



**HAL**  
open science

# Mise en place d'un système RFID pour une entreprise de panneaux laqués haute finition

Mélanie Noyel, Thomas Pisaneschi

► **To cite this version:**

Mélanie Noyel, Thomas Pisaneschi. Mise en place d'un système RFID pour une entreprise de panneaux laqués haute finition. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2011. hal-01880945

**HAL Id: hal-01880945**

**<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01880945>**

Submitted on 25 Sep 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## 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-memoires-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-memoires-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>

**Rapport de fin d'études  
- 3AI -**


**Mise en place d'un système RFID pour une  
entreprise de panneaux laqués haute finition**

**Acta Mobilier**



**Noyel Mélanie  
Pisaneschi Thomas  
2010 / 2011**

**Responsable en entreprise : Bruno Beauprêtre  
Enseignants responsables : André Thomas  
Philippe Thomas**

## **AVANT PROPOS**

Ce projet de fin d'étude s'inscrit dans le cadre d'un travail collaboratif de longue durée entre l'entreprise Acta Mobilier et le Centre en Recherche en Automatique et Nancy (CRAN).

Il se compose du projet de fin d'étude dont voici le rapport et pour lequel les objectifs sont de bien définir le problème et choisir la meilleure technologie à mettre en œuvre pour le résoudre, du stage de fin d'étude dont l'objectif sera d'étudier l'implantation de la solution choisie et d'aller jusqu'à la mise en place d'un pilote, puis éventuellement d'une thèse comprenant l'implantation définitive et l'étude des avantages pouvant être tirés de ce nouveau système en matière de décision logistique.

## SOMMAIRE

<b>PRINCIPALES NOTATIONS.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>2</b>
<b>- PARTIE 1 - DEFINITION DE LA PROBLEMATIQUE.....</b>	<b>3</b>
1.    PRESENTATION DE L'ENTREPRISE.....	3
1.1. <i>Présentation globale.....</i>	3
1.2. <i>Résultat du petit audit du 15 novembre.....</i>	3
1.3. <i>Etude du processus de fabrication.....</i>	4
2.    CADRAGE DU PROBLEME.....	6
2.1. <i>Problème général.....</i>	6
2.2. <i>Problème plus approfondi.....</i>	6
3.    ATTENTES ET OBJECTIFS DES PARTIES PRENANTES.....	7
3.1. <i>Détermination des parties prenantes.....</i>	7
3.1.1.  Pour le projet global.....	7
3.1.2.  Pour le projet de fin d'étude.....	8
3.2. <i>Attentes des parties.....</i>	8
3.3. <i>Objectifs.....</i>	9
4.    PROBLEMATIQUE.....	9
5.    PLANIFICATION DU TRAVAIL.....	10
<b>- PARTIE 2 - ETAT DE L'ART.....</b>	<b>11</b>
1.    ETUDE DE L'ETAT DE L'ART.....	11
1.1. <i>Recherche bibliographique sur la traçabilité.....</i>	11
1.1.1.  Un effort important dans le domaine de l'agroalimentaire.....	11
1.1.2.  Les impacts et risques de l'augmentation de la traçabilité.....	12
1.1.3.  Les spécificités du domaine du bois.....	12
1.2. <i>Technologies de traçabilité.....</i>	12
1.2.1.  La carte d'identité avec suivi manuel.....	13
1.2.2.  La gravure.....	13
1.2.3.  Les encres invisibles.....	13
1.2.4.  Les codes à barres.....	14
1.2.5.  La RFID (Radio Frequency IDentification).....	15
1.2.6.  Reconnaissance de pièces par cameras.....	15
1.3. <i>Approfondissement sur la RFID.....</i>	16
1.3.1.  Principe de fonctionnement.....	16
1.3.2.  Le transpondeur.....	16
1.3.3.  Base station, lecteur.....	18
1.3.4.  Les fréquences, distances d'utilisation et anticollision.....	18
1.3.5.  Les contraintes de la RFID.....	20
1.3.6.  Les formes de transpondeurs RFID.....	21
<b>- PARTIE 3 - CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL.....</b>	<b>22</b>
1.    PRESENTATION DE LA DEMARCHE.....	22
2.    EXIGENCES.....	23
2.1. <i>Exigences des parties prenantes.....</i>	23
3.    FONCTIONS ATTRIBUABLES AU SYSTEME A FAIRE.....	23
3.1. <i>Exigences systèmes associées aux exigences des parties prenantes.....</i>	25
4.    EXIGENCES LIEES AUX ENVIRONNEMENTS.....	26
4.1. <i>Environnement de la production.....</i>	27
4.2. <i>Entrées et sorties du système.....</i>	27
<b>- PARTIE 4 - CHIFFRAGES DE DIFFERENTES SOLUTIONS.....</b>	<b>28</b>
1.    LES DIFFERENTES SOLUTIONS.....	28
2.    CHIFFRAGE.....	28
2.1. <i>Solution 1 : Tag encapsulé circulaire sur la face du panneau après perçage.....</i>	28

# SOMMAIRE

---

2.1.1.	Coût d'un perçage.....	29
2.1.2.	Coût de la pose d'un encapsulé circulaire.....	29
2.1.3.	Coût de l'encapsulé circulaire.....	29
2.2.	<i>Solution 2 : Tag encapsulé cylindrique sur le chant après perçage et rebouchage avec du mastic.</i>	29
2.2.1.	Coût de la pose d'un encapsulé cylindrique.....	30
2.2.2.	Coût de l'encapsulé cylindrique.....	30
2.3.	<i>Solution 3 : Tag inlay circulaire sur la face du panneau après ponçage ou défonçage sur le centre d'usinage.....</i>	30
2.3.1.	Coût de ponçage ou de défonçage. ....	30
2.3.2.	Coût de la pose d'un inlay. ....	31
2.3.3.	Coût d'une temporisation lors de l'apprêtage. ....	31
2.3.4.	Coût d'un inlay. ....	31
2.4.	<i>Solution 4 : Tag encapsulé cylindrique plat sur la face du panneau après perçage et application d'une couche d'apprêt supplémentaire.....</i>	31
2.4.1.	Coût d'un ponçage.....	31
2.4.2.	Coût d'une couche d'apprêt supplémentaire.....	32
2.5.	<i>Solution 5 : Tag encapsulé sur le chant après fraisage et rebouchage mastic.</i>	32
2.5.1.	Coût d'un fraisage. ....	32
2.5.2.	Coût de la pose d'un tag encapsulé sur le chant.....	32
3.	RECAPITULATIF.....	33
<b>- PARTIE 5 - ESTIMATION DU RETOUR SUR INVESTISSEMENT.....</b>		<b>34</b>
1.	INVESTISSEMENT.....	34
1.1.	<i>Coût de l'implémentation du panneau (tag + mise en place).</i>	34
1.2.	<i>Coût d'achat des lecteurs.....</i>	34
1.3.	<i>Coût d'achat du logiciel.....</i>	34
1.4.	<i>Coût de l'étude.....</i>	34
1.5.	<i>Coût de l'installation du système. ....</i>	35
1.6.	<i>Coût de fonctionnement du système. ....</i>	35
2.	BENEFICES. ....	35
3.	DUREE DE RETOUR SUR INVESTISSEMENT. ....	36
<b>- PARTIE 6 - ETUDE DE LA MISE EN PLACE DE LA TECHNOLOGIE.....</b>		<b>37</b>
1.	LE BESOIN DE REPRODUCTION FIDELE DU PROCESSUS DE L'ENTREPRISE. ....	37
2.	ESSAIS D'IMPLANTATION DE TAGS A L'ENSTIB. ....	37
2.1.	<i>Les inlays. ....</i>	38
2.1.1.	<i>Inlay sur face par poinçonnage. ....</i>	38
2.1.2.	<i>Inlay sur face après perçage.....</i>	39
2.1.3.	<i>Inlay sur face après ponçage. ....</i>	41
2.2.	<i>Les encapsulés. ....</i>	42
3.	PLAN D'EXPERIENCES. ....	45
3.1.	<i>Les facteurs importants.....</i>	45
3.1.1.	<i>Définition du problème à résoudre. ....</i>	45
3.1.2.	<i>Recensement des facteurs influents. ....</i>	47
3.1.3.	<i>Classement des facteurs. ....</i>	48
3.1.4.	<i>Matrice de Taguchi préconisée. ....</i>	49
3.1.5.	<i>Modalités et niveaux.....</i>	49
3.1.6.	<i>Organisation du protocole expérimental. ....</i>	50
<b>CONCLUSION .....</b>		<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>		<b>52</b>
<b>RESUMÉ .....</b>		<b>53</b>
<b>ABSTRACT.....</b>		<b>53</b>

**PRINCIPALES NOTATIONS**

CN	Commande Numérique
HF	Haute Fréquence
HSQE	Health Safety Quality Environment
LF	Low Frequency
MDF	Medium Density FiberBoard
NTIC	Nouvelles Technologies d'Information et de Communication
RFID	Radio Frequency Identification
SCM	Supply Chain Management
SHF	Super Haute Fréquence
UHF	Ultra Haute Fréquence

# **INTRODUCTION**

De nos jours, la technologie permet d'envisager des solutions techniques qui étaient jusqu'alors bannies. Ces nouvelles technologies présentent alors une foule d'avantages mais aussi une foule de problèmes ou d'inconvénients. Voilà pourquoi il est très important de s'informer sur tout ce qui a été fait concernant des problématiques similaires et d'étudier consciencieusement chaque point.

D'autre part, la mise en place d'un projet d'une telle ampleur nécessite une bonne organisation et une méthodologie. Nous avons donc décidé de suivre une démarche d'ingénierie système.

Nous définirons donc, dans un premier temps, correctement la problématique avant de dresser un état de l'art des problèmes et avancées technologiques du domaine. Nous établirons ensuite une ébauche de cahier des charges qui devra être étoffé par l'entreprise. Nous évaluerons plusieurs solutions en les chiffrant et en calculant un retour sur investissement, puis nous essayerons de mettre en œuvre quelques unes d'entre elle afin d'en évaluer la faisabilité et de pouvoir déboucher sur un plan d'expériences.

# **- PARTIE 1 - DEFINITION DE LA PROBLEMATIQUE.**

## **1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE.**

Avant de bien pouvoir cerner le problème de l'entreprise, il est nécessaire de connaître son fonctionnement. C'est pourquoi, le 15 novembre 2010, nous avons réalisé un petit audit non formel de la chaîne de production qui nous a apporté une foule d'informations venant s'ajouter à la présentation globale suivante.

### **1.1. Présentation globale.**

L'entreprise ACTA mobilier réalise deux activités principales qui sont la sous-traitance industrielle et l'agencement. La sous-traitance industrielle consiste en une activité de réalisation de portes de cuisines, salles de bains, bureaux réalisées en MDF en finition laque principalement et dans une moindre mesure imprimées, puis laquées. Les clients de l'entreprise sont, par exemple, des cuisinistes qui vendent des cuisines sur mesures au grand public. Sa production est caractérisée principalement par de petites séries d'un grand nombre de références (plus de 500 000) dans un grand nombre de couleurs (plus de 500 références de laques). L'entreprise s'est fait une spécialité de la réalisation de petites séries associées à un maximum de services : réalisation de pièces sur mesures, emballage adapté au client (par magasin, par couleur, par contremarque, ...), délais courts et fiables et forte réactivité. L'agencement correspond à une activité de réalisation de meubles sur mesures (stands, boutiques, mobilier d'hôtels, ...) pouvant aller du design jusqu'au montage voir démontage et recyclage en fin de vie. Pour cette activité, les clients de l'entreprise sont des bureaux de design, architectes, grandes marques (PSA, Renault, Chanel, EDF, ...). L'entreprise s'efforce de respecter le concept du client en effectuant des finitions haut de gamme tout en employant une démarche industrielle.

Ces deux activités sont réalisées à l'aide du même outil de production qui doit donc être adapté à la petite série pour l'activité de sous-traitance et à la réalisation de modèles uniques. L'entreprise souhaite étendre son activité à l'international, assurer dans l'avenir un taux de service de 99%, et à plus court terme, l'entreprise envisage de réduire le délai de fabrication d'une commande de 14 jours à 12 jours augmentant ainsi sa marge de manœuvre pour mieux contrôler sa production.

### **1.2. Résultat du petit audit du 15 novembre.**

Nous avons donc suivis Bruno BEAUPRETRE, responsable des projets informatiques, et Jean-Baptiste LIMOGES, responsable technique, pour une visite suivant le flux de produit.

Le type de panneau le plus utilisé est principalement du MDF 19 mm mélaminé, c'est donc celui-ci que nous devons suivre pour notre projet. Ils subissent parfois un test de défonçage à cœur pour vérifier leur qualité. Les dimensions non standards, ce qui représente approximativement 20% du flux, passent sur une scie de débit. Les dimensions standards se répartissent sur deux centres d'usinages qui fonctionnent en permanence en deux huit ou en trois huit suivant la demande client. Il n'est donc pas à exclure que ce poste soit un poste

goulot. Notons aussi qu'il n'y a qu'un seul opérateur par poste qui est aussi chargé de faire les reprises si besoin. L'optimisation du taux de chutes se fait sur un ou deux jours mais on cherche à réutiliser au maximum les chutes. Le code-barres assurant la majeure partie de la traçabilité sont collés sur les pièces à la fin de cette étape de découpe. La possibilité d'erreur de l'opérateur à cette étape existe mais est très faible. Il y a ensuite une lecture des codes-barres puis perçage automatique. Il est actuellement envisagé de mettre cette étape à la fin du processus. Vient ensuite un ponçage manuel ou par machine qui précède l'apprêtage. On a souvent des pièces à apprêter sur une face et d'autres sur deux faces au sein de la même commande. Dans ce cas, les apprêtées une face doivent attendre les apprêtées deux faces. Le laquage est soit manuel, ce qui oblige à poncer et laquer d'abord une face puis à poncer et laquer l'autre face, soit automatique sur la ligne de laquage robotisée pour laquelle on peut poncer d'abord les deux faces. Les panneaux passent ensuite sur une des deux machines de ponçage, puis sur une des deux machines de polissage, puis sur la machine de lustrage, ce qui constitue la chaîne de poly-lustrage. Toutefois il est possible que certaines pièces partent à l'emballage directement après le polissage sans passer par l'étape de poly-lustrage. On a ensuite un point de contrôle essentiellement visuel sous « cabine lumière » puis un filmage ou emballage carton.

Nous pouvons résumer le flux par le schéma présenté en Figure 1.

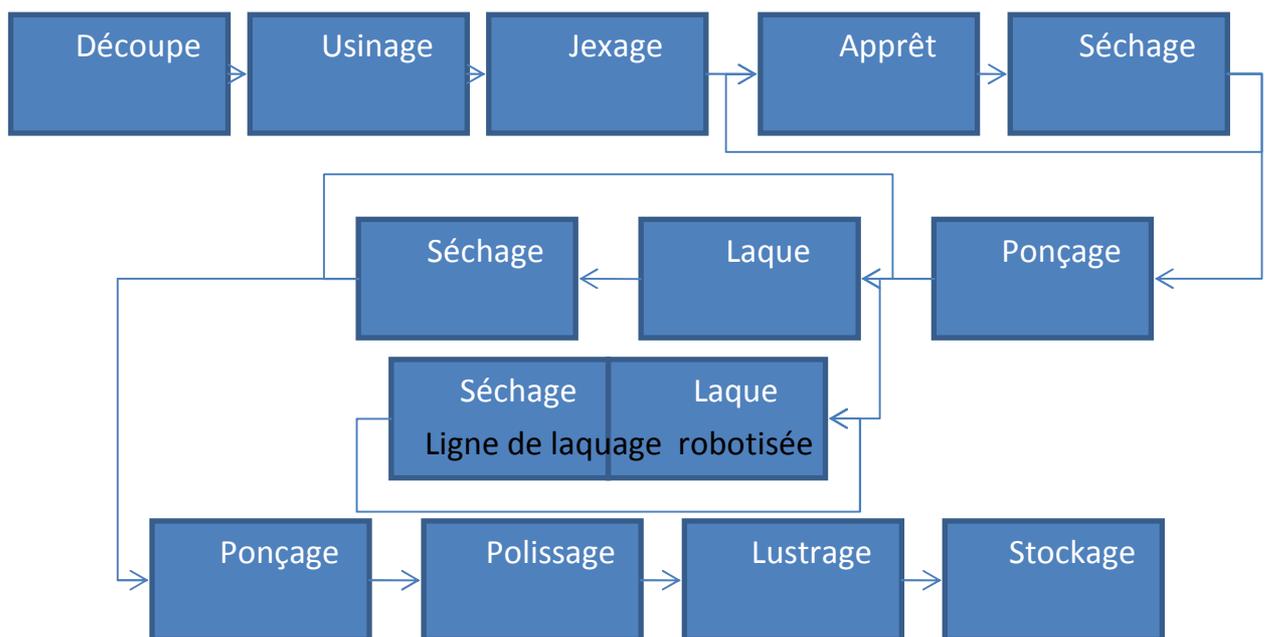
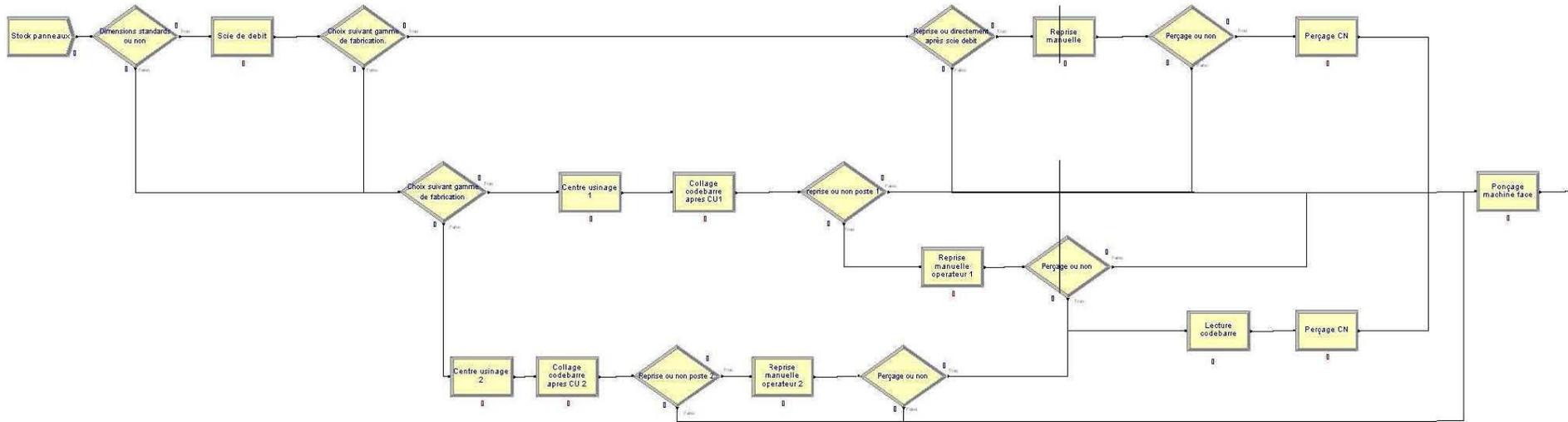


Figure 1 : Schéma du flux de produits suivant le processus

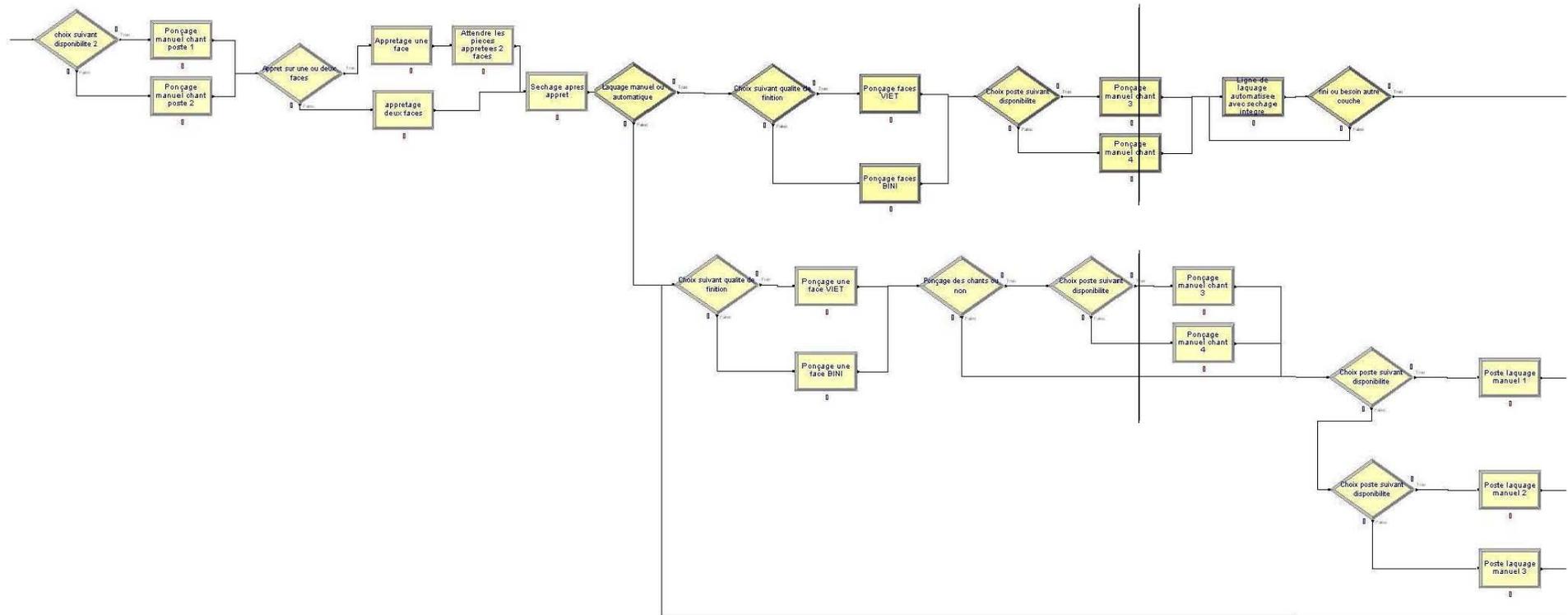
### 1.3. Etude du processus de fabrication.

Tout d'abord, il est important de souligner que la multitude de pièces différentes à fabriquer complique beaucoup la modélisation de ce processus. Toutefois, suite à de nombreuses réunions téléphoniques nous avons pu établir un modèle ARENA réaliste et validé par l'entreprise qui nous fournit alors une base de travail correcte. Ce modèle présenté ci-après sur la page dépliant 5, ne concerne que les différents flux et les facteurs de choix entre différentes gammes. Il ne peut encore pas être lancé pour voir évoluer les pièces sous nos yeux. Cette étape fera partie du stage de fin d'étude.

**- PARTIE 1 - DEFINITION DE LA PROBLEMATIQUE.**

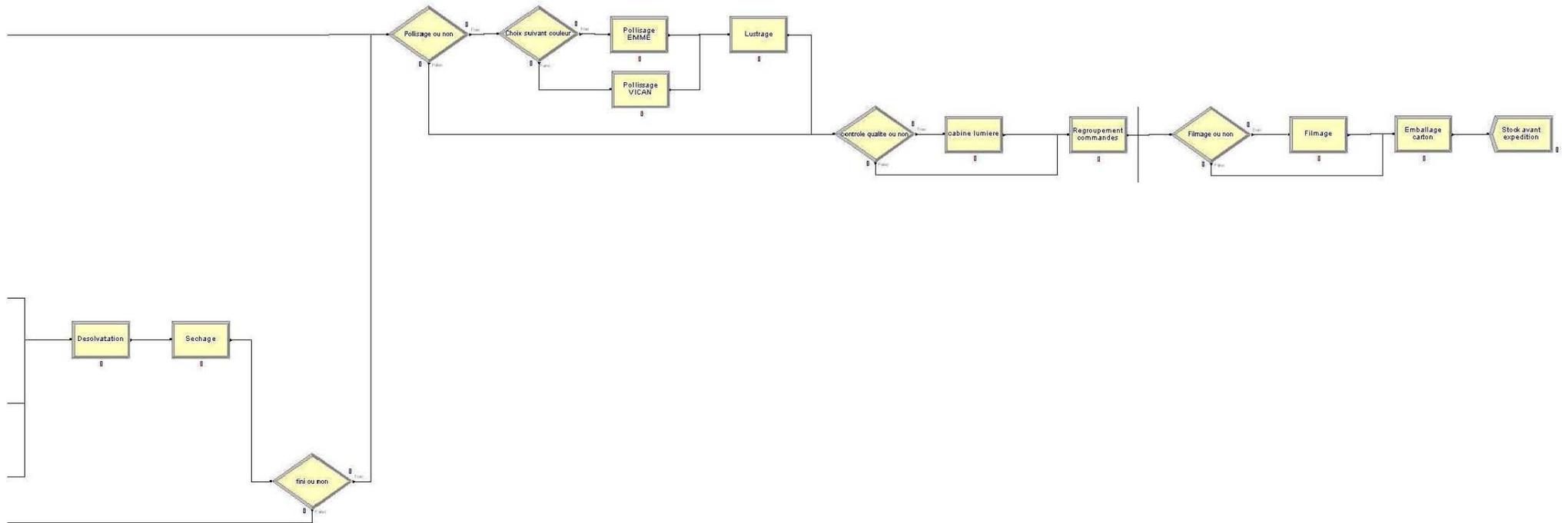


**- PARTIE 1 - DEFINITION DE LA PROBLEMATIQUE.**



**- PARTIE 1 - DEFINITION DE LA PROBLEMATIQUE.**

---

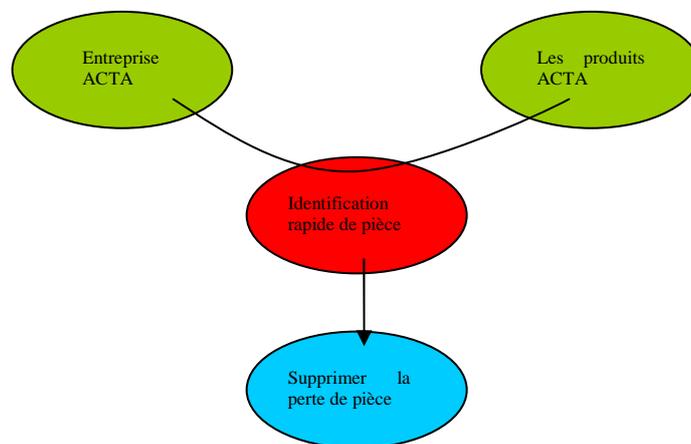


## **2. CADRAGE DU PROBLEME.**

### **2.1. Problème général.**

La traçabilité des produits au sein de l'entreprise est actuellement assurée à l'aide d'un système de code à barres. Celui-ci est déposé sur la pièce juste après le poste de découpe d'après un plan visuel sur un ordinateur ce qui permet de limiter les erreurs. Cependant, dès la phase d'apprêt, si les deux faces des produits doivent être laquées, ce qui est généralement le cas, on doit décoller le code à barres de la face devant être apprêtée pour le recoller sur l'autre face. On peut aller de cette manière jusqu'à quatre décolllements/recollements ce qui engendre une perte d'adhérence de l'étiquette qui, au final, peut finir par tomber et être perdue. Du coup, dans de nombreux cas, le personnel est réduit à mesurer les pièces qui se ressemblent beaucoup une à une pour les identifier. La traçabilité des produits dès cette phase d'apprêt est donc particulièrement difficile à gérer et le nombre de pièces perdues est très pénalisant pour l'entreprise, notamment pour tenir les délais.

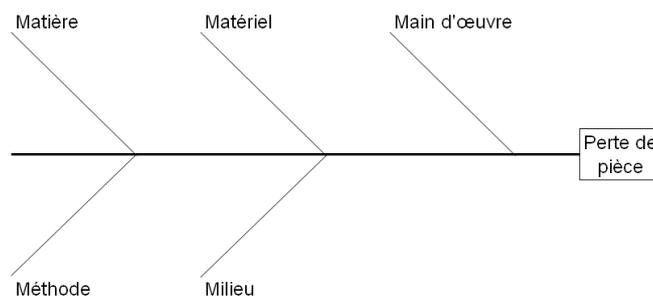
Nous pouvons formaliser le problème par l'intermédiaire du diagramme de la Figure 2.



*Figure 2 : Bête à corne concernant la problématique de l'entreprise*

### **2.2. Problème plus approfondi.**

Pour être sûr que ce problème n'en dissimule pas un autre et aussi pour en comprendre toute son ampleur, nous avons déployé une méthode Ischikawa (représentée graphiquement sur la Figure 3) concernant la problématique de perte de pièces à chaque étape du processus avec les personnes les plus à même de rendre exhaustive cette énumération.



*Figure 3 : Diagramme Ishikawa*

## **- PARTIE 1 - DEFINITION DE LA PROBLEMATIQUE.**

---

Nous avons donc simplement dégrossit le travail et nous avons planifié un brainstorming par téléphone où nous avons approfondi l'étude.

Ainsi à chaque étape du processus qui peut aussi bien être une étape d'usinage comme une étape de tri ou simplement une étape de transfert, nous cherchons les différentes causes, classées suivant les 5 catégories (matière, matériel, main d'œuvre, méthode et milieu), ayant pu engendrer le problème de perte de pièce.

Il en est ressorti une multitude de problèmes de gravité plus ou moins importante dont les plus importants sont listés ci-dessous :

- Beaucoup de pertes de temps à identifier les pièces
- Pièces similaires (dimensions, couleurs, perçage) -> confusions
- Fréquents changements de taille et de type de lots au cours de la gamme
- 30% des pièces retournent en production suite à un défaut. Ces pièces sont ensuite beaucoup plus difficiles à suivre.
- Petites séries donc beaucoup de changements (couleur de laque)

Tous ces problèmes ont néanmoins un lien plus ou moins important avec le fait que la traçabilité est, soit mal assurée, soit difficilement réalisable avec le système actuellement mis en place. Nous avons décidé, pour notre projet de fin d'étude, de nous concentrer sur cette problématique. Après ce travail, il pourra néanmoins en découler deux autres problématiques concernant l'optimisation de la gestion de la production et de l'ordonnancement en tenant compte d'un éventuel goulot d'étranglement ainsi que le tri des produits en fin de chaîne avant expédition.

Afin de répondre à ces problématiques, nous avons choisi d'étudier le fonctionnement du système de traçabilité existant à base de code-barres pour l'améliorer ou le remplacer par une autre technologie qui permettrait une meilleure optimisation de la production, incluant aussi le tri en fin de chaîne avant expédition.

### **3. ATTENTES ET OBJECTIFS DES PARTIES PRENANTES.**

Maintenant que nous connaissons le fonctionnement de la production et les problèmes qui en découlent, il convient de définir les parties prenantes et leurs attentes et exigences. C'est une étape primordiale car elle permet de clarifier les relations entre toutes les parties et donc de lancer le projet sur des bases saines.

#### **3.1. Détermination des parties prenantes.**

##### ***3.1.1. Pour le projet global.***

Les parties prenantes se divisent traditionnellement en 3 catégories : les intéressées, les impliquées et les potentiellement concernées.

Parmi les parties prenantes intéressées, on peut évidemment noter l'organisme acquéreur qui est l'entreprise elle-même avec, comme représentant, Bruno Beauprêtre, responsable des projets informatiques, qui sera aussi notre intermédiaire officiel. Mais il y a aussi la communauté d'opérateurs ainsi que le (ou les) directeur(s) de production pour qui l'implantation d'une nouvelle technologie va probablement modifier de beaucoup leur façon

## ***- PARTIE 1 - DEFINITION DE LA PROBLEMATIQUE.***

de travailler. Le représentant de cette communauté sera soit le responsable d'atelier, soit un directeur de production. Nous prendrons Jean Baptiste Limoges qui occupe la place de responsable technique au sein de l'entreprise.

Parmi les parties prenantes impliquées, il y a bien évidemment le CRAN, représenté par André Thomas ou Philippe Thomas mais aussi le fabricant de la technologie choisie par la suite qui sera représentée par son intermédiaire commercial. Cet intermédiaire sera très présent pendant la phase d'élaboration du pilote mais peut être laissé de côté pendant toutes les phases d'études et de conception du cahier des charges puisque la technologie n'aura pas encore été choisie. Il faudra aussi prévoir la maintenance du système qui se fera soit par des membres de l'entreprise formés, soit par une société spécialisée. Dans n'importe quel cas, il faudra aussi un représentant pour l'aspect maintenance.

Il y a aussi des parties prenantes potentiellement concernées. Dans cette catégorie, nous pouvons y inclure les normes et règlements à respecter qui vont inévitablement avoir un impact sur l'élaboration, la mise en place et l'exploitation du nouveau système. Parmi elles, on peut citer les certifications déjà acquises ou en cours d'acquisition par l'entreprise comme l'ISO 9000, l'ISO 14000 et l'HQSE. Mais on peut aussi prendre en compte divers organismes de défense avec qui l'installation de la nouvelle technologie pourrait entrer en conflits.

### ***3.1.2. Pour le projet de fin d'étude.***

Concernant le projet de fin d'étude pendant lequel nous devons faire en quelques sortes les études préliminaires, nous ne prendrons en compte dans les parties prenantes que les directement intéressées, à savoir Acta Mobilier représenté par Bruno Beauprêtre ou Jean-Baptiste Limoges, l'Enstib et en particulier la formation ingénieur représenté par André Thomas, le master ISC représenté par Gérard Morel, et les étudiants.

## **3.2. Attentes des parties.**

Nous tenons donc compte ici uniquement des parties prenantes du projet de fin d'étude énumérées dans le paragraphe 3.1.2.

Définir les attentes des parties est une opération qui doit être faite dès le début du projet. Nous avons alors réservé une plage horaire à cet effet lors de la première réunion qui a eu lieu le 15 novembre dans les locaux de l'entreprise. Toutes les parties n'étaient malheureusement pas présentes et nous avons récupéré les attentes du master ISC par la suite. Il en a résulté le Tableau 1 présenté ci-dessous.

*Tableau 1 : Attentes des parties prenantes relatives au projet de fin d'étude*

<b>Période</b>	<b>Parties prenantes</b>	<b>Attentes</b>
Projet de fin d'étude	Acta Mobilier	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tenir compte de l'effort qui a été fait avec les codes-barres et si possible leur garder une utilité.</li><li>• Confidentialité</li></ul>
	Enstib	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cahier des charges fonctionnel.</li><li>• Etudier la mise en place des solutions par expériences réalisables dans l'enceinte de l'Enstib.</li></ul>
	Etudiants	<ul style="list-style-type: none"><li>• Personne travaillant dans l'entreprise relativement disponible pour jouer le rôle d'intermédiaire.</li></ul>

	Master ISC	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aspect R &amp; D passant notamment par une étude de l'état de l'art concernant les technologies permettant de faire de la traçabilité.</li><li>• Connaissances de ce qui a été fait par l'intermédiaire d'une bibliographie.</li></ul>
--	------------	--

### **3.3. Objectifs.**

La quantification des objectifs est tout aussi primordiale. En effet, sans une quantification des objectifs, une partie peut estimer avoir atteint son but alors qu'une autre partie peut ne pas le voir sous cet angle. Nous avons donc aussi abordé ce point lors de la première réunion du 15 novembre et nous avons pu lister tous les objectifs ci-dessous.

- Faire un état de l'art des technologies utilisées en matière de traçabilité. Pouvoir faire un bilan de ce qui existe en matériel et savoir pourquoi ils ont été mis en place, connaître leurs conditions d'utilisation (prendre en compte le milieu métallique), savoir s'il est possible de faire des essais (mettre en place un pilote), évaluer le risque d'obsolescence, l'interopérabilité (possibilité de lecture par le client), étudier les normes associées et leur évolution possible.
- Définir un premier cahier des charges au niveau fonctionnel.
- Imaginer les avantages primaires mais aussi secondaires à tirer de la technologie choisie, notamment les nouveaux services à apporter aux clients ou la possibilité de l'étendre aux outils (agir au niveau de la sécurité) ou aux stocks.
- Réfléchir aux problèmes posés par la technologie choisie. Comment apposer le dispositif de traçabilité ? A quel endroit sur la pièce ? Doit-il être non visible dès le début ou au moins à la fin de la chaîne ou peut-on le montrer délibérément dans le logo de l'entreprise par exemple ? Aller peut-être jusqu'à réaliser quelques tests.
- Spécifier une planification du travail (plan d'action) avec des deadlines et les acteurs pour tenir au courant toutes les parties de l'avancement du projet.
- Tenir compte du matériel existant (code-barres) : Comment s'en servir ? Comment l'améliorer ? Possibilité de mise en place rapide pour un pilote.
- Choses à penser parallèlement à toutes les activités du projet et du stage : Y a-t-il des fonctions intégrées dans l'ERP prévue pour la RFID ? Envisager une personnalisation retardée. Envisager un perçage en fin de processus. Envisager une modification des flux. Etudier la possibilité d'un système hybride. Prise en compte de la volonté d'installer un robot de stockage. Mais à quel endroit judicieux ?

## **4. PROBLEMATIQUE.**

En nous appuyant sur toutes les informations que nous avons listées jusqu'ici, nous pouvons alors formuler le besoin suivant les 5 niveaux d'abstraction présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Cadrage du besoin suivant les niveaux d'abstractions

Niveau d'abstraction	Cadrage du besoin
Stratégique	Le projet doit permettre de <b>ne plus perdre de pièces</b> afin de mieux tenir les délais.
Fonctionnel	Le projet doit permettre d'améliorer la <b>traçabilité</b> des pièces.
Technologique	Le projet doit installer une technologie qui permettrait de situer la pièce par rapport à son étape dans sa gamme. (Ceci permettrait alors de la localiser au sein de l'entreprise car chaque étape du processus est assignée à une localisation, cela ne correspond pas à de la géo localisation)
Organisationnel	Le projet doit tenir compte d'un accompagnement du changement : organisation de réunions d'informations sur le pourquoi et le comment de la nouveauté, formation pour les utilisateurs et pour les opérateurs de maintenance à partir du deuxième niveau de maintenance.
Contraintes de réalisation	Le projet doit tenir compte des exigences économiques et temporelles (visibilité et contrôle sur le projet).

D'après ce cadrage du besoin, nous pouvons donc rédiger la problématique de notre projet de fin d'étude :

Compte tenu du problème de traçabilité non résolu en totalité par le système de code-barres déjà mis en place, nous nous proposons d'étudier la possibilité de l'améliorer, de le combiner ou de le remplacer par une autre technologie et de fournir une piste de solution envisageable à moindres coûts et testable à court terme sous forme d'un pilote au sein de l'entreprise.

## 5. PLANIFICATION DU TRAVAIL.

Cette étape est aussi particulièrement importante non seulement parce qu'elle fait partie des objectifs, mais aussi car elle structure par avance notre travail et nous fixe des dates buttoirs qui motivent nos recherches. Cette planification a été formalisée par le diagramme Gantt présenté sur la Figure 4.

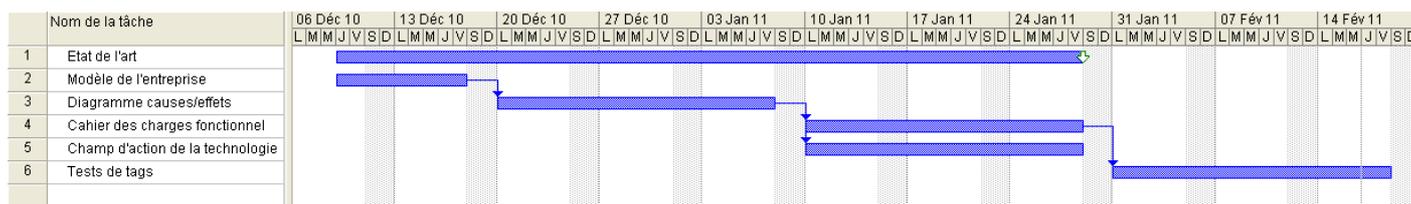


Figure 4 : Planification du travail à réaliser

## **- PARTIE 2 - ETAT DE L'ART**

### **1. ETUDE DE L'ETAT DE L'ART.**

L'étude de l'état de l'art est l'une des premières choses à faire quand on a bien cerné le problème et compris les enjeux.

La première partie de cette étude de l'état de l'art concerne tout naturellement ce qui a été fait en matière de traçabilité. Grâce aux Archives Ouvertes HAL, nous avons accès à une multitude d'articles et de thèses en textes intégraux, ce qui nous donne déjà une idée assez complète d'où en est la recherche sur le domaine étudié. Nous complétons ensuite cette recherche par d'autres documents dont on a vérifié la fiabilité de la source.

#### **1.1. Recherche bibliographique sur la traçabilité.**

##### ***1.1.1. Un effort important dans le domaine de l'agroalimentaire.***

Très tôt, la population a pris conscience des risques liés à la non-connaissance de la provenance des produits alimentaires. Le problème de traçabilité est donc devenu une problématique populaire très largement étendue. Aussi est-ce pour cela que c'est dans ce domaine que la littérature scientifique recense le plus de recherches et de travaux réalisés.

Dans l'article de 2005 intitulé « L'extension de la traçabilité dans le secteur de l'agroalimentaire » 11.1[2] [2] Céline Granjou et Valceschini Egizio en font une analyse socio-économique et insistent bien sur les notions de garantie et de certification. A l'inverse des problèmes de traçabilité industrielle, c'est donc avant tout le client qui est demandeur et qui souhaite pouvoir « avoir confiance » en le produit qu'il achète. Ils remettent alors en question le système de preuve conventionnelle. Ils mettent aussi en lumière que la prolifération des supports d'inscription joue en faveur de la traçabilité. Toutefois, son essor entraîne en même temps un développement de la gestion bureaucratique, à savoir un travail « de paperasse » encore plus important et certainement très contraignant d'où l'importance d'automatiser au maximum cette partie de la traçabilité.

Dans l'article de Ruelle Bernadetteaa, De Rudnicki Vincenta et Douchin Michaela, Sinfort Caroleb publié en 2009 intitulé « Maîtrise de l'application des produits phytosanitaires en viticulture : utilisation des NTIC embarquées » [3] ils soulignent les rôles multiples des Nouvelles Technologies d'Information et de Communication qui servent à la fois pour l'aide, la visualisation ou encore l'enregistrement et la génération de documents automatique. Elles sont donc particulièrement adaptées à un rôle de traçabilité mais aussi pour l'établissement et l'analyse efficace d'un retour sur expérience, ou encore maîtriser la qualité.

Dans l'article intitulé « L'utilisation de la traçabilité en Tunisie : le cas de la filière dattes et huiles d'olive. » [4] de Joëlle Morana et Meriam Karaa, on retrouve les notions de confiance et d'augmentation du travail administratif comme dans le premier article cité dans ce paragraphe, mais aussi la notion d'innovation stratégique, faisant ainsi de la résolution du problème de traçabilité, une avancée majeure donnant l'avantage vis-à-vis des concurrents. On y trouve aussi l'importance de la référence à la réglementation en vigueur. L'article souligne l'impact qu'à l'implantation d'un système de traçabilité sur la mise en lot dans le

milieu industriel. En effet, la taille et l'identification des lots sont étroitement liés au système de traçabilité.

Le dernier texte auquel nous avons fait référence est intitulé « Contributions méthodiques et conceptuelles à la conception, la gestion et l'amélioration des systèmes de traçabilité des produits alimentaires » [1]. Il s'agit d'une thèse rédigée en 2008 par Mhamed Bendaoud qui se rapproche beaucoup du travail que nous avons à effectuer et qui regroupe une multitude d'informations sur, entre autres, les outils pour la traçabilité et l'analyse fonctionnelle du besoin, des spécifications ainsi que du principe de conception d'un système de traçabilité.

### ***1.1.2. Les impacts et risques de l'augmentation de la traçabilité.***

De même que le problème de traçabilité dans le domaine de l'agroalimentaire, les risques liés à une meilleure traçabilité étendue à de multiples domaines n'ont pas été ignorés par l'opinion publique. De ce fait, il en est ressorti une multitude d'inquiétudes et de piste de solutions reprise largement par la communauté scientifique.

Dans son article de 2009 « RFID et nouvelles technologies de communication : enjeux économiques incontournables et problèmes d'éthique. » [5] bien que largement tourné vers la RFID, André Thomas lance l'idée que pour se protéger des dangers liés à l'intensification de traçabilité, il suffit de diffuser l'idée et d'informer la population au maximum.

Dans l'article « Existe-t-il des risques à prévenir les risques ? » [7] de Franck Cochoy publié en 2001 qui souligne une nouvelle fois que la traçabilité est au centre des préoccupations de la société, il est ajouté qu'elle est aussi un antidote contre la baisse de qualité des produits principalement due aux achats irréfléchis d'acheteurs peu consciencieux. Cependant, elle a pour impact de modifier subrepticement les préférences des consommateurs.

Dans l'article de 2003 « Une mémoire pour le futur : La traçabilité comme allocateur de responsabilité. » [6] de Didier Torny, on retrouve les problèmes d'éthique mais aussi le problème de stockage des données sauvegardées. Cependant, ces sauvegardes permettent d'anticiper. L'article traite aussi de la nécessité de réorganisation spatiale de la responsabilité.

### ***1.1.3. Les spécificités du domaine du bois.***

Le bois est un matériau très différent des autres à cause de son anisotropie mais aussi de ses retraits qui peuvent être importants. La production de produits bois requiert donc parfois des arrangements par rapport aux autres types de production. La traçabilité ne devrait pas déroger à cette règle. C'est pourquoi, nous avons voulu élargir notre bibliographie en prenant des exemples de ce qui se faisait dans le domaine du bois. Dans leur projet de fin d'étude de l'année 2009/2010 intitulé « Bois communiquant sur pied » [8], Jeremy Jover et Fraval Pierre ont fait un travail concernant l'instauration de la traçabilité des bois dès leur croissance.

## **1.2. Technologies de traçabilité.**

Afin de pouvoir répondre au mieux au problème de l'entreprise Acta Mobilier, nous avons réalisé un état de l'art, une veille technologique, sur les systèmes d'identification qui servent à la traçabilité en logistique.

Par soucis de n'écarter aucune de ces solutions technologiques, nous nous sommes tout d'abord intéressés aux solutions les plus simples pour ensuite finir sur les solutions les plus avancées technologiquement.

### ***1.2.1. La carte d'identité avec suivi manuel.***

Cette solution consiste à mettre en place un système de carte d'identité des pièces, au format papier, sur laquelle figure les informations permettant d'identifier la pièce. Cette carte suit la pièce tout au long du processus de fabrication par l'intermédiaire des opérateurs lors des phases d'usinages, et est attachée à la pièce pour les phases de transferts. En réalité, le suivi et l'identification est réalisé par l'opérateur, qui lors de chaque phase d'usinage doit s'assurer qu'il remet bien en place la bonne carte sur la bonne pièce. Cela implique donc un contrôle à chaque poste d'usinage.

C'est la méthode par défaut de la traçabilité car il s'agit de la plus simple, mais c'est également celle qui procure le plus d'erreurs. Suivant les entreprises, elle est plus ou moins bien développée et peut suffire en fonction des besoins.

### ***1.2.2. La gravure.***

Le meilleur moyen pour ne pas perdre l'identité d'une pièce consiste à faire porter cette identité constamment par la pièce. Une des techniques consiste donc à réaliser une gravure unique sur la pièce ou sur un lot de pièces identiques. A partir de cette gravure on peut alors retrouver dans une base de données toutes les informations sur la pièce. C'est le même principe que le système d'empreinte chez l'Homme.

*Tableau 3 : Avantages et inconvénients d'un système de traçabilité par gravure.*



<b>Avantages</b>	Ce système est par exemple utilisé dans l'automobile avec les numéros de série sur les moteurs, ou dans l'armement. Les investissements se limitent à la machine qui réalise la gravure quelle que soit la technologie et la base de données. La marque d'identification est directement ancrée dans la matière.
<b>Inconvénients</b>	La marque doit absolument être visible et ne peut pas être supprimée sauf en dégradant le produit. L'information n'est aussi pas directement sur le produit, il faut passer par une base de données.

### ***1.2.3. Les encres invisibles.***

Les encres invisibles ne sont pas réellement invisibles. En fait, elles ne sont pas visibles dans la plage de longueur d'onde que l'œil humain peut voir. Il existe donc différents types d'encres invisibles qui peuvent être vues sous différentes longueurs d'ondes comme les ultraviolets ou les infrarouges. On peut utiliser ces encres pour remplacer la technique de la gravure. Au lieu de réaliser une gravure unique, on réalise un symbole unique avec l'encre invisible. Contrairement à la gravure, le symbole à l'encre invisible reste invisible lors de la phase d'exploitation de la pièce.

Tableau 4 : Avantages et inconvénients d'un système de traçabilité par encre invisibles.



<b>Avantages</b>	Ce système ne demande pas d'investissement particulier. Il est utilisé dans l'industrie du bois pour le marquage de pièces d'aboutage par exemple.
<b>Inconvénients</b>	La marque à l'encre invisible ne doit pas être recouverte par quelque chose pour être lue. L'information n'est pas non plus directement sur le produit, il faut passer par une base de données.

#### 1.2.4. Les codes à barres.

Cette technologie est l'une des plus utilisée à l'heure actuelle. En effet on la rencontre dans notre vie de tous les jours, que ce soit dans les supermarchés pour identifier les différents articles ou dans les aéroports sur les bagages ou les billets d'avions. Le code à barres est présent partout. Il est généralement imprimé sur l'emballage ou sur une étiquette que l'on colle à la pièce. Mais le code à barres n'est en fait qu'une forme de cryptage et décryptage automatique d'une quantité plus ou moins grande d'informations contenues sur la pièce avec plus ou moins de sécurité (fonction du type de code à barres dont les principaux sont présentés dans la Figure 5). On peut donc imaginer qu'il ne fait que remplacer la carte d'identité au format papier de la - PARTIE 2 - 1.2.1 en réduisant la surface de stockage. Cela permet donc d'envisager que le code à barres, contrairement à la feuille de papier, puisse rester sur la pièce tout au long du processus de fabrication.



Linéaire



Linéaire empilé



Bidimensionnel

Figure 5 : Les 3 types de codes à barres actuels.

Tableau 5 : Avantages et inconvénients du système de traçabilité par code à barres.



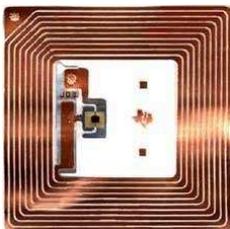
<b>Avantages</b>	Le code à barres est le principal concurrent de la RFID. Son atout est son prix très faible par rapport au transpondeur RFID. Les lecteurs sont également un peu moins chers pour la technologie code à barres que pour la technologie RFID. Il est également possible de stocker des informations dans les codes à barres mais il est impossible de modifier cette information sans changer de code à barres.
<b>Inconvénients</b>	La lecture du code à barre doit se faire sans obstacle entre le code à barre et le lecteur, ce qui ne permet pas de le dissimuler. De plus la lecture de plusieurs codes à barre en même temps est impossible. La distance de lecture est seulement de quelques centimètres.

### **1.2.5. La RFID (Radio Frequency Identification).**

La technologie RFID est une solution qui ne nécessite ni contact physique ni contact visuel (comme pour les codes à barre), entre le lecteur et le transpondeur fixé sur la pièce. Elle utilise les champs magnétiques ou électriques pour communiquer.

Les champs magnétiques traversant la matière, à l'exception des matériaux métalliques, il est donc possible de mettre le transpondeur aussi bien en surface de la pièce que directement dans la pièce où il sera alors non visible. Le transpondeur ne porte pas uniquement un identifiant, il peut aussi porter tous types d'informations numériques comme les codes à barres.

*Tableau 6 : Avantages et inconvénients d'un système de traçabilité par RFID.*



<b>Avantages</b>	La RFID permet une lecture à distance qui va de quelques centimètres à quelques mètres, et qui autorise la lecture au travers de la matière. Cela permet de totalement dissimuler le transpondeur. De plus, il est possible de lire plusieurs transpondeurs en même temps sur la même base station. Enfin, il est possible de modifier en temps réel l'information qui est présente sur le transpondeur.
<b>Inconvénients</b>	Le plus gros inconvénient de cette technologie reste son coût, surtout par rapport aux codes à barres. Cependant, on peut penser que dans les années à venir, le développement de la technologie et de son marché permettra, si ce n'est de l'annuler, au moins de diminuer la différence de prix entre les systèmes RFID et les systèmes code à barres.

### **1.2.6. Reconnaissance de pièces par cameras.**

L'utilisation de caméras en logistique est de plus en plus courante, mais le plus souvent pour des contrôles qualités comme détecter la présence de nœuds, mais aussi les nuances de couleurs ou de brillance des finitions. Mais cette technologie permet également de déterminer, grâce à des logiciels de traitement de l'image, la dimension des pièces ou leur couleur. En d'autre terme, cette technologie permet de connaître certaines caractéristiques qui sont propres à une pièce ou à un lot de pièces, permettant alors de les identifier. Cette fois ci, la pièce ne porte plus d'information sur elle.

*Tableau 7 : Avantages et inconvénients d'un système de traçabilité par caméras.*



<b>Avantages</b>	Ce système est très utilisé dans l'industrie du bois, mais pour l'optimisation et le classement qualité. Il présente l'avantage de ne pas modifier la pièce, que ce soit par un marquage ou un étiquetage, contrairement aux autres systèmes.
<b>Inconvénients</b>	Ce système reste assez couteux et conséquent à installer car il nécessite des caméras et des logiciels de traitement d'images puissants. De plus, il faut un système de base de données et un réseau performant et rapide pour avoir les informations en temps réel.

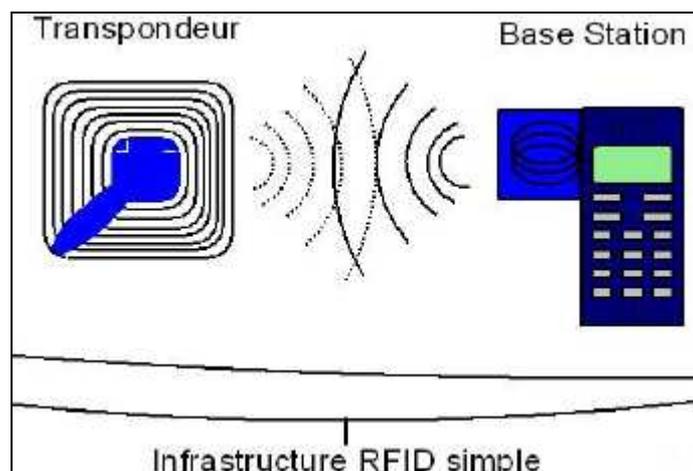
### **1.3. Approfondissement sur la RFID.**

Puisqu'il s'agit de la technologie la plus prometteuse vis-à-vis de notre problème, il semble nécessaire de développer un peu plus le sujet.

#### **1.3.1. Principe de fonctionnement.**

La RFID utilise le rayonnement radio fréquence pour la communication entre le lecteur généralement fixe mais quelques fois portable, que l'on appelle aussi interrogateur ou base station, et l'identifiant que l'on appelle le transpondeur ou « tag », déporté sur la pièce.

Le principe de fonctionnement est présenté sur la Figure 6 : l'interrogateur émet un champ électromagnétique autour de lui. Le, ou les, transpondeurs qui se situent dans le champ d'émission reçoivent, par l'intermédiaire d'une antenne, le champ électromagnétique qui va activer les transpondeurs. Ces derniers vont alors renvoyer un signal et un dialogue va ainsi être établi entre les transpondeurs et l'interrogateur suivant un protocole de communication prédéfini. Des données peuvent ainsi être échangées, et notamment les identifiants uniques de chaque transpondeur qui permettront l'identification.



*Figure 6 : Communication entre le transpondeur et la base station du système RFID.*

On associe généralement le système RFID à un système informatique tel qu'une base de données ou un ERP qui permet l'exploitation des données recueillies par le système. Cette partie informatique amont est souvent appelée "hôte".

#### **1.3.2. Le transpondeur.**

Un des éléments les plus importants d'un système RFID est le transpondeur ou "tag". On peut le classer suivant plusieurs catégories différentes, que ce soit en fonction du type d'émission du signal, de sa technologie, mais aussi de son mode de fonctionnement ou de sa forme. Quel que soit le type de transpondeur, on peut le représenter comme étant composé d'une antenne qui sert à capter les champs électromagnétiques et d'une puce qui contient les informations.

Il existe 3 types de transpondeur (d'émission) :

- **Transpondeurs passifs** : ce sont les moins chers aujourd'hui. Ils ne possèdent pas leur propre alimentation en énergie et ne sont donc activés que par le signal de la base station qui leur sert d'alimentation en énergie. On dit que le transpondeur est télé-alimenté. Le tag ne peut pas émettre de signaux par lui-même sans être préalablement interrogé par la base station.
- **Transpondeurs semi-passifs** : possédant sa propre source d'alimentation en énergie, cela permet d'augmenter les distances de communication, mais fait également augmenter le coût et la taille du transpondeur. En revanche, ces transpondeurs ne peuvent toujours pas émettre de signaux eux-mêmes.
- **Transpondeurs actifs** : ces derniers possèdent un émetteur à haute fréquence ce qui leur permet d'émettre sans être obligatoirement interrogés préalablement par la base station. Pour pouvoir émettre de lui-même ce transpondeur a besoin d'énergie, c'est pourquoi il embarque presque toujours un système d'alimentation. Il permet donc une plus grande distance de communication.

Concernant les technologies de transpondeurs, il existe aujourd'hui une multitude de technologies pour les tags RFID et encore bien plus de formes sous lesquelles on peut les trouver. Nous allons donc vous présenter les principaux types :

- **Circuit intégré** : ce sont de loin les plus utilisés aujourd'hui. La puce du transpondeur est un circuit électronique classique. On peut trouver ces transpondeurs sous différentes formes, comme une capsule, une étiquette, une pastille et bien d'autres encore.
- **Chipless** : ces tags n'ont pas de circuit intégré. Il existe diverses technologies de transpondeurs chipless. On peut trouver par exemple des transpondeurs à encre conductrice. On peut grâce à cette technologie directement imprimer le transpondeur sur un objet que l'on souhaite identifier. Pour le moment, la distance d'utilisation est d'environ un mètre. Il existe une autre technologie dite « à ondes acoustiques de surface » qui est composée d'un cristal piézoélectrique et dont la distance d'utilisation est entre 7 et 10 mètres. Enfin, on peut également citer la technologie dite « de circuit à transistors sur film fin » (TFTC). Le transpondeur est en fait composé de dépôts chimiques sur un film plastique. Ils permettent une grande souplesse du transpondeur.

Aujourd'hui, la technologie RFID permet à la fois l'identification et le fait d'embarquer d'autres informations sur le transpondeur. Mais le besoin de chaque entreprise étant différent, il existe différents modes de fonctionnement des transpondeurs que l'on peut regrouper sous trois différentes catégories :

- **Lecture seule** : c'est le mode de fonctionnement le plus simple du transpondeur et qui sert principalement pour les problèmes traitant seulement d'identification. Le transpondeur peut être lu uniquement par la base station, le transpondeur possède juste les informations qui ont été écrites par le fabricant du tag. Ces informations peuvent être choisies par l'entreprise, mais une fois ces informations écrites, le transpondeur ne peut être que lu.
- **Lecture/écriture unique** : ce mode de fonctionnement est similaire à la lecture seule sauf que cette fois-ci, le transpondeur livré par le fabricant est vierge, il ne contient aucune information. C'est l'acheteur du transpondeur qui va pouvoir venir écrire des

informations dessus. Les informations ne peuvent être écrites qu'une seule fois, ensuite le transpondeur se comporte comme un transpondeur en lecture seule.

- Lecture/écriture multiple : dans ce mode de fonctionnement, le transpondeur peut être livré vierge ou avec des informations. Mais les informations peuvent être effacées et réécrites par l'acheteur du transpondeur presque autant de fois qu'il le souhaite. Ce type de transpondeur est très utile lorsque l'on vient écrire des informations à différents moments d'un processus ou bien lorsque l'on souhaite réutiliser les transpondeurs avec de nouvelles informations.

### ***1.3.3. Base station, lecteur.***

Comme nous avons déjà pu le voir, le système RFID est composé d'un élément déporté, le transpondeur, et d'une partie dite "fixe", la base station. Mais nous allons voir que la base station, ou lecteur peut aussi être portable.

La base station a pour rôle de lire, de transmettre voir d'écrire des données sur les transpondeurs. Elle est donc composée d'une carte électronique et d'une source d'énergie qui alimentent une antenne radio et qui permettent la communication avec le transpondeur. Il existe plusieurs types de bases station comme on peut le constater sur les images présentées sur la Figure 7.



*Figure 7 : De gauche à droite, un lecteur douchette, un lecteur portable, un lecteur portique*

### ***1.3.4. Les fréquences, distances d'utilisation et anticollision.***

Le Tableau 8, tiré du site internet CNRFID, présente les différentes fréquences d'utilisation de la RFID ainsi que les distances de lecture. On y trouve également les avantages et inconvénients de ces différentes fréquences.

Tableau 8 : Différentes fréquences et distances d'utilisation, d'après le site CNRFID.

Fréquence	125 et 134,2 kHz LF	13,56 MHz HF	868 à 915 MHz UHF	2,45 et 5,8 GHz SHF
Portée typique max	0,5 m	1 m	3 à 6 m	1 m
Caractéristiques générales	-Relativement cher même par gros volumes - L'antenne nécessite un nombre de tours important - Faible dégradation des performances en milieu métallique ou liquide	-Moins cher que les tags LF - Bien adapté aux applications qui ne demande pas de lire beaucoup de tags à grande distance -Fréquence unique dans le monde	-En gros volume, les tags UHF sont moins chers que les tags HF et LF - Adapté à la lecture en volume à longue distance - Performances dégradées par rapport à la HF en milieu métallique ou aqueux	-Performances similaires à l'UHF - Très forte sensibilité aux métaux et liquides - Liaison lecteur/tag plus directive que pour les fréquences plus basses
Principales Normes	ISO 14223/1 ISO 18000-2	ISO 14443 ISO 15693 ISO 18000-3	ISO 18000-6	ISO 18000-4

Tout d'abord, il est important de dire que les systèmes RFID utilisant la SHF sont assez rares. De plus, les transpondeurs SHF ont un coût plus élevé que les autres. Pour ce qui est des systèmes LF, ils sont difficiles à mettre en place compte tenu de la faible distance de lecture. Pour notre étude, nous nous intéresserons plus particulièrement aux systèmes HF et UHF. Ces deux systèmes, Haute Fréquence et Ultra Haute Fréquence, sont préconisés pour des applications en Supply Chain Management. De plus, ce sont les deux systèmes qui proposent les transpondeurs au plus bas coût.

Si l'on doit comparer les deux systèmes, on constate que la principale différence est la distance de lecture entre la base station et le transpondeur. En HF, celle-ci peut atteindre 1 mètre. C'est principalement la limitation des niveaux d'énergie émis par le système qui empêche l'augmentation de cette distance de lecture. Pour ce qui concerne l'UHF, la distance de lecture peut atteindre 6 mètres. Bien sûr, ces distances ne sont valables que pour des transpondeurs dit "passifs", qui sont télé-alimentés. Bien que la distance de lecture soit un paramètre important dans le choix de la fréquence porteuse, on peut souligner encore quelques points qui diffèrent entre HF et UHF.

Le laboratoire EPCglobal France a réalisé une série de tests dans le but de définir le taux de lecture des systèmes HF et UHF en présence de liquide et de métal. Voici ce qu'ils ont conclu : les systèmes UHF ne permettent pas la lecture au travers des liquides car les ondes UHF sont absorbées par les liquides. A contrario, les systèmes HF ont des taux de lectures très importants au travers des liquides. Les tests permettent également de montrer que la lecture en milieu métallique est difficile pour les deux systèmes. En fait, certains métaux réfléchissent les ondes envoyées par la base station ou retournées par le transpondeur. Ils produisent aussi du bruit sur les signaux envoyés ce qui empêche la communication entre la base station et le transpondeur. Les tests mettent tout de même en évidence un meilleur comportement des systèmes HF dans les milieux métalliques.

Enfin, on constate que les systèmes UHF sont eux, plus adaptés à la lecture en volume et en présence d'un nombre important d'étiquettes. Par exemple, si le choix de la base station s'oriente vers des portiques de lecture automatique, les systèmes UHF semblent plus indiqués. En revanche pour une lecture que l'on pourrait qualifier de manuelle avec un lecteur de type "douchette" et en milieu métallique, alors les systèmes HF semblent plus indiqués.

Voilà ce que l'on peut dire sur le choix de la fréquence porteuse, mais ce paramètre est loin d'être l'unique paramètres à étudier lors de la mise en place d'un système RFID.

Bien que la lecture de transpondeurs un par un peut être suffisante pour certaines utilisations, il peut aussi être intéressant de pouvoir lire plusieurs transpondeurs présent en même temps dans le champ d'action d'une base station. Pour pouvoir réaliser la lecture multiple de transpondeur il faut un système et des procédures d'anticollision. Il existe plusieurs procédures d'anticollision, telles que les méthodes probabilistes ou les méthodes déterministes :

- La méthode probabiliste : elle consiste à interroger les transpondeurs à plusieurs intervalles de temps et à faire répondre de manière aléatoire le transpondeur. Si un seul transpondeur répond dans cet intervalle de temps, il est reconnu et inhibé, si plusieurs transpondeurs répondent, il y a collision et la base station interroge de nouveau dans un autre intervalle de temps. En répétant cette séquence, tous les transpondeurs sont reconnus.
- La méthode déterministe : selon cette méthode, la base station va interroger tour à tour tous les transpondeurs en balayant toutes les adresses des transpondeurs et les inhiber un par un. Cette méthode peut prendre plus ou moins de temps en fonction du nombre de transpondeurs présents dans le champ de la base station.

### ***1.3.5. Les contraintes de la RFID.***

Comme tout système, la RFID n'est pas sans contraintes. Nous allons présenter les principales dans les paragraphes qui vont suivre.

Comme nous avons pu le voir précédemment, il existe une multitude de transpondeurs et de bases stations dans le commerce, et le coût d'une installation peut varier très fortement en fonction des choix technologiques opérés. Cependant, la technologie RFID reste souvent plus chère que la technologie code à barres. D'autre part, il est important lors du chiffrage d'une installation de bien prendre en compte tous les aspects de l'installation, mais également les gains que le système devrait apporter.

Même si la technologie RFID permet l'identification sans contact à travers des obstacles, il est parfois difficile de lire au travers ou autour de certaines matières. C'est le cas dans les environnements avec présence de métaux ou de forte humidité. La fréquence d'utilisation des transpondeurs joue alors un rôle très important. Bien que cela ne soit pas toujours un cas de figure qui se présente, il est également très difficile de lire à travers les liquides.

Les systèmes RFID peuvent parfois être sensibles aux ondes électromagnétiques parasites émises par d'autres équipements électriques comme les ordinateurs ou bien les éclairages.

Enfin, une part importante de l'installation d'un tel système est dans le management du personnel. En effet, la mise en place de systèmes d'identification par RFID est bien souvent un sujet de débat sur le respect des libertés individuelles et de l'impact des radios fréquences sur la santé.

### ***1.3.6. Les formes de transpondeurs RFID.***

#### La puce RFID la plus petite du monde :

C'est la société Hitachi qui est à l'origine de cette puce RFID de dimension 0,4 mm x 0,4 mm et d'épaisseur 0,06 mm. Cette puce en lecture seule d'une mémoire de 128 bit fonctionne en Super Haute Fréquence de 2,45 GHz.

#### L'encre RFID :

Aujourd'hui, l'encre RFID invisible n'est plus un rêve, une société américaine, "Somark Innovations", a mis au point cette encre biocompatible pour la traçabilité du bétail. Cette encre est insérée sous la peau et lue à travers la fourrure des animaux jusqu'à 1 mètre de distance. Le volume de données qui peut être contenu varie en fonction de la surface du tatouage sous cutané. Le prix de revient de cette encre serait dix fois inférieur à celui des puces RFID pour le marquage des animaux. Mais il semble difficile de se procurer de cette encre sur le commerce aujourd'hui malgré l'annonce en 2007 des résultats des premiers tests.

#### Les inlays :

On peut trouver des transpondeurs inlay de dimensions et de formes géométriques très variables (rectangle, carré, circulaire...) et d'épaisseur supérieur à 0,1 mm. Ce sont les transpondeurs les moins chers et on peut les trouver en lecture seule ou lecture écriture ainsi que dans toutes les fréquences (LF, HF, UHF). Les capacités telles que la taille mémoire, la vitesse de transfert des données et les distances de lecture varient en fonction des transpondeurs et des fréquences porteuses.

#### Les autres (clou, capsule, cylindre...) :

Il est possible de trouver des transpondeurs sous différentes formes comme des clous pour le bois ou encore des petits cylindres de taille très variable. Ces transpondeurs sont, soit en LF, soit en HF, voire en UHF et leur capacité varie. On peut en trouver en lecture seule ou en lecture écriture et leur prix est généralement entre 1 et 2 euros.

## - PARTIE 3 - CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL.

### 1. PRESENTATION DE LA DEMARCHE.

Comme déjà expliqué dans l'introduction, mener un projet de cette dimension nécessite une bonne méthodologie. C'est pour cela que nous avons décidé d'utiliser une démarche d'ingénierie système qui peut être résumée par la Figure 8.

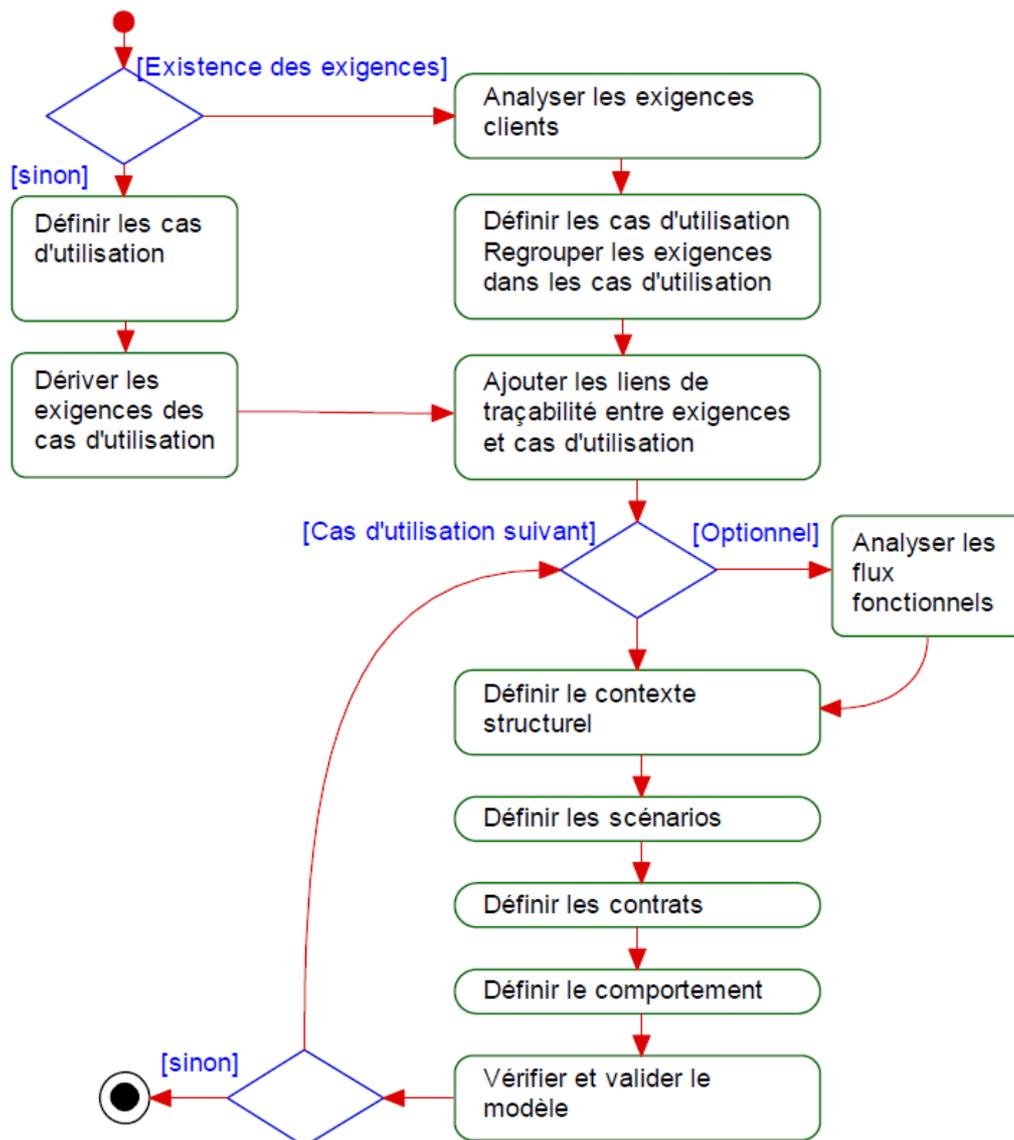


Figure 8 : Démarche d'ingénierie système

Cette démarche, bien que globalement similaire à celle de l'analyse de la valeur, présente toutefois quelques différences, ce qui pourra notamment nous amener à les combiner à certains moments. Nous l'appliquons grâce au logiciel Rapsody qui est un atelier permettant de gérer tous les aspects de l'ingénierie système.

## **2. EXIGENCES.**

### **2.1. Exigences des parties prenantes.**

Le principal problème, qui est aussi celui pour lequel l'entreprise nous a contactés, est la perte de pièce qui se répercute par une grande difficulté à tenir les délais. Il est donc normal que la première des exigences UR1 soit de ne plus perdre de pièces.

D'autre part, l'entreprise est reconnue pour ses finitions de très haute qualité. La deuxième exigence UR2 est donc tout naturellement de ne pas diminuer la qualité de la finition.

Evidemment, nous retrouvons, comme pour la plupart des systèmes à faire, une exigence de fiabilité UR3 qui se traduit en termes de disponibilité mais aussi de robustesse.

D'un commun accord, nous rajoutons évidemment une exigence correspondant au coût de cycle de vie du système faible que nous nommerons UR4

Conscients que l'entreprise doit déjà respecter les normes citées dans le paragraphe - PARTIE 1 - 1.1, nous traduisons cette obligation par l'exigence UR5.

Et enfin, l'installation d'un tel système signifie toujours un investissement assez important et, par conséquent, l'augmentation du prix du panneau n'est pas à exclure. L'entreprise souhaiterait donc compenser cette augmentation par la proposition potentielle au client d'un nouveau service qui serait rendu possible par l'insertion de cette nouvelle technologie. Cette idée sera donc traduite par l'exigence UR6.

«Requirement» UserReq1	«Requirement» UserReq2	«Requirement» UserReq3	«Requirement» UserReq4	«Requirement» UserReq5	«Requirement» UserReq6
ID = UR1	ID = UR2	ID = UR3	ID = UR4	ID = UR5	ID = UR6
Ne plus perdre de pièces	Ne pas diminuer la qualité de la finition	Système fiable	Life Cycle Cost faible	Respecter les normes	Offrir un nouveau service au client

*Figure 9 : Représentation via Rapsody des exigences des parties prenantes*

Dès le début, et certainement parce que l'entreprise avait déjà réalisé de nombreuses recherches pour solutionner leur problème de perte de pièces, la solution RFID était mise en avant. Nous avons longuement hésité à la mettre ici en tant qu'exigence client mais nous avons finalement décidé du contraire car ajouter cette exigence dès le départ contraindrait de beaucoup notre projet. Nous préférons donc étudier quand même les autres technologies citées dans le paragraphe - PARTIE 2 - 1.2 afin de ne pas écarter la moindre piste de solution envisageable.

## **3. FONCTIONS ATTRIBUABLES AU SYSTEME A FAIRE.**

Les fonctions sont les choses que doit faire le système lorsqu'on le sollicite. Ainsi, on peut en déduire quatre fonctions principales. Les trois premières découlent de l'exigence UR1 « ne plus perdre de pièces » :

### - PARTIE 3 - CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL.

F01 : Le système doit fournir des informations sur la pièce à l'opérateur qui l'a sous les yeux pour éviter les erreurs de gamme.

F02 : Le système doit localiser une pièce jugée perdue dans sa gamme pour la retrouver.

F03 : Le système doit compiler des données relatives aux pertes afin de pouvoir mettre en place des actions correctives.

En effet, pour ne plus perdre de pièce, il faut soit ne plus faire aucune erreur de gamme, soit pouvoir localiser rapidement la pièce, auquel cas elle ne pourra plus être qualifiée de « perdue ». La fonction F03 permet de repérer les endroits où les pertes sont plus nombreuses afin de pouvoir agir pour diminuer le nombre de pertes à ces endroits.

F01 et F02 sont liées à deux autres fonctions qui découlent d'elles :

F011 : Le système doit lier à la pièce ses propres données de traçabilité.

F021 : Le système doit collecter des informations en temps réels.

La troisième est directement liée à l'exigence UR6 « Offrir un nouveau service au client » et sera formulée comme ceci :

F1 : Le système doit fournir aux clients un service d'identification post-production.

Les fonctions ainsi que leurs principaux acteurs sont résumés sur la Figure 10 qui est un aperçu d'un diagramme de cas d'utilisation réalisé avec Rapsody.

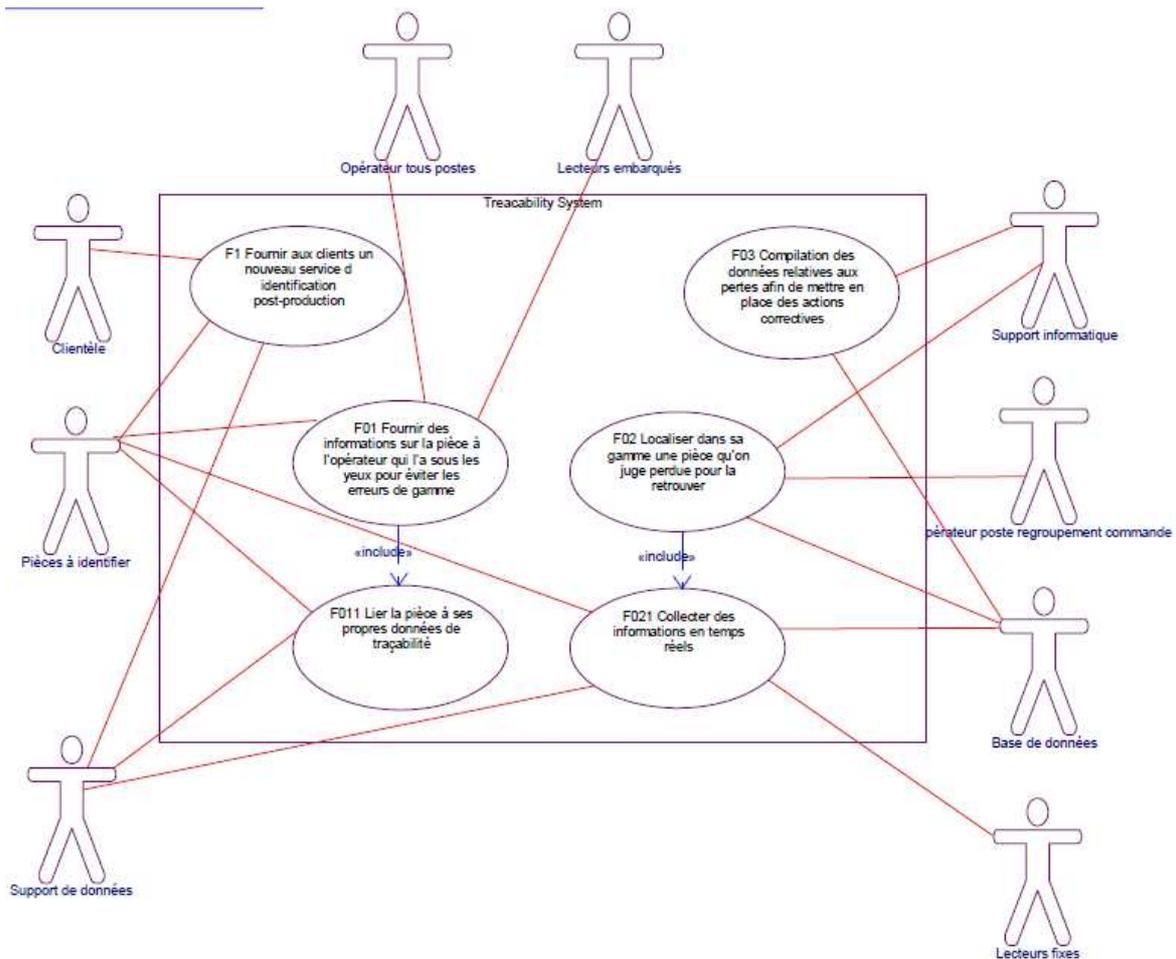


Figure 10 : Use Case Diagram, via Rapsody

### 3.1. Exigences systèmes associées aux exigences des parties prenantes.

Chacune des exigences des parties prenantes citées dans le paragraphe - PARTIE 3 - 2.1 peut être traduite en exigences systèmes. Nous ne présenterons ici que le développement des exigences UR1 et UR2 car les autres dépendent majoritairement du choix de la solution à implanter et devront donc être étudiées à postériori.

L'exigence UR1, associée aux fonctions F01, F02 et F03 se décompose suivant le diagramme d'exigence système présenté dans la Figure 11.

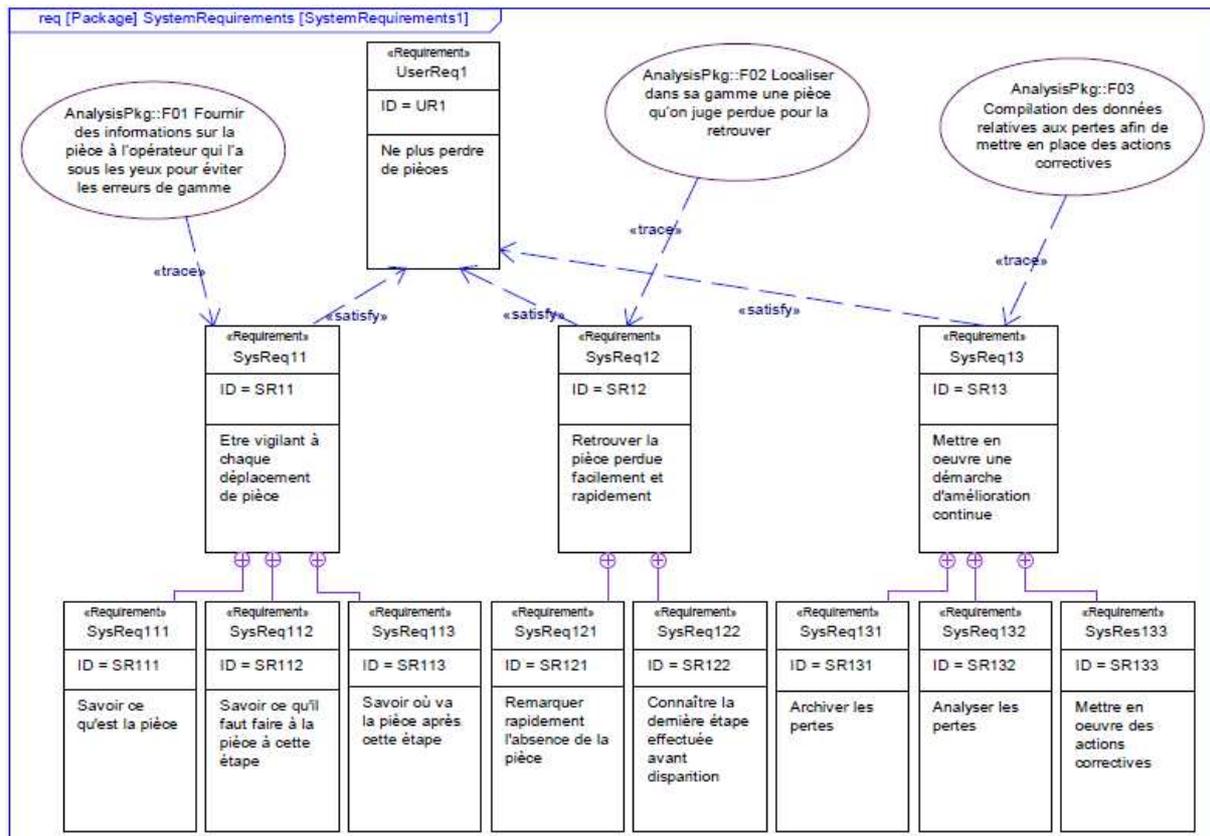


Figure 11 : System Requirements Diagram pour la perte de pièces, via Rapsody

L'exigence UR2 se décompose suivant le diagramme d'exigences système présenté dans la Figure 12.

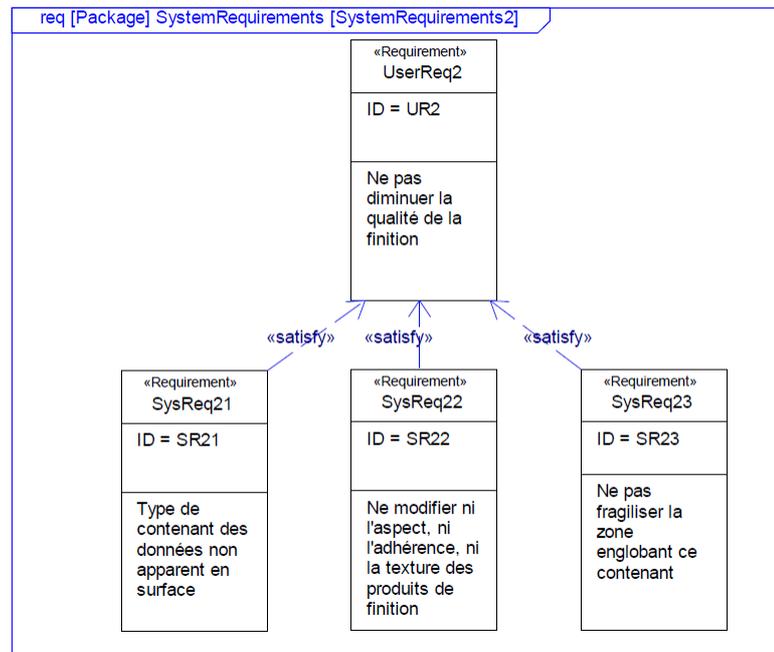


Figure 12 : System Requirements Diagram pour la qualité de finition, via Rapsody

#### **4. EXIGENCES LIEES AUX ENVIRONNEMENTS**

Dans le cadre d'une démarche d'analyse de la valeur, nous pouvons appeler ces exigences des fonctions. Toutefois, comme nous développons ici une démarche d'ingénierie système, il s'agit non pas de fonctions mais d'exigences qui découlent des comportements que le système va avoir vis-à-vis de ses environnements.

Il est donc important, dans un premier temps, de déterminer les environnements du système, comme présentés sur la Figure 13.

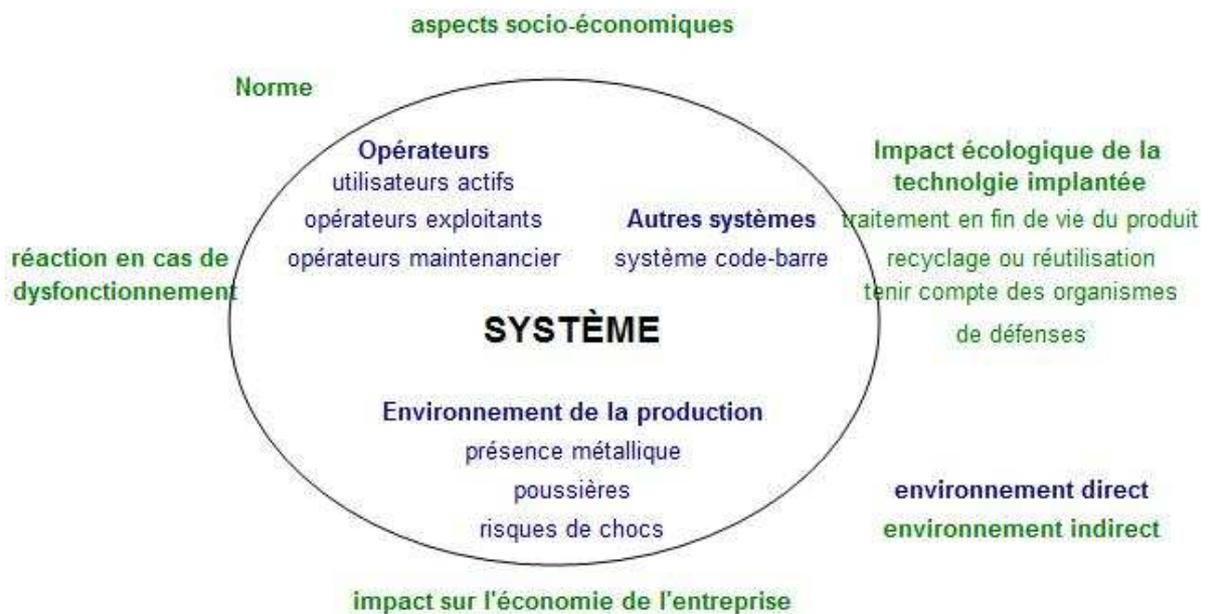


Figure 13 : Environnements direct et indirect du système.

Comme il ne s'agit pour l'instant que de dégrossir le problème, nous ne traiterons dans les parties suivantes que les éléments relatifs à l'environnement de production et aux entrées et sorties du système.

#### **4.1. Environnement de la production.**

Théoriquement, les panneaux se trouvent tout le temps en intérieur. Cependant, l'application de l'apprêt et des différentes couches de laque peuvent augmenter fortement l'humidité. De plus, durant les phases de séchage, la température maximale atteint les 50°C, il faut donc en tenir compte. La principale attaque chimique que le système de stockage de l'information peut subir concerne l'apprêt. Il est donc nécessaire de tenir compte de ce fait et se renseigner sur l'agressivité de ce produit.

Lors de notre visite au sein de l'entreprise, nous avons pu remarquer que certaines parties du bâtiment étaient en structure métallique. En revanche, les pièces qui devront être identifiées ne comportent aucune partie métallique. Il faudra tenir compte de la structure métallique du bâtiment dans le choix du système à installer.

Nous avons donc la liste d'exigences systèmes suivantes :

SR31 : Le système doit résister aux attaques chimiques de l'apprêt.

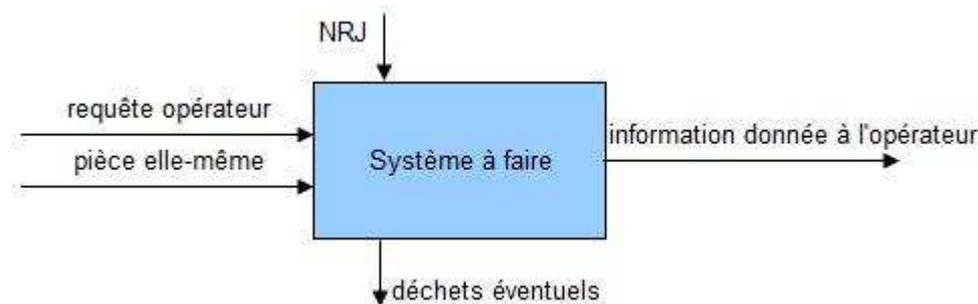
SR32 : Le système doit résister à la chaleur du séchage.

SR33 : Le système doit résister à l'humidité.

SR34 : Le système doit résister au ponçage et aux poussières.

SR35 : Le système doit fonctionner dans un environnement métallique.

#### **4.2. Entrées et sorties du système.**



*Figure 14 : Entrées et sorties du système.*

D'après le diagramme présenté dans la Figure 14, nous voyons qu'il est nécessaire de tenir compte de la puissance ou de l'énergie requise pour assurer le bon fonctionnement du système ainsi que des interfaces qui permettent la communication avec l'opérateur. D'où les exigences système suivantes :

SR41 : Le système doit pouvoir communiquer avec l'opérateur.

SR42 : Le système doit être alimenté en énergie.

# **- PARTIE 4 - CHIFFRAGES DE DIFFERENTES SOLUTIONS**

## **1. LES DIFFERENTES SOLUTIONS.**

Nous avons évalué les solutions proposées dans le Tableau 9. Afin d’avoir une meilleure idée de leurs points communs et de leurs différences, le tableau permet de les comparer directement vis-à-vis du tag utilisé, de l’endroit et du type d’usinage à réaliser.

*Tableau 9 : Les différentes solutions chiffrées.*

<b>Solutions</b>	<b>Type de tag</b>	<b>Endroit d’usinage</b>	<b>Type d’opération</b>
<b>1</b>	Encapsulé circulaire	face	Perçage
<b>2</b>	Encapsulé cylindrique	chant	Perçage + rebouchage
<b>3</b>	Inlay circulaire	face	Ponçage ou défonçage
<b>4</b>	Encapsulé cylindrique	face	Perçage + 2 couches d’apprêt
<b>5</b>	Encapsulé	chant	Fraisage + rebouchage

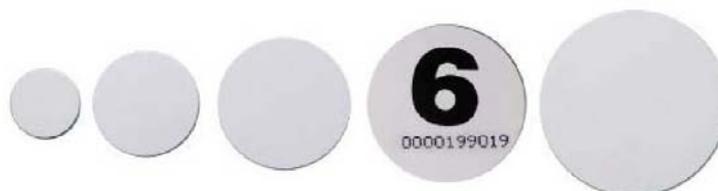
## **2. CHIFFRAGE.**

Pour toutes les solutions, on calcule le coût supplémentaire par pièce par l’intermédiaire d’une feuille Excel que nous avons spécialement conçue pour s’adapter rapidement à des évolutions au niveau des prix et des temps.

Toutes les données monétaires ont été choisies en accord avec l’entreprise. En revanche, pour les temps opératoire, nous avons parfois fait des approximations.

### **2.1. Solution 1 : Tag encapsulé circulaire sur la face du panneau après perçage.**

Nous utilisons pour cette solution le tag PVC coin tag White de diamètre 30 mm et d’épaisseur 1 mm avec une puce I-Code SLI ISO15693 de chez Batag RFID présenté sur la Figure 15. Sa fréquence est de 13,5 MHz et sa distance de lecture se trouve entre 5 et 10 cm.



*Figure 15 : PVC coin tag I-code SLI ISO 15693, Batag RFID*

Comme pour toutes les solutions nécessitant un usinage, nous devons prendre en compte le coût de l'usinage, à savoir dans ce cas un perçage sur la face. On doit aussi tenir compte du coût du tag et du coût relatif à sa pose.

### **2.1.1. Coût d'un perçage.**

Le cout de l'heure sur la perceuse CN d'ACTA, qui comprend l'amortissement de la machine, l'opérateur et les frais de fonctionnement, revient à 24 €/h.

Nous avons estimé le temps de réalisation du perçage à 20 secondes. Ce temps prend en compte les phases de transition et la mise en place de la pièce sur la machine.

On obtient donc un coût de perçage de 0,13 € par pièce.

### **2.1.2. Coût de la pose d'un encapsulé circulaire.**

Le coût horaire de la main d'œuvre est de 17 €.

Le temps de mise en place du tag manuellement, qui comprend aussi les phases de transition a été estimé à 15 secondes.

On obtient un coût de pose du tag de 0,07 € par pièce

### **2.1.3. Coût de l'encapsulé circulaire.**

On peut considérer un achat de 100 000 tags par an. Ces tags sont fabriqués à Hong Kong et nous avons pu obtenir une estimation du coût de livraison estimé à 710 USD. Ce tarif vaut pour les 100 000 tags et comprend une taxe variable de 19% évaluée pour mars. Avec ce tarif, nous arrivons donc à un coût de livraison par tag de 0,01 USD. Le prix du tag en lui-même est de 0,465 USD. En considérant un taux de change de 1,25 USD pour 1 €, nous obtenons un coût de 0,38 € par tag.

La première solution revient donc à un coût de 0,58 € par pièce.

## **2.2. Solution 2 : Tag encapsulé cylindrique sur le chant après perçage et rebouchage avec du mastic.**



Nous utilisons pour cette solution le tag référencé CT6300 RFID Cylindrical Transponder de diamètre 5,8 mm et de longueur 30 mm avec une puce I-CODE SLI présenté ci-contre.

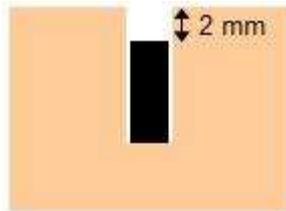
Il fonctionne avec une fréquence de 125 KHz et peut être lu à une distance de 10 cm.

De la même manière que précédemment, le coût de cette solution se divise en trois catégories, le coût d'usinage, le coût de pose et le coût du tag. Le coût d'usinage ne sera pas détaillé à nouveau dans ce paragraphe car l'usinage étant le même que celui de la solution 1, nous prendrons directement la valeur obtenue dans la - PARTIE 4 - 2.1.1.

### **2.2.1. Coût de la pose d'un encapsulé cylindrique.**

En gardant le même coût de main d'œuvre de 17 €, on estime que le temps d'insertion du tag, étant donné que l'usinage ne sera pas serrant comme cela devait l'être dans la solution 1 et comme on peut le voir sur la figure ci-dessous, sera de 10 secondes au lieu de 15.

On estime le temps de rebouchage avec le mastic à 20 secondes.



Concernant la quantité de mastic à utiliser, on peut voir sur le schéma ci-contre que l'on souhaite laisser 2 mm entre le tag et la surface. Pour simplifier, on calculera exclusivement le volume du cylindre de diamètre égal à celui du tag, c'est-à-dire 5,8 mm, et de hauteur 2 mm. On ne tiendra pas compte de la faible quantité de mastic qui pourra descendre le long du tag. On arrondira simplement à la valeur supérieure.

On obtient donc  $53 \text{ mm}^3$  de mastic.

Le litre de mastic revient à 36,77 € le litre. Pour simplifier les calculs, nous supposons sa densité égale à 1. Nous obtenons alors un coût de mastic par pièce de 0,0019 €, ce qui est très faible.

Normalement, nous devrions estimer le coût d'un séchage supplémentaire estimé à 5 min afin d'attendre que le mastic soit sec. Cependant, après discussion avec l'entreprise, ils ne considèrent pas que cette attente supplémentaire de 5 min leur coûte de l'argent mais seulement qu'il peut avoir une influence éventuelle sur le délai.

Le coût du ponçage du mastic est aussi à envisager. L'opération est estimée à 30 secondes et coûterait donc 0,14 €.

### **2.2.2. Coût de l'encapsulé cylindrique.**

Le tag étant fourni par la même entreprise que pour la solution 1, nous considérons que le coût de livraison sera sensiblement le même, soit 0,01 USD.

Le tag en lui-même coûte un peu plus cher que le précédent : 1,16 USD. Il est envisageable d'obtenir des réductions sur ce type de tag si on les achète en nombre suffisamment important.

En gardant le même taux de change, nous arrivons à un prix global du tag de 0,93 €.

La deuxième solution revient donc à un coût de 1,40 € par pièce.

## **2.3. Solution 3 : Tag inlay circulaire sur la face du panneau après ponçage ou défonçage sur le centre d'usinage.**

Nous utilisons pour cette solution exactement le même tag que celui présenté dans la - PARTIE 6 - 2.1. Il fonctionne à une fréquence de 13,5 MHz pour une distance de lecture entre 5 et 10 cm.

### **2.3.1. Coût de ponçage ou de défonçage.**

Cette fois, nous sommes obligés de réaliser l'usinage sur un des deux centre d'usinage à commandes numériques de l'entreprise Acta. Le cout de l'heure sur ces machines revient à

52,8 € de l'heure. Ce prix comprend lui-aussi l'amortissement de la machine, l'opérateur et les frais de fonctionnement.

On estime que le temps requis sera de 30 secondes, ce qui nous fait un coût de 0,44 € par pièce.

### ***2.3.2. Coût de la pose d'un inlay.***

On estime que le tag Omron est le plus compliqué à mettre car il nécessite un point de colle et un petit temps de séchage. Par conséquent, nous prenons un temps de 30 secondes qui, au tarif horaire présenté précédemment, correspond à un coût de 0,14 € par pièce

### ***2.3.3. Coût d'une temporisation lors de l'apprêtage.***

A cause de la non-planéité de ce type de tag, nous devons prendre en compte un surplus d'apprêt destiné à obtenir une surface bien plane avant laquage. Nous passons donc par une temporisation de 2 secondes au niveau du tag. Cette « perte de temps » peut se multiplier au coût horaire de la main d'œuvre et donc coûter 0,01 €. Ensuite, ce surplus d'apprêt peut être estimé à 0,0000004 m<sup>3</sup>. Le prix de l'apprêt étant de 2,3 € par kilogrammes pour une masse volumique de 1300 kg/m<sup>3</sup>, nous arrivons à un surcoût de 0,01 €.

### ***2.3.4. Coût d'un inlay.***

Ce type de tag s'achète en rouleau de 5000 tags pour 1167 €, ce qui nous fait donc un coût unitaire du tag de 0,23 €

La troisième solution revient donc à un coût de 0,83 € par pièce.

## **2.4. Solution 4 : Tag encapsulé cylindrique plat sur la face du panneau après perçage et application d'une couche d'apprêt supplémentaire.**

Pour cette solution, nous prenons exactement le même tag que dans la - PARTIE 4 - 2.1, présenté sur la Figure 15.

Nous avons donc le même coût par tag de 0,38 €. Nous avons aussi le même coût d'usinage évalué à 0,13 € et le même coût de mise en place du tag, pris à 0,07 €.

En revanche, pour cette solution, nous décidons de chiffrer le fait de mettre 2 couches d'apprêt au lieu d'une afin qu'à la deuxième, tous les défauts éventuellement restés après le ponçage aient complètement disparus. Nous comptons donc, dans cette étude, uniquement une couche d'apprêt et un ponçage qui sont les deux seules opérations supplémentaires requises par cette solution envisagée.

### ***2.4.1. Coût d'un ponçage.***

Pour l'étape de ponçage, nous prenons 30 secondes pour un coût de l'heure de ponçage de 24 €, ce qui nous donne un coût de l'opération de 0,20 €.

### **2.4.2. Coût d'une couche d'apprêt supplémentaire.**

Pour la couche d'apprêt supplémentaire, nous devons tenir compte d'un temps d'application de l'apprêt de 40 secondes environ au coût horaire de la main d'œuvre, à savoir 17 €, d'un temps de séchage supplémentaire de 90 minutes mais qui, d'après l'entreprise, ne coûte pas d'argent, et du volume d'apprêt. Pour calculer ce dernier, nous prenons la surface moyenne des pièces fabriquées par l'entreprise qui est de 0,27 m<sup>2</sup> et l'épaisseur moyenne de l'apprêt mesurée sur les panneaux qu'ils nous ont envoyés qui est de 20 mm. Les données concernant le prix de l'apprêt et sa masse volumique ont été donnés dans la - PARTIE 4 - 2.3.3. On obtient un coût pour le supplément d'apprêt de 0,02 € par panneau.

La quatrième solution revient donc à un coût de 0,99 € par pièce.

### **2.5. Solution 5 : Tag encapsulé sur le chant après fraisage et rebouchage mastic.**

On utilise une fois encore le tag présenté en Figure 15. On a donc le même coût du tag de 0,38 €.

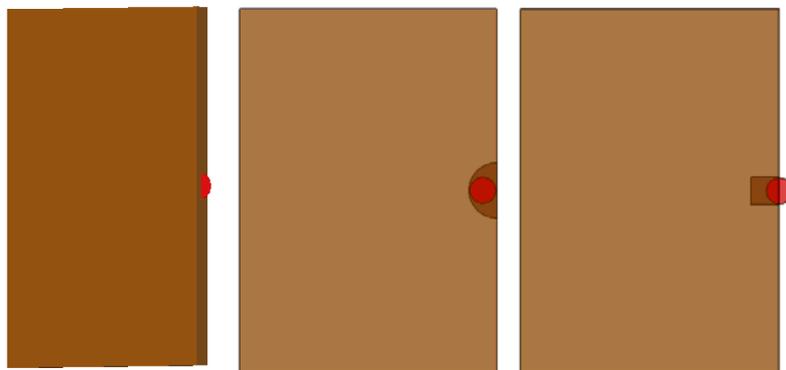
#### **2.5.1. Coût d'un fraisage.**

On attribue 20 secondes pour l'opération de mise en place et d'usinage de la pièce. L'usinage étant effectué sur le centre d'usinage, nous devons prendre le coût horaire cité précédemment de 17 €. On obtient donc un coût de fraisage de 0,29 €.

#### **2.5.2. Coût de la pose d'un tag encapsulé sur le chant.**

Mis à part le temps de séchage du mastic qui n'est toujours pas pris en compte, nous avons trois types de temps dans cette solution : le temps de mise en place du tag pris à 10 secondes, le temps de rebouchage avec du mastic pris à 30 secondes, et le temps de ponçage de ce mastic après séchage, pris à 30 secondes, ce qui représente 70 secondes à un coût horaire de main d'œuvre de 17 €, soit 0,33 €.

A ceci nous devons rajouter la quantité de mastic par pièce, estimée par l'intermédiaire des dessins réalisés sur Autocad dont vous pouvez avoir un aperçu sur la Figure 16 ci-dessous.



*Figure 16 : Modélisation de l'insertion du tag dans le panneau pour calculer le volume de mastic nécessaire*

## ***- PARTIE 4 - CHIFFRAGES DE DIFFERENTES SOLUTIONS***

---

Pour le calcul, nous avons pris la solution de droite, à savoir insérer le tag dans une sorte de mortaise, qui nous donne un volume de mastic de 312 mm<sup>3</sup> ce qui représente un coût de 0,0115 € d'après les données concernant le mastic données dans la - PARTIE 4 - 2.2.2.

La cinquième solution revient donc à un coût de 1,01 € par pièce.

### **3. RECAPITULATIF.**

En classant les solutions par surcoût croissant comme présenté dans le Tableau 10, on se rend compte que dès qu'il s'agit de rebouchage avec du mastic, les coûts sont tout de suite plus élevés (solutions 5 et 2).

Le résultat concernant l'inlay est finalement inattendu. En effet, alors que c'est le tag le moins cher, la solution ne se trouve pourtant qu'en deuxième position. Ceci s'explique par la difficulté rencontrée lorsqu'il s'agit de l'implanter sur le panneau dont nous pouvons avoir un aperçu au travers des expériences menées dans la - PARTIE 6 - 2.

*Tableau 10 : Tableau récapitulatif des coûts supplémentaires par solution.*

<b>Solutions classées par ordre croissant de surcoût</b>		<b>Coût supplémentaire par panneau</b>
<b>1</b>	Tag encapsulé circulaire sur la face du panneau après perçage.	0,58 €
<b>3</b>	Tag inlay circulaire sur la face du panneau après ponçage ou défonçage sur le centre d'usinage.	0,83 €
<b>4</b>	Tag encapsulé cylindrique plat sur la face du panneau après perçage et application de deux couches d'apprêt.	0,99 €
<b>5</b>	Tag encapsulé sur le chant après fraisage et rebouchage mastic.	1,01 €
<b>2</b>	Tag encapsulé cylindrique sur le chant après perçage et rebouchage avec du mastic.	1,40 €

## **- PARTIE 5 - ESTIMATION DU RETOUR SUR INVESTISSEMENT.**

### **1. INVESTISSEMENT.**

#### **1.1. Coût de l'implémentation du panneau (tag + mise en place).**

Nous imaginons que nous choisissons la solution 1, à savoir la mise en place d'un tag encapsulé circulaire sur la face du panneau. Le coût supplémentaire par panneau est alors de 0,58 €.

L'entreprise réalise actuellement 3000 panneaux par an. En partant sur une base de 50 semaines de travail, cela représente donc environ 150 000 panneaux par an pour un coût supplémentaire de 87 000 €.

#### **1.2. Coût d'achat des lecteurs.**

D'après une étude des points du processus de fabrication posant problème, décelés grâce à l'Ishikawa présenté dans la - PARTIE 1 - 2.2, nous avons pu en déduire le nombre approximatif de lecteurs nécessaires et donc parallèlement les coûts d'achats associés comme présenté dans le Tableau 11.

*Tableau 11 : Types de lecteurs choisis et coûts associés.*

Type de lecteur	Référence	nb	Prix unitaire	Sous total
<b>Lecteur longue distance pour lecture en volume</b>	SHL-2100 ou LECT0034	1	1975 €	4 975 €
<b>Antenne associée</b>	SAT-A8-G1-13MHz, RS-232/RS-485, external antenne port, in housing	6	238 €	
<b>Lecteur moyenne distance pour lecture unitaire</b>	Feig reader mid range 13,56 MHz, RS-232/RS-485, external antenna port, in housing	6	238 €	2 754 €
<b>Antenne associée</b>	Feig antenna 13,56 MHz 340 mm. x 240 mm. for mid range reader MR101 and MR200	6	221 €	
<b>Lecteur douchette</b>	Douchette PRH 101	2	200 €	400 €

Nous avons donc un coût d'achat de lecteurs global de 8 129 €.

#### **1.3. Coût d'achat du logiciel.**

Nous comptons 5 000 € pour le logiciel et son installation.

#### **1.4. Coût de l'étude.**

Pour le coût de l'étude, on tient surtout compte du salaire du personnel dédié à l'étude. On estime la durée de l'étude à la durée du stage qui doit être fait de mars à juillet, soit 5 mois, à 35h par semaine, ce qui peut être arrondi à 750 heures de travail. On prendra un taux

## ***- PARTIE 5 - ESTIMATION DU RETOUR SUR INVESTISSEMENT.***

---

horaire de 20 € de l'heure (même s'il n'est pas si élevé pour un stagiaire) et nous obtenons un coût de l'étude de 15 000 €.

### **1.5. Coût de l'installation du système.**

Celui-ci est pris aux alentours de 3 000 €.

### **1.6. Coût de fonctionnement du système.**

On peut supposer que l'électricité, la maintenance ainsi qu'une personne associée au fonctionnement du système peut générer des coûts de fonctionnement de l'ordre de 20 000 €.

Le total des investissements représente donc un montant de 138 129 €.

## **2. BENEFCES.**

Les bénéfices attendus du système découlent de la réduction des reprises de pièces. L'entreprise ACTA a estimé que sur le nombre de pièces fabriquées, environ 30% devait être reprises, et ce pour différentes raisons. Le nombre de pièces perdues est estimé à environ 0,13% de la production. On considère donc que 22% des reprises sont dues à des problèmes de qualité de finition. Le système RFID ne permettra donc pas directement de réduire ces problèmes de qualité de finition. Nous pensons que le système pourra directement régler la perte de pièce et les erreurs d'aiguillage dans le processus de fabrication ce qui représente donc 8% de la production.

Un coût de production moyen d'un panneau est d'environ 20 euros. Son prix de vente moyen est de 40 euros. Le coût moyen d'une reprise est de 12 euros. Une pièce reprise revient donc à 32 euros pour l'entreprise. Une pièce perdue coûte beaucoup plus cher puisqu'elle est tout d'abord fabriquée pour un coût de 20 euros, puis perdue et re-fabriquée pour un coût de 20 euros auquel on ajoute un surcoût de 12 euros car c'est une reprise qui ne permet pas les regroupements (couleur par exemple), qui modifie les ordonnancements et qui par conséquent coûte de l'argent à l'entreprise. Une pièce perdue revient donc à 52 euros. C'est donc une perte de 32 euros pour l'entreprise par rapport à une pièce normale qui revient à 20 euros. Une pièce reprise engendre une perte de 12 euros par rapport à une pièce normale.

Sachant qu'il est produit 150 000 pièces par an, nous pouvons en déduire le Tableau 12.

*Tableau 12 : Coût des pertes et des reprises.*

	Pourcentage de la production	Nb/an	Coût/an
Pièces perdues	0,13%	195	6 240 €
Pièces reprises	8%	12 000	144 000€

Le système procure donc un bénéfice total de 150 240 € à l'entreprise. A ceci, on pourrait encore ajouter, s'il était possible de le chiffrer, le gain monétaire engendré par la réduction des contrôles au cours de la production, des vérifications de dimensions et du bon regroupement des commandes, ainsi que l'augmentation de ce type de regroupement, actuellement limité par ce risque de perdre les pièces.

### **3. DUREE DE RETOUR SUR INVESTISSEMENT.**

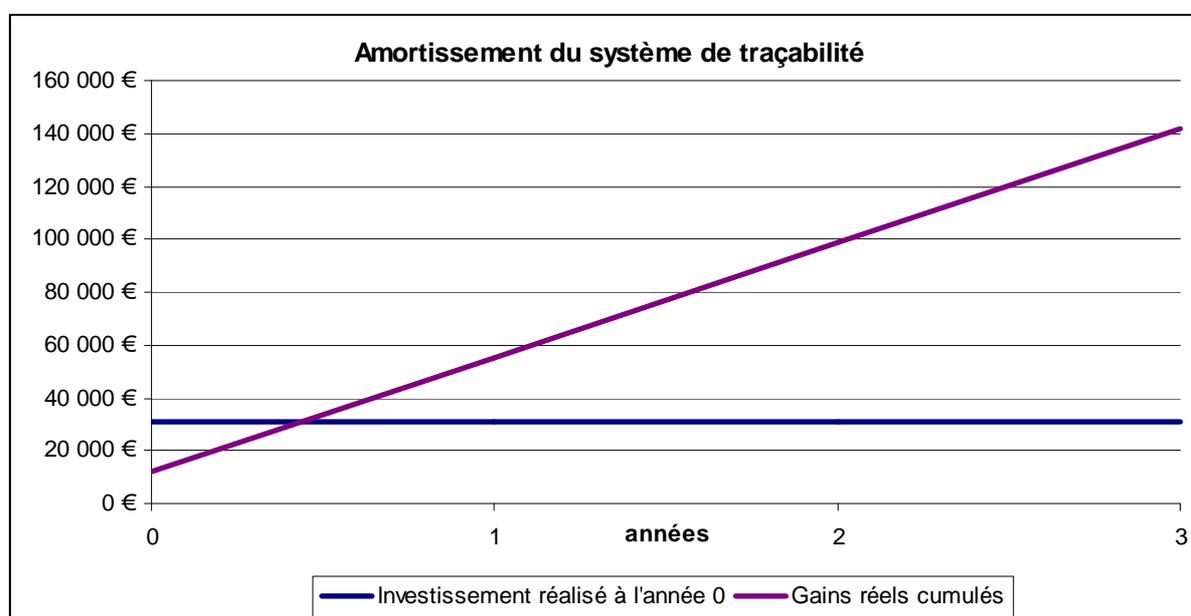
Dans les investissements, nous mettons donc uniquement le matériel acheté durablement, à savoir les lecteurs et antennes, le logiciel, auquel on ajoute le coût de l'étude et de l'installation du système. Ils ne figurent donc que pendant l'année 0 car ce matériel n'est pas à racheter tous les ans.

Les bénéfices résultants de l'installation de ce système sont ceux présentés dans la - PARTIE 5 - 2. Ils sont considérés comme constants chaque année. A ces bénéfices, nous devons soustraire les frais de fonctionnement qui comprennent les 20 000 € comme énoncé dans la - PARTIE 5 - 1.6, mais aussi le coût d'implémentation des tags comme énoncé dans la - PARTIE 5 - 1.1. Nous obtenons donc le Tableau 13 dans lequel le gain cumulé est calculé comme la somme du gain de l'année précédente et des bénéfices réalisés cette année moins les frais de fonctionnement.

*Tableau 13 : Tableau permettant de calculer la durée d'amortissement.*

	Années			
	0	1	2	3
Investissements	31129	0	0	0
Bénéfices	150240	150240	150240	150240
Frais de fonctionnement	107000	107000	107000	107000
Gains réels cumulés	12111	55351	98591	141831

En traçant ces données sous la forme d'un graphique, nous obtenons la Figure 17.



*Figure 17 : Amortissement du système de traçabilité*

Par le calcul, et comme on peut le voir sur la Figure 17, nous arrivons à une durée d'amortissement du système d'environ 5 mois et 1 semaine.

# **- PARTIE 6 - ETUDE DE LA MISE EN PLACE DE LA TECHNOLOGIE**

## **1. LE BESOIN DE REPRODUCTION FIDÈLE DU PROCESSUS DE L'ENTREPRISE.**

Afin de nous rapprocher un maximum de ce qui est fait en entreprise pour que nos résultats soient directement représentatifs et persuasifs pour l'entreprise, nous avons demandé à Acta de nous fournir de plus amples renseignements sur son processus d'apprêtage.

La seule contrainte imposée au MDF mélaminé de 19 mm utilisé est qu'il doit avoir une densité homogène à cœur sinon il y a risque de problème lors du défonçage. Dans notre cas, nous nous soucions uniquement de la surface donc nous n'avons pas à réaliser de test de défonçage.

La phase de ponçage précédant l'apprêtage est en réalité un jexage. Il consiste à rayer la mélamine qui serait trop lisse pour avoir une bonne adhérence de l'apprêt sans cette étape. Il est réalisé à la main avec une ponceuse orbitale et un papier de verre de grain 400 pour les chants et par une machine pour les faces. Il est actuellement envisagé de passer à un ponçage fait par une machine pour tout le panneau.

L'apprêt est un apprêt Milesi de référence LRR 22 255 mélangé avec le durcisseur LOB 828 ou LOB 810. Il est appliqué par pistolets pneumatiques similaire à ceux disponibles à l'Enstib. Comme nous ne pouvons pas disposer du même apprêt, nous avons réalisé nos essais avec un apprêt polyuréthane blanc pour chaise, moulures et meubles divers en bois destinés à être laqué, de référence LBR 99 dilué à 15% avec du diluant polyuréthane LZC 1051 et mélangé à 50% avec le durcisseur LNB 7784 suivant les recommandations de la fiche technique.

Le séchage dure ensuite en moyenne une heure et demi à une température de 35°C environ. Pour le moment, nous n'avons pu réaliser que des séchages à l'air à une température d'environ 20°C. Nous avons respecté les durées de séchage préconisées avant ponçage de la fiche technique correspondante à notre apprêt.

Il est suivi d'une étape de ponçage avant laquage. Cette étape peut nous permettre de rattraper d'éventuels défauts minimes résultants de la pose du tag.

La qualité attendue est mesurée exclusivement de manière visuelle et/ou tactile. Par conséquent, nous sommes tombés d'accord sur le fait de nous faire parvenir un panneau apprêté de qualité acceptable afin de pouvoir quantifier nous même ce niveau de qualité en termes d'épaisseur, de rugosité...

## **2. ESSAIS D'IMPLANTATION DE TAGS A L'ENSTIB.**

Tout d'abord, il est nécessaire de rappeler que les panneaux laqués fabriqués par l'entreprise sont de très haute qualité de finition et que le moindre défaut mène au rebus ou retour en production de la pièce. D'autre part, l'entreprise utilise des panneaux MDF mélaminés pour partir dès le début d'une surface parfaitement plane car le moindre défaut de planéité peut être révélé par la laque. Nous devons donc impérativement respecter cette planéité en vue de respecter l'exigence correspondant à une non-diminution de la qualité.

## **2.1. Les inlays.**



Comme l'inlay, et particulièrement la référence V720-D52P03 présenté ci-contre, est le tag le plus intéressant au regard du ratio qualité (fonctionnalité)/prix, toutes les premières solutions ont été envisagées à partir de ce type de tag. Les tags encapsulés ne seront envisagés qu'en second recours.

Même si ces inlays sont incroyablement plats, leur épaisseur n'est toutefois pas négligeable et surtout non uniforme. En effet, les endroits correspondant aux soudures de la puce sur l'antenne sont de l'ordre de 0,3 mm d'épaisseur alors que le reste du tag est de l'ordre de 0,05 mm. De plus, comme on peut le voir sur la figure ci-dessous, la surépaisseur des soudures n'est pas centrée ce qui complique encore l'usinage nécessaire à son implantation dans la pièce. Conserver la planéité de la surface de la pièce est donc particulièrement difficile.



*Figure 18 : Inlay, vue de profil simplifiée*

### **2.1.1. Inlay sur face par poinçonnage.**

L'idée était de pouvoir venir déposer le tag dans la matière avec un seul même outil, si possible portable. Ainsi, on peut imaginer un opérateur venant appliquer les tags en posant son outil sur le panneau. Un poinçon propulsé de manière pneumatique sous lequel on mettrait le tag viendrait écraser la matière de l'épaisseur exacte du tag et l'y déposer avant de revenir en position initiale. L'avantage de cette solution aurait été de pouvoir ne réaliser qu'une seule opération pour implanter un tag.



Afin de vérifier si la solution pouvait être envisageable, nous avons décidé de réaliser des tests préliminaires afin de répondre à ces deux questions principales :

- Quelle serait la force nécessaire à comprimer le panneau sur 0,3 mm de profondeur ?
- La mélamine encaisse t'elle seulement en se déformant ?  
Ou casse-t-elle de manière ordonnée et peu visible ?

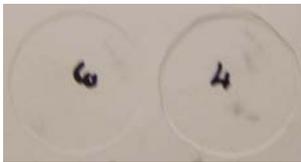
Nous avons donc fait des essais de poinçonnage sur des panneaux envoyés par Acta sur une Instron 4206 disponible à l'enstib. Elle est équipée d'une cellule de charge de 150 kN indémontable et d'une autre de 100 kN que l'on vient fixer à la première. Sous cette dernière, nous mettons un embout du diamètre envisagé de la puce à implanter. La vitesse de descente de la traverse a été fixée arbitrairement à 0,1 mm par minute.

Résultats observés :



Après mesure avec un comparateur, nous prenons conscience de la différence entre la consigne donnée à la machine est l'écrasement réalisé. Cela résulte évidemment de la part de déformation élastique et la part de déformation plastique. En effet, une fois que le poinçon se relève, la déformation élastique de la mélamine non fissurée ainsi que celle du MDF se relâche et le panneau « se regonfle » donc légèrement. Il ne reste donc plus que la déformation plastique. Pour obtenir une cote précise de profondeur, il faudrait réaliser de nombreux essais afin de déterminer cette part de déformation élastique. Pour gagner du temps, nous avons fait plusieurs essais en augmentant à chaque fois la consigne jusqu'à avoir plus de 0,3 mm de profondeur.

La force observée pour descendre d'au moins 0,3 mm est très grande (quasiment de l'ordre de 100kN) ce qui nous empêcherait certainement de réaliser un outil portatif puisqu'il serait nécessaire d'avoir un bâti très lourd, d'où la nécessité d'acquérir une nouvelle machine.



La déformation, pour qu'elle soit suffisante, entraîne une rupture désordonnée de la mélamine non seulement autour du poinçon, mais aussi sur l'autre face de la pièce en contact avec une surface plane.

A cause de tous ces problèmes et inconvénients, nous avons donc décidé d'écarter cette solution.

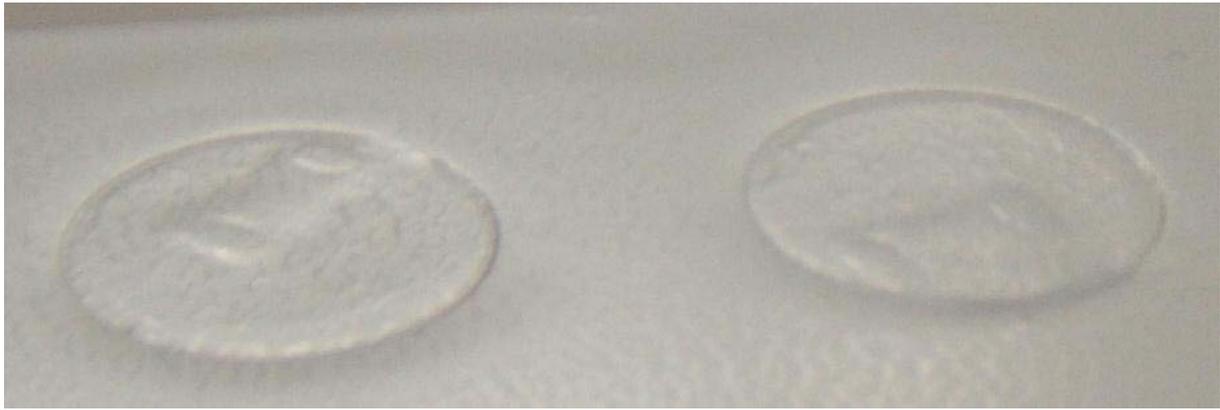
### ***2.1.2. Inlay sur face après perçage.***

L'idée était, dans ce cas, de percer un trou du diamètre et de la profondeur exacte de notre inlay. Nous avons testé deux types d'usinage. Premièrement avec la Biesse, centre de perçage que nous avons à notre disposition à l'Enstib. Cependant, le problème majeur de cette solution repose sur le fait que l'Inlay n'est pas parfaitement plat mais présente une surépaisseur au niveau de la soudure entre la puce et l'antenne comme présenté sur la Figure 18. Par conséquent, comme le fond du perçage est plat, nous avons toujours une non-planéité de l'ensemble qui engendre une déformation de l'apprêt. Sur la Figure 19, nous avons schématisé cette déformation. L'orange représente une partie du panneau, la puce est représentée en noir et l'apprêt après séchage est représenté en gris.



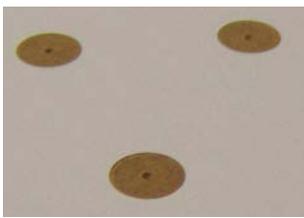
*Figure 19 : Déformation de l'apprêt due à la non-planéité de l'Inlay, vue en coupe.*

La Figure 20 est une photo de ce que nous pouvons observer une fois que l'apprêt est sec. La puce ainsi que le contour du perçage est directement visible sous l'apprêt.

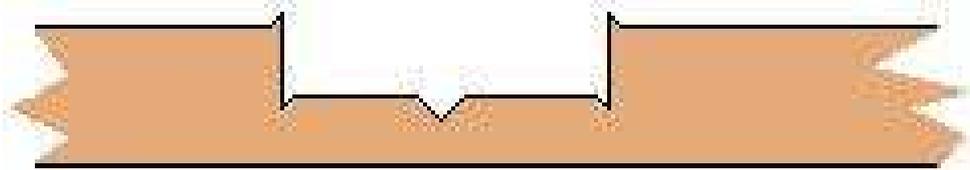


*Figure 20 : Inlays dans des perçages après apprêtage et après séchage.*

Suite à cette remarque, nous avons alors décidé de mettre une quantité plus importante d'apprêt à l'endroit du tag. Cependant, l'apprêt liquide se répartit uniformément en surface et le même type de retrait apparaît au séchage.

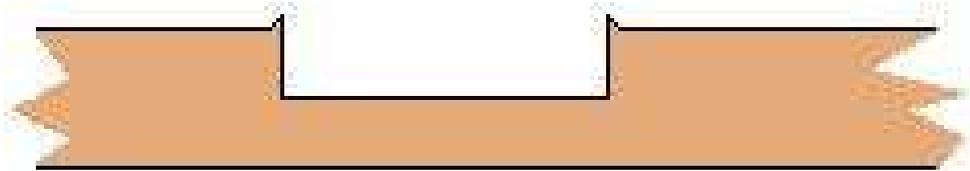


D'autre part, le perçage effectué avec la Biesse se fait avec une mèche 3 points qui génère les types de défauts présentés sur la Figure 21. Les éclats supérieurs peuvent éventuellement être rattrapés au jexage alors que les rainures inférieures ne peuvent être évitées. Le défaut résultant du point de centrage de la mèche peut quant à lui poser problème car le tag, à cet endroit, ne reposera pas sur de la matière et, par conséquent, le moindre choc à cet endroit pourra générer des déformations, fissures ou autres défauts de ce genre.



*Figure 21 : Défauts de perçage avec une mèche 3 points.*

Pour éviter les problèmes résultant donc des défauts de perçage avec une mèche trois points, nous avons donc réalisé des défonçages circulaires à partir de la défonceuse à commande numérique elle-aussi disponible à l'Enstib. Cette fois, nous n'avons plus de défauts en fond de défonçage comme vous pouvez le voir sur la Figure 22 mais la forme de la puce continue de nous donner les défauts de planéité suite à l'application de l'apprêt.



*Figure 22 : Défauts suite à un défonçage.*

L'autre problème important concerne les tolérances. Dans un premier temps, nous allons nous concentrer sur les tolérances verticales. En effet, la référence de la machine de perçage se fait généralement par rapport à la surface inférieure de la pièce qui repose sur son bâti tandis que nous souhaitons avoir une précision importante entre la surface supérieure de la pièce et le fond du perçage à effectuer. La Figure 23, qui est un aperçu du programme Excel développé afin de faciliter les calculs pour les différents cas rencontrés au cours de ce projet, permet de mieux comprendre le problème. La partie orange représente la pièce tandis que la partie noire schématise le tag.

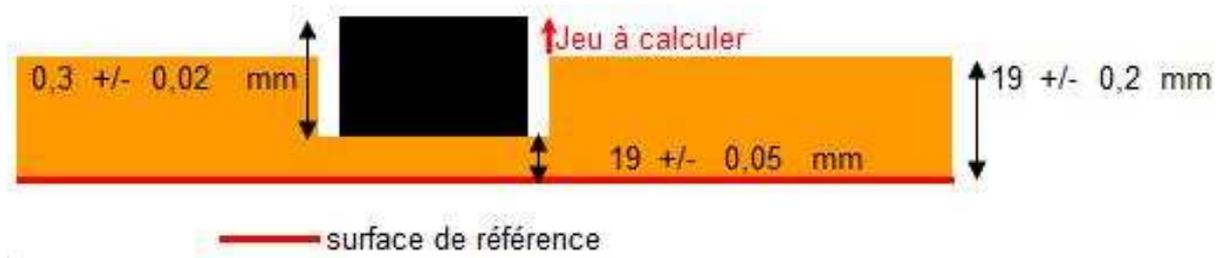


Figure 23 : Tolérances verticales pour un Inlay

Dans ce cas là, notre tag fait 0,3 mm d'épaisseur. Pour la machine, nous rentrons à la fois l'épaisseur de la pièce, à savoir 19 mm et la profondeur de perçage qui est donc 0,3 mm. Or la pièce ne fait pas forcément 19 mm d'épaisseur puisque celle-ci est donnée à 0,2 mm près et notre tag ne fait pas non plus tout à fait 0,3 puisqu'il est donné à 0,02 mm près. De plus la dispersion machine fait que le perçage demandé à 0,3 peut aussi être légèrement différent. Pour l'exemple, nous avons pris la dispersion machine de la perceuse à commande numérique de l'entreprise Acta qui est de 0,05 mm. Avec ces données, et d'après les formules présentées dans l'Équation 1, nous obtenons un jeu  $J = 0 \pm 0,27$  mm, ce qui est déjà assez élevé pour pouvoir être récupérée à l'étape de jexage.

$$J_{\min} = e_{\text{tag, min}} - e_{\text{panneau, max}} + e_{\text{perçage, min}}$$

$$J_{\max} = e_{\text{tag, max}} - e_{\text{panneau, min}} + e_{\text{perçage, max}}$$

$$J_{\text{med}} = \text{moyenne} ( J_{\min} ; J_{\max} )$$

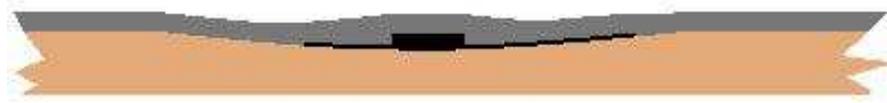
$$\text{Tolérance} = J_{\max} - J_{\text{med}}$$

$$J = J_{\text{med}} \pm \text{Tolérance}$$

Équation 1 : Formules permettant le calcul des tolérances

### 2.1.3. Inlay sur face après ponçage.

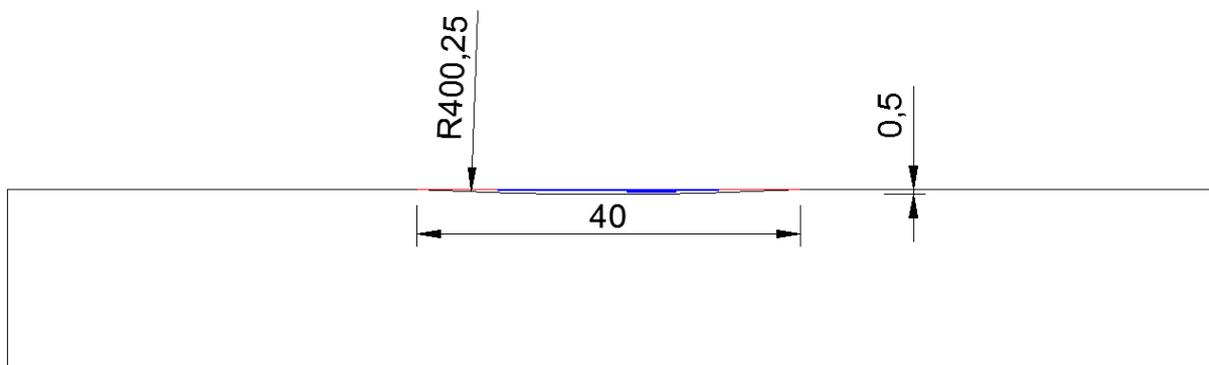
L'idée du ponçage nous est venue car nous réfléchissions au fait de diminuer les différences de planéité de l'apprêt que l'on peut constater sur la Figure 19. En effet, avec un ponçage plus évasé, les pentes d'apprêt seraient certainement moins prononcées et donc moins visibles comme on peut le voir sur la Figure 24. Ce type de ponçage pourrait être fait avec une tête de ponçage rotative par exemple.



*Figure 24 : Déformation de l'apprêt après un ponçage avec tête rotative.*

Ainsi, on pouvait même penser que si l'on arrivait à être suffisamment précis, l'opération de ponçage qui suit l'apprêtage suffirait à aplanir parfaitement la surface.

Nous avons donc fait des calculs pour déterminer le rayon de courbure à atteindre pour attendre des résultats acceptables et nous avons trouvé qu'il nous faudrait un rayon d'au moins 40 cm. Le graphique permettant ce calcul est présenté sur la Figure 25.



*Figure 25 : Graphique pour le calcul du diamètre minimum acceptable.*

Les essais que nous avons réalisés n'ont pas pu être faits suivant ce diamètre exact mais les résultats montrent des défauts non visibles au toucher mais visibles suivant un certain angle de lumière, qui restent présents après ponçage. Etant donné que l'exigence qualité concernant la surface est maximale, il semble évident que cette solution devra être rejetée.

Tous les inlays présentant ce défaut de planéité, nous sommes alors obligés de laisser tomber cette idée et donc de nous tourner vers un autre type de tag, les tags encapsulés.

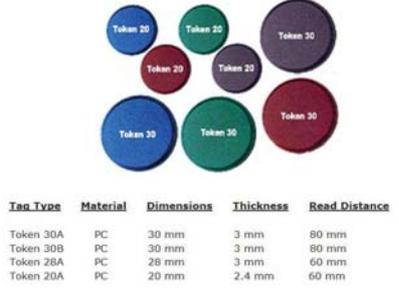
## **2.2. Les encapsulés.**

Les tags encapsulés qui nous intéressent sont donc ceux qui sont parfaitement plats et qui pourraient alors s'encastrer parfaitement dans un usinage de dimensions correspondantes. Nous avons donc mené des recherches chez les fournisseurs afin de trouver un tag qui pourrait correspondre à nos attentes.

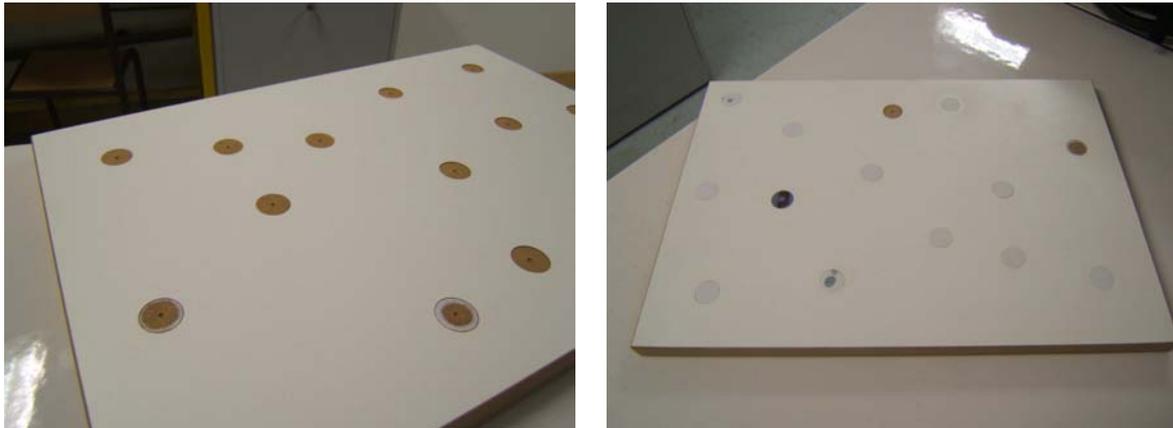
Voici quelques exemples de fournisseurs et de tags intéressants répertoriés dans le Tableau 14.

**- PARTIE 6 - ETUDE DE LA MISE EN PLACE DE LA TECHNOLOGIE**

Tableau 14 : Liste de fournisseurs proposant des tags adaptés à la solution envisagée.

Logo	Nom de l'entreprise	Adresse commerciale	Type de tags intéressants																									
	GYRFID Go Young International Limited	Building C, Tianyaoqiao Road NO 327, Shanghai, 200030, CHINA																										
	SUNBEST TECHNOLOGY CO LTD  Hong Kong	Unit B1, 3/F., Mai Shun Industrial Building, 18-24 Kwai Cheong Road, Kwai Chung, N.T.																										
	SYNOMETRIX Supports Customers Globally		 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tag Type</th> <th>Material</th> <th>Dimensions</th> <th>Thickness</th> <th>Read Distance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Token 30A</td> <td>PC</td> <td>30 mm</td> <td>3 mm</td> <td>80 mm</td> </tr> <tr> <td>Token 30B</td> <td>PC</td> <td>30 mm</td> <td>3 mm</td> <td>80 mm</td> </tr> <tr> <td>Token 28A</td> <td>PC</td> <td>28 mm</td> <td>3 mm</td> <td>60 mm</td> </tr> <tr> <td>Token 20A</td> <td>PC</td> <td>20 mm</td> <td>2.4 mm</td> <td>60 mm</td> </tr> </tbody> </table>	Tag Type	Material	Dimensions	Thickness	Read Distance	Token 30A	PC	30 mm	3 mm	80 mm	Token 30B	PC	30 mm	3 mm	80 mm	Token 28A	PC	28 mm	3 mm	60 mm	Token 20A	PC	20 mm	2.4 mm	60 mm
Tag Type	Material	Dimensions	Thickness	Read Distance																								
Token 30A	PC	30 mm	3 mm	80 mm																								
Token 30B	PC	30 mm	3 mm	80 mm																								
Token 28A	PC	28 mm	3 mm	60 mm																								
Token 20A	PC	20 mm	2.4 mm	60 mm																								
	Taiwan Batag RFID Technology co.																											
	TAGSYS																											

Nous testons cette fois uniquement après un usinage type perçage ou défonçage. On insère directement, et si possible de manière serrante, le tag dans le trou. Le but est d'essayer d'atteindre une précision qui permettrait à l'appât de ne présenter aucun défaut après séchage. Les encapsulés étant plus rigides, la présence du trou dû à la pointe de centrage pour du perçage avec mèche 3 points n'est plus un souci. Nous décidons donc d'utiliser notre centre de perçage Biesse plutôt que la défonceuse à commande numérique qui présente deux défauts majeurs, à savoir que la référence à la surface de la pièce se fait visuellement et que la table présente un défaut d'horizontalité. Comme nous n'avons pas le temps d'attendre la réception des échantillons commandés, nous décidons de faire les essais avec un matériau similaire. La Figure 26 montre l'insertion de ces « pseudos tags ».



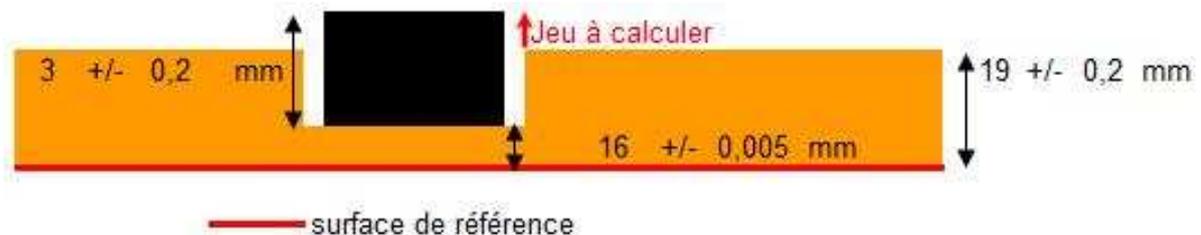
*Figure 26 : Panneau avant (gauche) et après (droite) insertion des "pseudotags".*

Les premières découpes des « tags » étant faite à la main, nous arrivons difficilement à avoir une grande précision mais les résultats semblent néanmoins prometteurs. Nous pouvons voir, sur la droite de la Figure 27 que dans les zones où le « tag » était bien en contact avec les bords du perçage, l'apprêt ne présente pas d'irrégularité.



*Figure 27 : Simulation d'un tag encapsulé sous l'apprêt.*

Cette solution semble donc envisageable, mais uniquement à la condition d'avoir un jeu comme celui calculé à partir de la Figure 23, assez faible pour pouvoir être repris au jexage. Or, pour les tags encapsulés, la tolérance d'épaisseur est parfois très importante et vient s'additionner en plus à celle du panneau.



*Figure 28 : Tolérance verticale pour un tag encapsulé.*

Dans le cas du SYNOTag SMLD dont la dimension verticale est présentée sur la Figure 28, le fichier Excel donne un jeu  $J = 0 \pm 0,405$  mm. Un tel désaffleure n'est évidemment pas récupérable au jexage. Cependant, on peut palier ce problème en dotant la machine de perçage d'un système lui permettant de prendre référence sur la surface du panneau et donc de s'affranchir de la tolérance du panneau. On arrive donc à la Figure 29 qui permet d'avoir un jeu  $J = 0 \pm 0,205$  mm, déjà plus acceptable que celui trouvé précédemment.

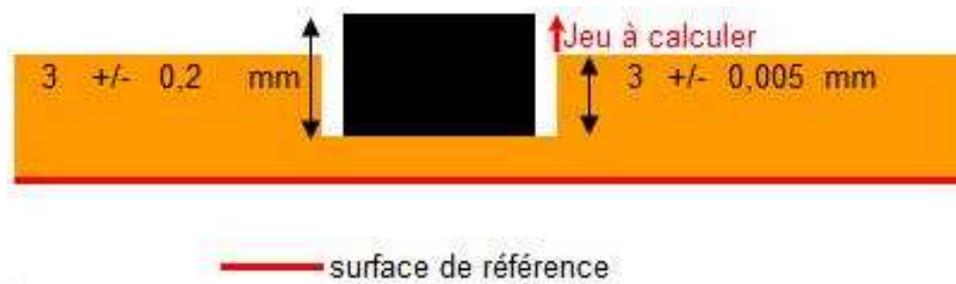


Figure 29 : Tolérance verticale avec système de référence sur la surface supérieure.

On doit encore pouvoir diminuer ce jeu en étant plus sélectif vis-à-vis des tags choisis car une tolérance de  $\pm 0,2$  mm sur un tag d'une épaisseur de 3 mm est une exigence relativement faible. Nous pouvons par exemple prendre le PVC Coin tag de BatagRFID pour lequel nous avons une épaisseur de  $1 \pm 0,08$  mm pour un prix relativement similaire, auquel cas nous atteindrions un jeu de  $0 \pm 0,13$  mm ce qui est alors peut-être récupérable au jexage. S'il ne l'est pas, nous pouvons toujours compter sur le ponçage de l'apprêt pour aplanir parfaitement la surface.

Il reste maintenant à déterminer les facteurs importants qui entre en jeu afin de pouvoir les maîtriser et donc de présenter un taux de réussite pour dissimuler les tags de plus de 95%. Il convient donc ici de développer un plan d'expériences type Taguchi.

### **3. PLAN D'EXPERIENCES.**

#### **3.1. Les facteurs importants.**

##### ***3.1.1. Définition du problème à résoudre.***

La vérification de la faisabilité des expériences à déjà été validée par les essais présentés dans la - PARTIE 6 - 2. En effet, les expériences sont donc bel et bien faisables. Il faudra néanmoins essayer de suivre parfaitement le processus actuel d'Acta décrit dans la - PARTIE 6 - 1.

L'enjeu de ce plan d'expériences est de trouver une solution d'implantation de tags RFID sur les panneaux en engendrant un coût le plus faible possible. Pour cela, il faudrait pouvoir mettre un tag sans utiliser de résine pour reboucher. La solution indiquée dans le paragraphe - PARTIE 6 - 2.2 semble réalisable. Toutefois, suivant la mise en œuvre de l'essai, nous obtenons parfois des résultats très encourageants et parfois des résultats médiocres. Ce plan d'expériences permettra donc de déterminer les facteurs influents et de les régler afin de pouvoir assurer un taux de réussite satisfaisant.

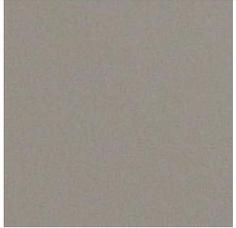
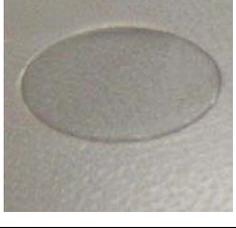
Le plan d'expériences nécessite aussi d'élaborer un groupe de travail incluant des experts du domaine. Nous pouvons inclure Bruno Beauprêtre, Jean-Baptiste Limoges et un représentant des opérateurs du poste d'apprêtage qui devra être défini par la suite. Le plan présenté dans ce rapport est en réalité une ébauche de plan car nous n'avons pas encore pu réellement en discuter avec ces experts. Nous nuancions donc toutes nos affirmations en mettant en relief qu'il sera très certainement modifié ou adapté avant d'être mis en application.

L'objectif est donc de parvenir à une qualité quasiment parfaite après apprêtage, de manière à ce que le ponçage suivant élimine toute trace de l'implantation du tag. Les termes « qualité quasiment parfaite » ne suffisent évidemment pas à qualifier l'état de surface. Il est

**- PARTIE 6 - ETUDE DE LA MISE EN PLACE DE LA TECHNOLOGIE**

donc nécessaire d'établir une échelle d'acceptabilité que nous pourrions éventuellement élaborer en nous aidant des essais réalisés dans la - PARTIE 6 - 2. Cette échelle est présentée dans le Tableau 15.

*Tableau 15 : Echelle d'acceptabilité de la qualité d'état de surface.*

<p><b>Niveau 0</b></p>	<p>L'implantation est complètement invisible. On ne distingue ni défauts de la planéité de l'apprêt, que ce soit au touché ou à l'œil sous différents angle de lumière, ni différence de teinte.</p>	
<p><b>Niveau 1</b></p>	<p>L'implantation n'est pas visible ni au toucher ni à l'œil mais se révèle sous certains angles de lumières.</p>	
<p><b>Niveau 2</b></p>	<p>L'implantation n'est pas visible au toucher mais apparait à l'œil sous forme d'un gradient de couleur.</p>	
<p><b>Niveau 3</b></p>	<p>L'implantation est visible parce que le contour apparait par endroits mais il n'y a pas de gradient de couleur.</p>	
<p><b>Niveau 4</b></p>	<p>L'implantation est visible à l'œil uniquement par le contour. Aucune différence de gradient de couleur n'est remarquée. Le contour est repérable distinctement au toucher.</p>	
<p><b>Niveau 5</b></p>	<p>L'implantation est visible à l'œil par un gradient de couleur et un contour net repérable distinctement au toucher.</p>	

Seul le niveau 0 sera toléré par Acta mais cette échelle permettra de quantifier nos résultats.

### **3.1.2. Recensement des facteurs influents.**

Les facteurs influents sont des facteurs qui modifient la réponse du système en agissant sur lui. D'après les essais que nous avons déjà réalisés et présentés dans la - PARTIE 6 - 2, nous pouvons déjà en énumérer quelques uns. Nous pouvons là encore développer une méthode Ishikawa comme présenté dans la - PARTIE 1 - 2.2. Nous reprenons donc la Figure 3 mais cette fois sur le problème de défaut d'état de surface après implantation du tag afin d'être exhaustif sur cet aspect. Pourtant, nous devons prendre en compte le fait que l'entreprise est spécialisée dans le laquage très haute finition et qu'on peut donc supposer que son processus a déjà été étudié pour être au maximum de ces capacités pour atteindre la meilleure des qualités.

- Méthodes : On peut en effet parler de deux méthodes puisque la qualité de l'apprêt après usinage repose à la fois sur la méthode de perçage qui nous amène une qualité relative à l'usinage, et sur la méthode d'apprêtage qui déjà dû être étudiée par l'entreprise lors de l'élaboration de son processus. Il conviendra donc de savoir s'il reste une marge de manœuvre sur les facteurs correspondants à cette dernière.
  - Méthode d'application de la finition : L'application est un facteur très important. Elle se fait généralement sous forme d'un serpent. On commence en haut à gauche, on traverse la pièce, on fait demi-tour à l'extérieur de la pièce, on descend de deux tiers de la largeur du jet afin d'obtenir un recouvrement de 33% avec le passage précédent et on fait toujours de même jusqu'à atteindre le bas de la pièce. On pivote ensuite la pièce d'un quart de tour et on recommence l'opération. Dans certains cas, on peut encore effectuer deux autres quarts de tour. Nous avons donc une multitude de paramètres comme la vitesse de course du pistolet qui influe sur la quantité de matière déposée et donc l'épaisseur du film. La distance entre le pistolet et le panneau qui influe sur la répartition de la matière. De même, le temps mis pour couvrir le panneau influence le film qui a plus ou moins le temps de sécher entre chaque quart de rotation. Tout comme le nombre de rotations à faire et donc indirectement le nombre de couches.
  - Méthode de perçage : Suivant les mèches utilisées ou les consignes demandées à la machine, on obtient deux jeux différents : le jeu horizontal qui influence la planéité du film et le jeu vertical qui influence le fait que ce soit récupérable ou non au ponçage. On peut notamment se demander s'il y a une différence entre le fait que le tag dépasse ou qu'il ne dépasse pas la surface du panneau
- Matières : Les matières qui entrent en jeu sont au nombre de trois.
  - L'apprêt : La viscosité de l'apprêt est influencée par la température mais aussi par le temps écoulé entre l'ajout du durcisseur et l'application. Une fois encore, cette viscosité à être étudiée pour aboutir au meilleur compromis. Nous devons donc savoir s'il reste une marge de manœuvre ou si ce paramètre sera alors un paramètre bloqué.
  - Le panneau et plus précisément la surface à peindre : En effet, outre le fait qu'il soit recommandé que la surface soit propre et sans poussière, nous avons en plus le problème des tolérances de notre implantation de tag comme présenté dans le paragraphe relatif à la méthode de perçage.

- Le tag : La matière constitutive du tag peut avoir une influence sur l'adhérence de l'apprêt.
- Main d'œuvre : La main d'œuvre entre en jeu lorsqu'il s'agit d'un laquage manuel. L'irrégularité des passages peut aussi entraîner des défauts.
- Matériel : Le réglage du pistolet lui-même influence sur la couche d'apprêt. On a par exemple le niveau d'ouverture du jet, la pression du compresseur, mais aussi le fait qu'il puisse avoir été mal nettoyé. Nous pensons toutefois que ces paramètres peuvent être déjà évalués pour maximiser la performance.
- Milieu : La température a une influence sur la viscosité de l'apprêt mais aussi sur sa vitesse de durcissement. On a aussi la présence de poussière qui pourrait interférer mais dans l'entreprise, cet aspect est très contrôlé et contrôlé de manière efficace.

### **3.1.3. Classement des facteurs.**

Il est nécessaire de classer les facteurs en deux catégories : les facteurs externes et internes. Les premiers sont qualifiés de non-gérables au sens où, dans l'entreprise, on ne peut pas agir directement sur eux. Cependant, pour les essais, il est possible d'exceptionnellement les tester pour connaître quand même leur niveau d'influence. Les seconds, les facteurs internes, sont des facteurs sur lesquels on peut directement (et facilement) jouer que ce soit dans l'entreprise comme pour les essais. Ce classement est détaillé dans le Tableau 16. Les facteurs internes en italique bleu correspondent aux facteurs à propos desquels nous devons nous renseigner sur la marge de manœuvre.

*Tableau 16 : Classement des facteurs du plan d'expériences.*

<b>Catégories</b>	<b>Facteurs externes (non gérables)</b>	<b>Facteurs internes (maîtrisables)</b>
Viscosité	Température Temps entre la dilution et l'application	<i>Taux de dilution</i>
Application	Irrégularité des passages	<i>Vitesse de déplacement du pistolet</i> <i>Distance entre le pistolet et le panneau</i> <i>Nombre de passages</i>
Réglage pistolet	Nettoyage correct	<i>Ouverture de la buse</i> <i>Pression du compresseur</i>
Usinage	Jeu horizontal Jeu vertical	Type de mèche Type de jeu

**3.1.4. Matrice de Taguchi préconisée.**

Afin de pouvoir poursuivre notre étude, nous imaginons que nous avons effectivement la possibilité de modifier entre 2 et 5 de ces paramètres ce qui semble tout à fait plausible. Nous pouvons donc nous servir de l'une des matrices de Taguchi les plus utilisées, la L8(2<sup>7</sup>) présentée sur la Figure 30. Elle permet de prendre en compte de 4 à 7 facteurs.

L8 (2 <sup>7</sup> )		Colonnes						
		A	B	C	D	E	F	G
Expériences	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	2	2	2	2
	3	1	2	2	1	1	2	2
	4	1	2	2	2	2	1	1
	5	2	1	2	1	2	1	2
	6	2	1	2	2	1	2	1
	7	2	2	1	1	2	2	1
	8	2	2	1	2	1	1	2

Figure 30 : Matrice de Taguchi L8 (2<sup>7</sup>)

Dans le cas où on aurait moins de 7 facteurs, on pourrait en profiter pour étudier des interactions, c'est-à-dire quand l'effet d'un facteur influence le niveau d'un autre. Il faudra alors un graphique d'interactions ainsi qu'une table d'interaction. Si l'on a plus de 7 facteurs au final, il faudra alors prendre une autre table qu'il sera probablement nécessaire d'acheter car elles ne sont pas toutes disponibles dans le public.

**3.1.5. Modalités et niveaux.**

Les modalités sont les possibilités de positionnement des facteurs maîtrisables. Afin de faciliter la mise en œuvre du plan d'expériences, nous ne prendrons que deux modalités par facteur.

Le niveau est la valeur que prend chaque facteur pour chaque modalité. Comme nous ne pouvons pas réellement établir les niveaux pour les modalités correspondantes au processus d'Acta Mobilier, nous donnons dans le Tableau 17 quelques exemples trouvés dans la littérature qui peuvent s'appliquer et/ou qui découlent des essais que nous avons déjà réalisés de la - PARTIE 6 - 2.

Tableau 17 : Exemple de niveau pour les modalités de certains facteurs

Facteurs	Niveaux des modalités	
Taux de dilution	10%	20%
Vitesse de déplacement du pistolet	10 cm.s <sup>-1</sup>	20 cm.s <sup>-1</sup>
Distance entre le pistolet et le panneau	15 cm	25 cm
Nombre de passages	2	4
Ouverture de la buse	1,3 mm	1,4 mm

Pression du compresseur	2 bars	4 bars
Type de mèche	Mèche à mortaiser	Mèche à charnière carbure
Type de jeu	Positif	Négatif

Les mèches mises à titre d'exemple sont des mèches de diamètre 20 mm fabriquées par IGM Tool Company référencées respectivement F370-20061 et F382-20001.

### ***3.1.6. Organisation du protocole expérimental.***

Il s'agit d'une étape clé qui permet de définir l'organisation optimale des expériences. Il faut définir les acteurs, ce qu'ils doivent faire et quand. Vu l'état d'avancement du projet, nous ne pouvons par encore réaliser cette étape car nous ne pouvons pas encore connaître les différents acteurs.

Concernant les expériences, il convient de déterminer la facilité et le coût de chaque changement de modalité d'un facteur. Ainsi, et d'après la Figure 30, le facteur coûtant le plus cher à changer pourra être mis dans la première colonne car il ne subira donc qu'un seul réglage (entre les expériences 4 et 5). De la même manière, celui coûtant le moins cher sera mis en colonne D qui présente 7 changements.

Il convient aussi de mesurer le temps mis pour réaliser une expérience et donc de calculer le temps nécessaire à la réalisation complète de toutes les expériences.

# CONCLUSION

Au regard du nombre de technologies différentes en matière de traçabilité, de leurs avantages et de leurs inconvénients, les solutions qui s'offrent à nous sont tellement variées qu'il devient difficile de faire un choix. Toutefois, la démarche d'ingénierie système permet de tenir compte de tous les aspects et de n'en négliger aucun. Il convient évidemment de la mener du début à la fin du projet, et ce avec un support formel tel que, par exemple, l'atelier Rapsody.

Nous avons pu remarquer que la définition de la problématique, qui est une étape plus compliquée qu'on aurait pu le penser que ce soit pour nous ou pour nos interlocuteurs de l'entreprise, permet de cadrer parfaitement le projet et de ne pas s'emporter dans des considérations qui n'ont pas lieu d'être. Les états de l'art, tout aussi importants, nous ont permis de monter en compétence dans des domaines que nous ne connaissions finalement pas. Nous avons aussi pris conscience de la difficulté d'établir un cahier des charges pour une entreprise que nous ne connaissons pas encore parfaitement. Bien que ce ne soit qu'une ébauche, la collaboration étroite entre le rédacteur du cahier des charges et les représentants de l'entreprise doit être de tout instant.

Le choix des solutions à chiffrer et à tester se révèle souvent compliqué du fait de la diversité des acteurs et de leurs points de vue. Il convient de se fixer des critères de choix clairs et approuvés par tous et de s'y tenir impérativement.

Les essais réalisés dans les laboratoires de l'Enstib à propos de la mise en place des tags nous ont fait réaliser à quel point la difficulté d'obtenir une qualité parfaite était grande et par conséquent le haut niveau de précision déjà mis en œuvre dans l'entreprise. Elle a aussi mis en relief la quantité impressionnante de facteurs qui peuvent jouer un rôle sur cette qualité et donc la difficulté toute particulière que représentera l'élaboration d'un plan d'expériences sur cette problématique.

Ce projet permet donc de réaliser l'ampleur des problématiques liées à la traçabilité dans les industries de panneaux laqués et particulièrement la difficulté liée à la mise en place de ce type de systèmes pour des processus de fabrication aussi complexes.

**BIBLIOGRAPHIE**

- [1] *Mhamed Bendaoud 2008 – Contributions méthodologiques et conceptuelles à la conception, la gestion et l'amélioration des systèmes de traçabilité des produits alimentaires. Thèse de Docteur.*
- [2] *Granjou Céline et Valceschini Egizio 2005 - L'extension de la traçabilité dans le secteur de l'agroalimentaire. Article.*
- [3] *Ruelle Bernadette, De Rudnicki Vincenta, Douchin Michaela, Sinfort Caroleb 2009 - Maitrise de l'application des produits phytosanitaires en viticulture : utilisation des NTIC embarquées. Article.*
- [4] *Joëlle Morana, Meriam Karaa - L'utilisation de la traçabilité en Tunisie : le cas de la filière dattes et huiles d'olive. Article.*
- [5] *André Thomas 2009 - RFID et nouvelles technologies de communication : enjeux économiques incontournables et problèmes d'éthique. Article.*
- [6] *Didier Torny 2003 - Une mémoire pour le futur : La traçabilité comme allocateur de responsabilité. Article.*
- [7] *Franck Cochoy 2001 - Existe-t-il des risques à prévenir les risques ? Article.*
- [8] *Fraval Pierre, Jover Jeremy 2010 - Bois communiquant sur pied. Projet de fin d'étude.*

### RESUMÉ

#### **Mise en place d'un système RFID pour une entreprise de panneaux laqués haute finition**

La concurrence qui règne aujourd'hui dans l'industrie pousse les entreprises à plus de productivité et de qualité. L'identification et la traçabilité des produits sont devenues des éléments incontournables pour la chasse aux gaspillages et l'amélioration de la production. Mais il existe un grand nombre de technologies d'identification et de traçabilité et il est donc parfois difficile de faire un choix.

Ce projet a pour objectif de répondre au problème industriel de la société Acta Mobilier concernant l'identification de ces panneaux laqués haut de gamme. Dans une première partie, nous répondrons au choix de la solution technique d'identification à mettre en place en respectant les spécificités de l'entreprise et en tenant compte des données financières, suivant une approche d'ingénierie système et, dans une deuxième partie, nous nous intéresserons plus particulièrement à la RFID qui est actuellement la solution choisie. Il s'agira d'étudier l'intégration des transpondeurs RFID sur les panneaux de MDF de la société et d'élaborer le cahier des charges de la technologie afin de pouvoir déterminer, au mieux, toutes les possibilités d'amélioration de l'entreprise que ce nouveau système peut apporter.

L'enjeu est donc, dans un premier temps, de répondre au problème d'identification de pièces de l'entreprise, mais également par la suite de fournir une aide à la décision pour piloter au mieux les flux matières, informationnels et décisionnels de la société, notamment en passant par une liaison directe entre le système RFID et le système MRP de l'entreprise.

**Mots clés : identification, RFID, traçabilité, décision logistique, marquage, panneaux laqués**

### ABSTRACT

#### **RFID system set up for a high-end lacquered panel's society**

The competition that exists nowadays in industry is forcing companies to ever greater productivity and quality. Identification and traceability of products are essential elements to reduce wastes and improve production. But there is a large range of technologies for identification and traceability and it's sometimes very difficult to make a choice.

The project objective is to answer the industrial problem of the society Acta Mobilier on the identification of their high-end lacquered panels. In the first part, we will choice the technical identification solution required, respecting the specificities of the company and taking into account financial data, following a system engineering approach. In the second part, we will focus specifically on RFID, which is currently the preferred option. We will explore the integration of RFID transponders in the MDF and develop specifications of technology in order to determine, at best, all the possibilities of business improvement that this new system can bring.

The challenge is, initially, to answer the problem of identifying pieces in the company, but also afterwards to provide decision support to drive at best the flow materials information and decision flows of the company, especially by a direct connection between the RFID system and the MRP system.

**Keywords: identification, RFID, traceability, logistics decision, marking, lacquered panels**