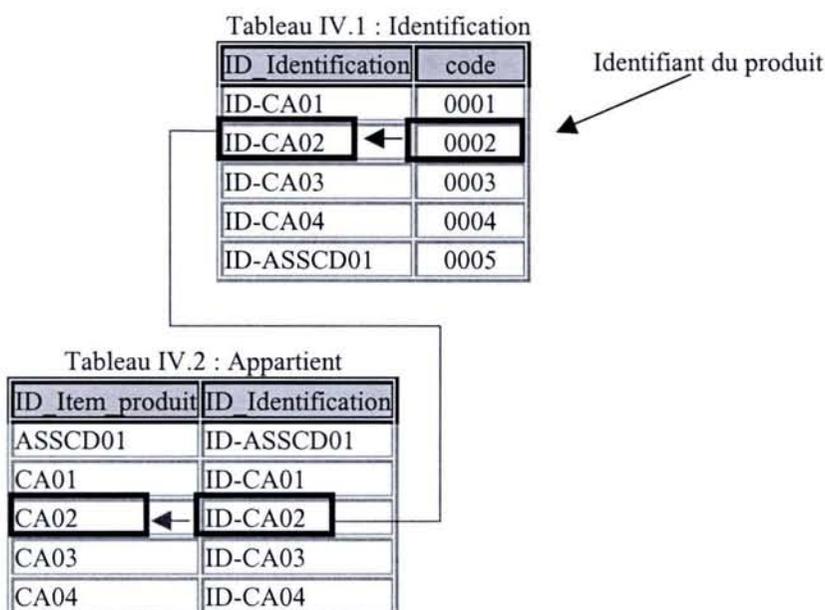
- Problème de l'association avec multiplicité (1..1) : ce problème a été rencontré entre la classe `item_produit` et la classe d'identification. Avec cette multiplicité, il faut renseigner en même temps ces classes dans la base de données, ce qui est impossible. De plus, à un instant donné, un `item_produit` a une identification unique et cette identification lui est propre. Cependant lorsque ce produit subit une transformation simple, de stockage ou de transport, l'identification (le code) ne change pas. Cette situation n'est pas permise avec les contraintes de notre modèle.

- Problème pour l'association de composition sur la classe item\_produit : elle correspond au cas de l'assemblage. Dans le modèle logique, il faut avoir la capacité de référencer un produit inexistant, puisque l'on connaît a priori à quel item\_produit appartient un composant.

Les problèmes ont été résolus soit en changeant les multiplicités dans le modèle UML ou directement sur Access. Nous montrons ensuite un exemple d'assemblage, qui a été la situation plus difficile à gérer.

#### IV.7. Exemple de saisie de données pour l'assemblage

L'identification d'un produit par un système d'identification automatique nous permet d'avoir son code (identifiant). Grâce à ce code, nous pouvons obtenir l'ID\_item\_produit via le tableau d'identification pour ensuite accéder aux informations du produit de la manière suivante (tableau IV.1 et tableau IV.2).



L'obtention de l'ID\_item\_produit permet d'accéder au tableau IV.3 d'item\_produit et de connaître les caractéristiques d'un item\_produit ; si l'item\_produit est un composant, le produit auquel il a contribué est donné. Ex : CA01, CA02, CA03 et CA04 sont les carreaux composants du cadre ASSCD01.

Tableau IV.3 : Item produit

ID Item produit	ID Item produit 1	nom item	caract item
CA01	ASSCD01	carrelet prêt	sapin
CA02	ASSCD01	carrelet prêt	sapin
CA03	ASSCD01	carrelet prêt	sapin
CA04	ASSCD01	carrelet prêt	sapin
ASSCD01		cadre	sans finition

Composant
Produit assemblé
Caractéristiques

Lorsque cet item entre en opération, sa trace en entrée est enregistrée (tableau IV.4) :

Tableau IV.4 : Entrée

ID_entree	ID Item produit	ID Operation item	date	heure	lieu
IDE-ASS-CD01	CA01	ID-ASS-CD01	15/06/2005	08:00:00	atelier montage
IDE-ASS-CD02	CA02	ID-ASS-CD02	15/06/2005	09:00:00	atelier montage
IDE-ASS-CD03	CA03	ID-ASS-CD02	15/06/2005	09:22:00	atelier montage
IDE-ASS-CD04	CA04	ID-ASS-CD04	16/06/2005	10:00:00	atelier montage

L'item produit CA02 est entré dans l'opération ID-ASS-CD02 le 15/06/2005 à 9:00:00 dans l'atelier montage.

À travers l'ID\_operation\_item (ID-ASS-CD02) nous saurons quelle opération a été réalisée sur le produit et ses caractéristiques (tableau IV.5, IV.6 et IV.7):

Tableau IV.5 : operation

ID Operation item	duree prevue
ID-ASS-CD01	10 min
ID-ASS-CD02	10 min
ID-ASS-CD03	10 min
ID-ASS-CD04	10 min
ID-ASS-CB01	10 min

Tableau IV.6: Transformation

ID Operation item	nom transf
ID-ASS-CD01	montage cadre
ID-ASS-CD02	montage cadre
ID-ASS-CD03	montage cadre
ID-ASS-CD04	montage cadre

Tableau IV.7 : Assemblage

ID Operation item	caract assemblage
ID-ASS-CD01	Type A
ID-ASS-CD02	Type A
ID-ASS-CD03	type A
ID-ASS-CD04	type A

Ensuite, en fonction de l'opération réalisée la sortie de l'opération peut varier. Dans le cas d'une transformation (usinage par exemple), l'entrée est un item\_produit, la sortie est également un item\_produit.

Dans le cas d'un assemblage, plusieurs item\_produits sont consommés en entrée, l'opération renvoie alors en sortie un nouvel item\_produit (composé des entrées). C'est le cas illustré dans le tableau IV.8. Quatre item\_produits carrelets sont déclarés en début d'opération et le produit cadre est déclaré en fin d'opération.

Tableau IV.8: Sortie

ID sortie	ID Item produit	ID Operation item	date	heure	lieu
IDS-ASS-CB01	ASSCD01	ID-ASS-CB01	16/06/2005	12:00:00	atelier montage

↓
Produit assemblé
}
Trace du produit

Les caractéristiques du cadre sont obtenues à partir du tableau item\_produit (tableau IV.9).

Tableau IV.9 : Item produit

ID Item produit	ID Item produit 1	nom item	caract item
CA01	ASSCD01	carrelet prêt	sapin
CA02	ASSCD01	carrelet prêt	sapin
CA03	ASSCD01	carrelet prêt	sapin
CA04	ASSCD01	carrelet prêt	sapin
→ ASSCD01		cadre	sans finition

}
Caractéristiques

### IV.8. Conclusion

Nous avons vu que l'identification automatique est indispensable dans tout système d'information, l'identifiant est la clé d'une base de données qui permettra d'accéder aux informations utiles à l'entreprise. C'est une des garanties du pouvoir réactif de l'entreprise face aux problèmes de qualité, rappel des produits, amélioration de performances, etc. Par conséquent, la capacité de traçabilité de l'entreprise dépendra du bon lien entre les systèmes d'identification et la structuration des données dans la base de données qui supporte le système d'information.

La traçabilité de produits au niveau individuel est un des cas les plus complexe à gérer. Ceci est principalement causé par la grande quantité d'information qu'il faut conserver sur chaque produit, que ce soit pour informer le client ou renseigner l'entreprise.

Nous l'avons dit, les systèmes d'information intégrant la traçabilité ont été très peu développés dans la littérature. De plus, aucun des modèles trouvés ne montre la façon de lier le produit et l'information (lien avec les systèmes d'identification automatique) ni ne montre explicitement comment la traçabilité est obtenue.

D'un point de vue normatif, nous avons analysé la place de la traçabilité dans l'entreprise selon l'ISA95. Elle correspond au niveau MES (niveau 3), c'est en effet dans ce niveau que les informations sont formatées et mises à disposition pour les différents acteurs de l'entreprise. La place de l'identification automatique se situe donc dans les niveaux inférieurs du modèle hiérarchique.

Dans ce chapitre nous avons abouti à la construction d'un modèle de système d'information qui prenne en compte les différents éléments indispensables pour la traçabilité : le produit dans ses différents états (composant, produit semi-fini, produit fini), les différents moyens d'identification automatique qui peuvent être utilisés, les différents opérations réalisées sur le produit, les ressources utilisés (humaines et machines). Nous avons aussi pris en compte l'information provenant des capteurs qui sont souvent placés dans la chaîne de production. Cette information est stockée et elle correspond à l'information ajoutée sur le produit et sur les opérations. Sa connaissance est très importante du sens de la traçabilité. Finalement, la trace d'un produit est intégrée dans notre modèle, sur réserve qu'une opération ait été réalisée dessus.

L'étape de validation du modèle a été réalisée en testant sa cohérence, en particulier, en s'assurant que la saisie et la recherche des données suivaient bien le modèle théorique construit.

Ainsi, nous avons montré qu'un produit ayant subi une transformation est traçable, qu'il soit composant d'un assemblage ou produit assemblé.

Dans une phase suivante, ce qui reste à faire est d'automatiser les différentes opérations en fonction des données venant des lecteurs (l'identification peut être simulée). Aussi, la mise en oeuvre d'un tel système d'information nécessite de compléter les informations dont on souhaite disposer et les différents moyens d'identification utilisés dans le cas réel de l'entreprise. Il faut penser que dans le cas d'une identification par signature interne, il y a un processus d'identification (acquisition de la signature - stockage de signatures- re-acquisition d'une signature- reconnaissance du produit et obtention du code) que doit être lié à la dynamique du système d'information.

*Conclusion*

---

## **Conclusion**

Aujourd'hui la traçabilité est un concept qui a pris de l'ampleur dans tous les secteurs industriels, elle n'est plus seulement liée aux secteurs agroalimentaire ou de la santé.

Nous avons montré dans notre thèse tous les aspects concernant la traçabilité et nous avons conclu que son apparition dans les actuels systèmes manufacturiers est principalement liée à la recherche d'une amélioration de performances logistiques et une nécessité des entreprises à s'adapter aux exigences du consommateur (qualité, sécurité, personnalisation des produits). Ce pouvoir d'adaptation joue un rôle très important en matière de compétitivité. Cependant, sa mise en place est complexe, et elle s'accompagne de changements dans l'organisation de l'entreprise.

Une fois que la mise en œuvre d'un système de traçabilité est réussie, elle amène des impacts positifs déjà constatés dans divers témoignages industriels. Malgré ces bénéfices, la littérature liée à la traçabilité, en dehors du secteur agroalimentaire, couvre peu le domaine industriel, à l'exception de l'industrie automobile.

L'enregistrement de l'information liée au produit à chaque étape de la chaîne logistique est vital, il permet de faire le parcours vers l'arrière ou vers l'avant, en conférant au système ses capacités de traçabilité. Ainsi, nous avons insisté sur le fait que l'identification automatique est un élément incontournable à considérer aussi bien sur le terrain par la mise en œuvre de technologies adaptées aux produits et aux processus, qu'au niveau de la gestion des données par l'intégration de manière explicite dans le modèle de système d'information.

Les industries du bois et des fibres naturelles sont les secteurs pauvres de la littérature dans le domaine de traçabilité. Aucune méthodologie centrée exclusivement sur la traçabilité n'est disponible. Au mieux peut-on disposer de témoignages d'industriels généralement orientés sur l'utilisation d'un progiciel particulier. Jusqu'à présent, la littérature sur l'identification automatique dans l'industrie du bois est centrée sur la recherche des nouveaux moyens d'identification (non traditionnels).

Il est un fait que la faible valeur ajoutée des produits dans les industries de première transformation et le coût élevé d'investissement freinent la mise en place de la traçabilité. De plus, les systèmes d'identification ne sont pas adaptés aux conditions imposées par le matériau bois lui-même, par les opérations de transformation et l'environnement agressif du travail. Dans cette filière, un autre axe d'action d'application de la traçabilité émerge : l'écocertification. Pour ce type de label, assurer l'origine de la matière première, avoir un bon suivi des produits et éviter les activités illégales sont des aspects qui nécessitent un contrôle

rigoureux. Pour cela, la mise en place d'une chaîne de traçabilité fiable et performante est une réponse pour pouvoir garantir un bon fonctionnement.

Nous avons constaté qu'aucune technologie d'identification ne permet de suivre les produits bois pendant tout le processus de transformation.

Dans cette thèse, nous avons présenté une nouvelle technologie pour la traçabilité des produit bois : l'identification par signature interne. L'algorithme d'identification basé sur la méthode du plus proche voisin a une performance acceptable pour la reconnaissance de produits bois dans les conditions testées.

Notre solution d'identification est limitée à certaines étapes des processus de transformation, cependant elle permet une portée plus globale dans la chaîne de production comparée aux autres types de technologies. De plus, il n'est pas nécessaire d'ajouter d'étiquette, c'est à dire qu'il n'y aura pas besoin de consommables et elle peut être adaptée à certains transformations agressives. Elle peut répondre ponctuellement aux ruptures information-produit souvent fréquentes dans la transformation des produits bois.

Le bon suivi de produits peut être atteint dans des situations difficiles, en disposant d'une identification comme celle proposée dans cette thèse. Par exemple, ce type de technologie peut faire la différence entre produits apparemment identiques (en dimension, morphologie ou finition) appartenant à des clients différents.

Bien que ce type d'identification n'aie pas de capacité de stockage d'information sur le produit comme peut le proposer une étiquette RFID, il peut être liée à un système d'information permettant le stockage, la mise à jour et l'accès à l'information.

Le système d'information créé dans cette thèse atteint les objectifs que nous nous sommes proposés :

- il intègre notre système d'identification par signature interne,
- la connaissance de l'utilisation ou de la localisation d'un produit individuel dans le processus est obtenue à travers le modèle,
- on peut disposer d'un historique du produit : les références des pièces utilisées dans un processus d'assemblage, la sauvegarde de l'information et la génération de nouvelles références dans un processus de désassemblage, la référence du lot auquel le produit appartient, spécialement s'il provient d'une forêt certifiée, la date et l'heure de passage du produit pour chaque opération,
- il est également possible de disposer des informations supplémentaires sur le produit, issues des capteurs ou équipements.

Notre modèle de système d'information montre clairement la notion de traçabilité, c'est-à-dire, tout ce qui s'est passé avec le produit à un instant donné dans la chaîne de production et tout ce qui doit être considéré d'un point de vue traçabilité.

Le modèle a été testé avec succès dans le cas particulier de la fabrication de fenêtres où l'on trouve des opérations complexes pour le suivi des produits, comme les opérations d'assemblage et de désassemblage ou la différenciation de matière première (qualité, essence, provenance). La notion de certification est aussi prise en compte par le modèle à travers la caractérisation de la matière première et la conservation de sa trace.

## **Perspectives**

Les perspectives envisagées par la suite de ce travail peuvent être centrées selon un point de vue technologique et selon un point de vue de gestion.

D'un point de vue technologique, il est important de reprendre les problématiques d'assemblage, de désassemblage et des différentes modifications morphodimensionnelles quand on utilise la technologie de signature interne par micro-ondes. Aussi, le processus d'identification développé dans cette thèse doit être validé en testant un nombre plus grand de produits et en mesurant le taux d'erreur d'identification et le temps de calcul. Nous pouvons ajouter pour cette partie de trouver d'autres moyens d'analyse pour mesurer le risque de prise de décision pendant la phase d'identification. Ceci aidera énormément à la performance du système d'identification développé. De même, une autre voie de recherche pourrait résider dans l'utilisation d'autres technologies comme les ultrasons et la vision pour l'identification de produits avec une approche biométrique.

D'un point de vue de gestion, il est intéressant de continuer à étudier l'impact que ce type d'identification a sur le système d'information de l'entreprise. Aussi, étudier comment la synchronisation du flux matière et du flux d'information est réalisée pour la mise à jour du système d'information en temps réel.

Nous avons proposé un modèle supportant la traçabilité, ce qu'il faudra par la suite est d'intégrer le système d'identification par signature interne et le système d'information développé dans cette thèse dans une situation réelle (plate-forme expérimentale) ou sur un processus de simulation. Ceci pour évaluer la capacité réelle de ce système à s'intégrer dans des situations réelles des entreprises et ainsi fixer ses limites (ex : vitesse de production, cycle de vie de ce type d'identification, processus, ..).

## *Références bibliographiques*

---

---

## Références bibliographiques

1. Adams, R., 1990, Sourcebook of automatic identification and data collection, Van Nostrand Reinhold, New York.
2. Ahmad S., 2000, Marking of products with fluorescent tracers in binary combinations for automatic identification and sorting, *Int. J. Assembly Tech. & Management*, Vol. 20, N° 1, pages 58-64.
3. AFNOR, Recueil de normes françaises 1994 : Gérer et assurer la qualité. Tome 1 et 2. Qualité et efficacité des organisations, 5<sup>ème</sup> Edition.
4. ANSI/ISA-95, Enterprise-Control system Integration, instrumentation System and Automation Society. Part 1: Models and Terminology [ANSI/ISA-95-00-01-2000]
5. ANSI/ISA-95, Enterprise-Control system Integration, instrumentation System and Automation Society, Part 2: Object Model Attributes [ANSI/ISA-95-00-02-2001],
6. ANSI/ISA-95, Enterprise-Control system Integration, instrumentation System and Automation Society, Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management [ANSI/ISA-95-00-03-2004].
7. APICS Dictionary, American Production and Inventory Control Society, 2002, Cox J., John H., Blackstone Jr, Publisher Apics, 10th Edition.
8. Baetty R., Choffel D., Charpentier P., 1999, Towards products tracking into wood industries, 14th Int. Wood Machining Seminar, Paris - Cluny - Epinal, France.
9. Barjolle D., and Sylvander B., 2000, Protected designations of origin and protected geographical indications in Europe: regulation or policy?, FAIR, Final report.
10. Becker G., Precision Forestry in central Europe-New. Perspectives for a classical Management Concept. June 2001, Proceedings of the First international Precision Forestry Cooperative Symposium, Seattle, Washington.
11. Bolnot F., 2002, Traçabilité globale, utopie ou réalité ?, *Bulletin de la société vétérinaire pratique de France*, tome 86, N° 3, Page 152.
12. Boyer M., 2004, Etude de traçabilité par étiquette électronique RFID- Application à la filière bois, Rapport de projet 3<sup>ème</sup> année, Enstib.
13. Brun J.M, Pelissier G., 2000, La Traçabilité des données dans l'optique MES, Conférence SEE/FBF-ISA, Lyon, 16 novembre 2000.
14. Bucur V., 2003, Techniques for high resolution imaging of wood structure : A review, *Measurement Science and Technology*, Vol. 14, N° 12, pages 91-98.

15. Cea A., Bajic E, 2004, Ambient Services for Smart Objects in the Supply Chain Based on RFID and UPnP Technology. Third Conference on Management and Control of Production and Logistics, 3<sup>rd</sup> MCPL'04, Santiago de Chile, 3 – 5 November 2004.
16. Charpentier P., Choffel D., 1999. Brevet d'invention : Procédé d'identification de pièces en matière ligneuse, n° 9911040.
17. Charpentier, P., Choffel, D, 2003, The feasibility of intrinsic signature identification for the traceability of pieces of wood, *Forest Products Journal*, Vol. 53, N° 9, pages 40-46.
18. Chaxel F., 1995, Contribution à la gestion et à la conduite des systèmes manufacturiers par les objets nomades de production, Thèse de doctorat, Université H. Poincaré – Nancy I.
19. Choffel D., Martin P., 1996, Microwaves and vision device for mechanical grading, *Proceedings of the 10<sup>th</sup> international symposium of non destructive testing of wood*. August 26-28, 1996, Lausanne, Switzerland, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Pages 331-339.
20. Choffel D., 2002, Les systèmes d'identification, journée technique du CRITT.
21. Cauvet C, 2001, Ingénierie des systèmes d'information, Editions Hermes.
22. Cheng M., Simmons J., 1994, Traceability in manufacturing systems. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 14, N° 10, pages 4-16.
23. Chiorescu S., Berg P., Grönlund A., 2003, The fingerprint approach: Using data generated by a 2-axis log scanner to accomplish traceability in the sawmill's log yard, *Forest Products Journal*, Vol. 53, N° 2, pages 78-86.
24. Collet R., 1984, Etude et mise en œuvre d'un dispositif micro-onde permettant l'évaluation des caractéristiques du bois et de la détection des singularités. Thèse de l'université Henry Poincaré, Nancy I.
25. Confais J., Nakache J., 2000, Méthodes d'analyse discriminante. ISUP.
26. Conseil des Communautés européennes (CEE), 19 mai 1998. Loi relative à la responsabilité du fait des produits défectueux (85/374/CEE).
27. Cover T., Hart P., 1967, Nearest neighbor pattern classification, *IEEE Transactions on Information Theory*, IT-13, pages 21–27.
28. Da Silveira G., Borenstein D., Fogliatto F., 2001, Mass customization: literature review and research directions, *International Journal of Production Economics*, Vol. 72, pages 1-13.

29. De Montgros X, 2003, Supply Chain Manager Hewlett Packard compagnie. Conférence Ecole d'été d'automatique de Grenoble : Gestion de la chaîne logistique, Septembre 2003.
30. Deguilloux M., 2002, Traçabilité des bois de chêne : méthodes moléculaires et applications, Thèse : Université Henri Poincaré, Nancy 1. Mention Biologie Forestière.
31. Deveille L., Rateau C., 2001, Limites d'utilisation d'un capteur micro ondes en première transformation pour l'identification de produits. Rapport de Projet 3<sup>ème</sup> année, Enstib.
32. Dubuisson, B. 1990, Diagnostic et reconnaissance de formes, traité des nouvelles technologies, Eds Hermès, Paris.
33. Dupuy C., Botta-Genoulaz V., Guinet A., 2002, Traceability analysis and optimization method in food industry. IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics, IEEE Hammamet Tunisia.
34. Dykstra D., Kuru G., 2002, Technologies for wood tracking, Environment and social development East Asia, Phnom Penh, Cambodia, Ed. World Bank/WWF Alliance.
35. EAN-UCC, 2003, Traceability Implementation, TRACE-I Guideline.
36. Efficient Consumers Responses, ECR Europe, march 2004, Using traceability in the supply chain to meet consumer safety expectations.
37. EPC Global, Gencod EAN-France, mars 2004, L'identification par Radio Fréquence : Principe et application.
38. Expodium 2004, Recueil des travaux présentés dans le Premier salon de traçabilité. CNIT, Paris la Défense, 27-29 janvier 2004.
39. Fabbe-Costes N, et Lemaire C., Mars 2003, Traçabilité totale : Obsession de toute entreprise, Instantanés techniques, pages 37-45.
40. FFCS, Finnish Forest Certification System, Mai 2002, Qu'est-ce que la certification forestière?.
41. Food Standards Agency (FSA), March 2002, Traceability in the Food Chain: A preliminary study Food Chain Strategy Division.
42. FSM -Forest sector monitoring, 2002, Forestry Services Division SGS (Malaysia) Sdn Bhd, Background Timber Tracking Program,.
43. Garetti M., Macchi M. and R. Van De Berg, 2003, Digitally supported engineering of industrial systems in the globally scaled manufacturing, IMS-NoE SIG 1 White Paper, Milano.

44. Gencod, April 2001, Traceability in the supply chain: From strategy to practice. Copyright Gencod-EAN France.
45. Goddard E., Branding, June 2003, Labeling, and Identity Preservation: What's in it for Agribusiness?, Symposium University of Alberta.
46. Gouyon D., 2004, Contrôle par le produit des systèmes d'exécution de la production : apport des techniques de synthèse, Thèse : Université Henri Poincaré Nancy-I en Automatique, Traitement du Signal, Génie Informatique.
47. Grady, Jeffrey O., 1993, System Requirements Analysis, McGraw-Hill Inc.
48. Grolee, M., 1996, L'identification automatique, principes, techniques et normalisations existantes. Travail et méthodes, N° 324, pages 31-36.
49. Gryna, M., 1988, Manufacturing planning, Juran's quality control Handbook, 4<sup>ème</sup> édition, McGraw-Hill, pages16-39.
50. Hammerer D., 2004, Approche méthodologique de modélisation pour la traçabilité : Application dans la filière textile par identification Automatique, Thèse DEA Production Automatisée. Université Henry Poincaré Nancy 1.
51. Handbook of Procedures to Apply for Certification, 200, Chain of Custody in wood industries sector.
52. Heutte L., 1994, Reconnaissance de caractères manuscrits : Application à la lecture automatique des chèques et des enveloppes postales. Thèse de Doctorat, Université de Rouen.
53. Haygreen, J., and Boyer, J., 1989, Forest Products and Wood Science, Second Editon. Iowa State University Press.
54. Holbrook M., mars 1999, Consumer Value: A Framework for Analysis and Research. Éditeur Routledge.
55. IEEE, 2003, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries. (IEEE 610.12-1990) New York.
56. Jain A., Hong L., Pankanti S., 2000, Biometric identification, Communications of the ACM., Vol.43, N° 2.
57. James W., You-Hsin Y., King R., March 1985, A microwave method for measuring moisture content, density, and grain angle of wood., Research note FPL-0250, Forest Products Laboratory.
58. James W., 1977, Dielectric behavior of Douglas fir at various combinations of temperature, frequency and moisture content, Forest Products Journal, Vol. 27, N°6.

59. Jansen-Vullers M., van Dorp C., Beulens A., 2003, Managing traceability information in manufacture, *International Journal of Information Management*, Vol. 23, pages 395-413.
60. Jin Z., Yang J., 2001, Face recognition based on the uncorrelated discriminant transformation, *Pattern Recognition*, Vol. 34, pages 1405-1416.
61. Kharadly M., 1985, Microwave diagnostics for stress rating of dimension lumber, *Proceedings of the 5th Nondestructive Testing of wood Symposium*, september 9-11, Washington State University, Pullman, WXA, 445-464.
62. Kärkkäinen M., Parsons M., Vasara P., 2001, Building the information enriched solid wood product supply chain. *International Working Conference on Strategic Manufacturing*. 26-29 August 2001, Aalborg, Denmark.
63. Kärkkäinen M. et al 2003a., Intelligent products – A step towards a more effective project delivery chain, , *Computers in Industry* Vol. 50, pages 41-151.
64. Kärkkäinen M., and Ala-Risku T., September 2003b, Automatic Identification – applications and technologies, *Logistics Research Network (LRN)*, 8th annual conference, London, UK,.
65. Kärkkäinen M., Främling K., Ala-Risku T., 2002, Integrating material and information flows using a distributed peer-to-peer information system. Based on *Proceedings of APMS'2002 conference*. Eindhoven, Netherlands, 8-13 September 2002, pages 463-473.
66. Kim H., Fox M., et Gruninger M., 1995, An ontology of quality for enterprise modeling, *Proceedings of WET-ICE*, Los Alamitos, CA, USA, IEEE, pages 105-116.
67. Kim S., Narasimhan R., 2002, Information system utilization in supply chain integration efforts. *International journal of Production Research*, Vol. 40, N° 18, pages 4585-4609.
68. King B., 2000, The practical realization of the traceability of chemical measurements standards, *Accreditation Quality assurance*, Vol. 5, pages 429-436. Springer-Verlag.
69. Koestler, A., 1967, *The ghost in the machine*, ISBN 0-14-019162-5.
70. Komarczuck L., 1999, *Application d'une méthode de reconnaissance de formes pour le suivi des produits bois*. Thèse DEA Sciences du Bois, Enstib.
71. Laird J., march 2003, Laser marking enhances assembly traceability, *Surface Mount Technology*, Vol. 17, N° 3, pages 58-62.
72. Lambert P., Mallick G., Martin P., juillet 1989, Analyse de caractéristiques et singularités du bois par capteur micro-ondes, *Congrès AIPAC 89, IFAC*, Nancy.
73. Lezin N., Mars 2001, La traçabilité : applications et stratégie. *Industries alimentaires & agricoles*, pages 17-22.

74. Lindau R., Lumsden K., 1999, The use of automatic data captures systems in inventory management, *Int. J. of production economics*, Vol. 59, pages 159-167.
75. Maness T., 1993, Real-time quality control system for automated lumber mills. *Forest Product Journal*, Vol. 43, N° 7/8, pages 7-22.
76. Martin P., Collet R., Barthelemy P., Roussy G., 1987, *Wood Science and Technology*, Vol. 21, pages 361-371.
77. Martin P., 1992, *Bois et Productique : Les industries du bois et leurs modernisations par la productique*, Editions CEPAD.
78. Mc Farlane D., 2002, Auto-ID based Control. An overview, white paper, Auto ID-Center.
79. Mc Farlane D., Sarma J., Chirn G., Wong J., Ashton A., 2003, Auto ID System and Intelligent Manufacturing Control, *Engineering Application of Artificial Intelligence*, Vol.16, pages 365-376.
80. MESA International, 1997, Manufacturing Execution Systems Association, white paper, N° 1.
81. Miclet L., 1984, *Méthodes structurelles pour la reconnaissance des formes*. Editions Eyrolles.
82. Million O., 1995, *Caractérisation des nœuds par micro-onde*, Thèse DEA Production automatisée, Enstib.
83. Moe T., 1998, Perspectives on traceability in food manufacture, *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 9, pages 211-214.
84. Morel F., 1998, Traçabilité : vers des systèmes fiables 100%. *Process*, N° 1135, pages 40-44.
85. Morley C., Hughes J., Leblanc B., 2002, *UML pour l'analyse d'un système d'information - Le cahier des charges du maître d'ouvrage*, Editions Dunod.
86. Murphy G., Franich R., 2004, Early experience with aroma tagging and electronic nose technology for log tracking, *Forest Products Journal*, Vol. 54, N° 2, pages 28-35.
87. Norme ISO 9000, 2000, *Quality management systems - fundamentals and vocabulary*.
88. Norme ISO 8402/1994, *Management de la qualité et assurance de la qualité- Vocabulaire*.
89. Perronnin F., Dugelay J., 2002, *Introduction à la Biométrie: Authentification des Individus par Traitement Audio-Vidéo*, Institut Eurécom Multimedia Communication Department, *Revue Traitement du Signal*, Vol 19, N° 4.

90. Parker J., 2002, Simple distance between handwritten signatures, Proceedings of Vision Interface Calgary-Alberta, pages 27-29.
91. Petroff J., and Hill A., 1991, A framework for the design of lot-tracing systems for the 1990's, Production and Inventory Management Journal, Vol. 32, N° 2, pages 55-61.
92. Postaire J., 1987, Analyse des images numériques et théorie de la décision, Dunod informatique.
93. Ramesh B, Dwiggins D., DeVries G., and Edwards M., 1995, Towards requirements traceability models, in Proceedings of international symposium and Workshop on System Engineering of Computer Based System, IEEE, pages 229-232.
94. Rapport LINESET: Linking raw material characteristics with Industrial Needs for Environmentally Sustainable and Efficient Transformation processes, 2003, AB Trätekt Institute for Wood Technology – Swede.
95. Rhodes L., 1996, Fundamentals of product identification and traceability, Ceramic engineering and science proceedings. Vol. 17, N° 5, pages 157-159.
96. Sabourin R., Genest G., 1994, An extended-shadow-code-based approach for off-line signature verification: Part I. Evaluation of the bar mask definition, Proc. of 12<sup>th</sup> ICPR International Conference on Pattern Recognition, Jerusalem, Israël, pages 450-453.
97. Sahin E., Dallery Y., Gershwin S., 2002, Performance evaluation of a traceability System, An Application to the Radio Frequency Identification Technology, IEEE-SMC, Hammamet, Tunisie, October 2002.
98. Salaün Y., and Flores K., 2001, Information quality: Meeting the needs of the consumer. International journal of information management, Vol. 21, pages 21-37.
99. Shinghal R., 1992, Formal Concepts in Artificial Intelligence Fundamentals, London: Chapman & Hall Computing.
100. Simon C., Levrat E., Bremont J., and Sabourin R., 1997, A Fuzzy Perception for Off-line Handwritten Signature Verification, in Proceedings of the first Brazilian Symposium on Document Image Analysis, pages 261-272.
101. Simon C., 1996, Vérification automatique de l'identité par perception multi-échelle et discrimination intégrée floues de l'image de la signature manuscrite, Thèse : Université Henri Poincaré, Nancy 1, Spécialité : Automatique.
102. Smith R., Palmer G., Martin D., Muneri A., 2003, A method enabling the reconstruction of internal features of logs from sawn lumber: The log end template, Forest Product Journal, Vol. 53, N° 11/12, pages 95-98.

103. Sohal A., 1997, Computerised Parts Traceability : an Implementation Case Study , Technovation, Vol.17, N° 10, pages 583-591.
104. Stevens J., Ahmad M., Ruddell S., 1998, Forest Products Certification : A survey of manufacturers, Forest Products Journal, Vol.48, N° 6, pages 43-49.
105. Terzi S., Cassina J., Chiari G., Panetto H., 2004, Traçabilité des produits : une approche holonique, 5<sup>ème</sup> Conférence Francophone de MODélisation et SIMulation: Modélisation et simulation pour l'analyse et l'optimisation des systèmes industriels et logistiques. MOSIM'04 – du 1er au 3 septembre 2004 – Nantes, France.
106. Töyrylä, Ilkka, 1999, Realizing the potential of traceability- A case study research on usage and impacts of product traceability, Acta polytechnica scandinavica, Helsinki University of Technology, Espoo.
107. Torgonikov G., 1993, Dielectric properties of wood and wood-based materials, Springer Verlag, New-York.
108. Udoka S., 1992, The role of automatic identification in the computer integrated manufacturing architecture”. Computers and industrial engineering, Vol. 23, N° 1- 4, pages 1-5.
109. van Dorp C.A., 2004, Reference-data modeling for tracking and tracing, These Wageningen Unieriteit, ISBN 90-8504-005-1.
110. Viel L., 2000, Associer produit et processus pour une traçabilité totale, Objectif Risk Zero, N° 3.
111. VIM- International vocabulary of basic and general terms in metrology, BIPM, IEL, IFCC, ISO, IUPAC, OIML, 1993, second edition, ISO, Geneva.
112. Vlosky R., Gazo R., and Cassens D., 2003, Certification involvement by selected United States value-added solid wood products sectors, Wood and fiber science, Vol. 35, N° 4, pages 560-569.
113. Zoughi, R., 1990, Microwave nondestructive testing: theories and applications, International Advances in Nondestructive Testing, Vol. 15, pages 225-288.

4

Madame FUENTEALBA CECILIA

DOCTORAT de l' UNIVERSITE HENRI POINCARÉ, NANCY 1  
en SCIENCES DU BOIS

VU, APPROUVE ET PERMIS D'IMPRIMER N° 1135

Nancy, le 25 Novembre 2005

Le Président de l'Université

Jean-Pierre FINANCE



3C-F9

## Résumé :

Au travers de problèmes récurrents des filières agroalimentaires et pharmaceutiques, le concept de traçabilité est entré dans la vie courante. Les autres secteurs industriels, s'ils sont soumis à des contraintes de sécurité moindres, sont cependant concernés par le déploiement des technologies liées à ce concept. Ils cherchent par ce biais à faire face à l'exigence croissante des clients en terme de qualité, délais et personnalisation des produits dans un marché de plus en plus concurrentiel. Le contexte particulier de ce travail est lié aux industries du bois pour lesquelles l'éco-certification et l'amélioration des processus sont deux facteurs de motivation de mise en œuvre de la traçabilité. En effet, les caractéristiques des produits et processus de ces industries rendent complexes la synchronisation entre le flux de produits et le flux d'information, et par conséquent la capitalisation et l'accès aux informations pour tous les acteurs de la chaîne de transformation. Les problématiques soulevées sont donc:

- le manque de moyens d'identification automatique pour le suivi individuel des produits, les systèmes classiques codes-barres ou étiquettes électroniques montrant en effet leurs limites sur certaines parties du cycle de vie,
- et le manque de système d'information capable, en ligne, d'offrir les informations nécessaires à la prise de décision, et capable, *a posteriori*, d'assurer les fonctionnalités liées à la traçabilité.

Le travail de thèse aborde ces deux problématiques complémentaires. Dans un premier temps la mise en œuvre d'un capteur de Contrôle Non Destructif est proposée pour établir une identification biométrique des produits. Basé sur la technologie micro-ondes, le capteur permet l'acquisition de signaux représentatifs de la structure interne des bois. Ces signaux sont traités, puis servent d'entrée à un algorithme de reconnaissance de formes.

Pour répondre à la seconde problématique, la proposition d'un modèle du système d'information est présentée. Centré sur le produit, ce modèle prend en compte toutes les transformations possibles qu'il est susceptible de subir. De plus, la modélisation met clairement en avant les différents systèmes d'identification qui pourront être utilisés tout au long de la vie du produit.

*Mots-clés : traçabilité, industrie du bois, bois, micro-onde, identification automatique, système d'information*

## Abstract :

The concept of traceability has been introduced to our everyday life due to recurrent problems in the agricultural and pharmaceutical industries. However, other industrial areas subject to minimum safety restrictions are also involved in the technologies related to this concept. Thus, they are trying to meet the growing demand of clients in terms of quality, delays and personalization of products in an ever-competitive market through traceability.

The environment of this work is related to wood industries for which the ecocertification and the improvement of the production process performances are two motivating factors for the start up of traceability. In fact the characteristics of products and industry processes make difficult the synchronization of product flow with information flow and, consequently, the access to information for all actors of the transformation chain. The problem can be summarized in two points:

The lack of means of automatic identification, for an individual follow up of products. Commonly used systems like bar codes and electronic labeling show limitations in certain parts of the life cycle.

The lack of an information system able to offer in-line information necessary for decision making and able to ensure afterwards the usefulness associated to traceability.

Then this work deals with these two complementary problems. First, the start up of a non-destructive control sensor is proposed for setting a biometrical identification of products. The sensor, based on microwave technology, allows the acquisition of representative signals of the inner structure of wood. These signals are treated and then delivered to an algorithm of pattern recognition.

A proposition for an information system model is shown for answering the second problem. Such model focused on the product takes into consideration all transformations that may be performed during the fabrication process. Moreover, the modelling makes evident the different automatic identification systems that are possible to use through all the life cycle of the product.

*Keywords : traceability, tracking, tracing, wood industries, microwave, automatic identification, Information system*