

## RETOUR D'EXPÉRIENCE INDUSTRIELLE SUR LE CHOIX D'UNE TECHNOLOGIE D'INFORMATION PORTÉES PAR LES PRODUITS

M. NOYEL<sup>1,2</sup>, P. THOMAS<sup>1</sup>, A. THOMAS<sup>1</sup>, B. BEAUPRÊTRE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CRAN

Faculté des sciences et techniques, BP 70239  
54506 VANDOEUVRE-LES-NANCY Cedex - France  
[mnoyel@acta-mobilier.fr](mailto:mnoyel@acta-mobilier.fr) ; [philippe.thomas@univ-lorraine.fr](mailto:philippe.thomas@univ-lorraine.fr); [andre.thomas@cran.uhp-nancy.fr](mailto:andre.thomas@cran.uhp-nancy.fr)

<sup>2</sup>ACTA Mobilier

Parc d'activité Macherin Auxerre Nord  
89470 MONETEAU - France

**RÉSUMÉ :** *Les problèmes actuels rencontrés dans les entreprises amènent la communauté scientifique à remettre en cause le concept de planification centralisée. Les nouvelles technologies de communication qui commencent à prouver leurs capacités permettent d'envisager de nouvelles approches dans lesquelles le produit joue un rôle. Cependant diverses difficultés apparaissent alors pour le concepteur du nouveau système : définition des exigences, contraintes liées aux standards, coûts, etc. Ce papier se veut être un guide permettant d'aborder la mise en place de ce type de système de manière efficiente. Il présente dans un premier temps comment analyser le problème industriel, puis les différentes technologies envisageables actuellement ainsi que leurs avantages et inconvénients, et enfin comment prendre en compte le futur système en lui-même lors de sa conception. Nous finirons sur un aperçu des différents gains qui peuvent être tirés de la synchronisation des flux matières et informationnels en matière de décision réactive. Toutes les informations ont pu être illustrées dans le cadre d'une application future dans l'entreprise ACTA Mobilier, agenceur et fabricant de meubles laqués haut de gamme.*

**MOTS-CLES :** *Distributed Control, Flexible manufacturing systems, Intelligent manufacturing systems, Product control, Product strategy, Synchronization*

### 1 INTRODUCTION

Depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle, l'industrie est passée de la production de masse d'Henry Ford à la customisation de masse. Cette évolution ne s'est pas faite sans problème et de nos jours, les entreprises doivent adapter leur système logistique et de pilotage de la production pour réduire les délais de production, répondre à une demande irrégulière et imprévisible, piloter des flux de production complexes...

Pour répondre à ces difficultés, de nombreux systèmes de pilotage de la production ont été proposés dont un des plus récents est le concept de Système Contrôlé par le Produit (SCP) (Morel *et al.*, 2003). Dans le cadre de ce concept, des travaux portant sur leur reconfiguration basée sur les techniques de synthèse dans le cadre de la théorie de la commande par supervision de Ramadge et Wonham (1988) ont été proposés (Gouyon, 2004). L'originalité de ces travaux consiste à générer par l'utilisation des techniques de synthèse SED, d'une part, le routage du produit à travers le système à partir des spécifications techniques et des capacités machines, et d'autre part, le contrôle-commande des machines de production. D'autres travaux ont porté sur la méthode de conception et de déploiement de ces techniques sur un site industriel dans le cadre d'une hybridation du pilotage entre SCP et Juste à Temps (JiT) (El Haouzi, 2008). Par ailleurs des travaux portant sur la simulation des systèmes de production basés sur la théorie des con-

traintes et exploitant des techniques d'apprentissage (Thomas et Thomas, 2011) ont été développés afin d'aider à la prise de décision en temps réel dans le cadre de l'optimisation de la production et de l'ordonnancement.

L'ensemble de ces travaux s'appuient sur de nouvelles technologies infotroniques parmi lesquelles on trouve les technologies d'identification telles que l'identification par radiofréquence (RFID). Cette technologie représente un moyen rapide et sûr (Srivastava, 2004) pour suivre les produits dans les systèmes logistiques et permettre de synchroniser les flux informationnels et physiques en fournissant avec précision une vision temps réel de l'atelier. Ce bond en avant en matière d'identification, et donc de traçabilité, peut largement aider au niveau de la maîtrise des gammes de production complexes sans pour autant tout solutionner à ce jour. Le concept de SCP, qui s'appuie largement sur ces technologies, apparaît comme une solution aux divers problèmes de replanification en réaction à des perturbations (Chové, 2010).

Actuellement, la plupart des travaux scientifiques concernant les systèmes de traçabilité ou les SCP ne parlent pas du choix de la technologie à implémenter et envisage souvent la RFID sans vraiment analyser l'apport que pourrait amener d'autres technologies. Le problème industriel y est généralement standardisé et les contraintes induites par le futur système ne sont parfois pas abordées. Les travaux présentés dans ce papier concernent une méthodologie à suivre afin d'aborder globalement la mise en place de ce type de système en tenant compte à la fois du réel problème industriel, des technologies présentes

sur le marché et de leurs avantages, ainsi que des contraintes engendrées par le futur système à mettre en place. Nous présenterons, dans un premier temps, un état de l'art sur la décision distribuée puis le chapitre 3 décrira la méthodologie proposée. Nous présenterons ensuite l'entreprise qui nous servira de cadre d'expérimentation avant de finir en présentant quelques perspectives et de conclure.

## 2 LA PRISE DE DECISION DISTRIBUEE

### 2.1 Etat de l'art introductif

Un système de décision centralisé présente des qualités de robustesse et de stabilité mais présente aussi des faiblesses en matière de réactivité et d'adaptabilité (Thomas, 2004). En effet, réagir à un élément perturbateur peut s'avérer très difficile car il faut réévaluer l'état actuel du système et estimer globalement la meilleure solution à prendre pour palier au problème. La situation est inverse pour les systèmes de décision distribuée. En effet, en travaillant sur des optima locaux (par atelier par exemple ou même par poste) il est possible de détecter très vite une perturbation et d'y trouver rapidement une solution car déterminer un optimum local nécessite moins de réflexion que pour déterminer un optimum global. Par contre, le vieil adage « la somme des optima locaux n'est pas égale à l'optimum global » qu'on peut retrouver dans la théorie des contraintes (Goldratt et Cox, 1992) induit de tirer profit des deux systèmes. Il est donc normal de se tourner vers des systèmes « hybrides » centralisé/distribué. L'idée serait donc qu'une partie de la décision soit réalisée de façon locale et tout au long du cycle de vie des produits. L'information nécessaire serait alors restreinte et traitée de manière plus locale (Herrera, 2011). Or, la distribution de la décision, même de manière partielle, nécessite dans un premier temps de parfaire la synchronisation des flux physiques et informationnels. En effet, la prise de décision réactive ne peut être envisagée que si l'état exact du système est connu.

### 2.2 L'appui des technologies infotroniques

La connaissance de l'état exact du système peut être obtenue « sur le terrain » grâce à des outils tels que les technologies infotroniques. A. Thomas dans (Thierry *et al.*, 2008) montre que la communauté de l'Intelligent Manufacturing System affirme que coupler les produits (agents) avec ce type de technologie (telle que la RFID) peut permettre de satisfaire les nouvelles exigences de flexibilité et d'adaptabilité dont les entreprises ont besoin face aux contraintes actuelles. C'est donc dans cette démarche de distribution de la décision en quête de réactivité que s'inscrivent les travaux concernant les Systèmes Contrôlés par le Produit (SCP). Le principe du concept SCP est de combiner de façon plus flexible des modes de pilotage centralisés avec des modes de pilotage distribués en tenant compte des capacités du produit à jouer un rôle actif de synchronisation des échanges entre

différents systèmes d'entreprise de niveau « business » et « process ». Comme introduit précédemment, nous pouvons parmi eux évoquer les travaux d'El Haouzi (2008) qui présentent une méthodologie de conception et d'intégration de SCP. Ces travaux ont pu démontrer la pertinence de ces systèmes en production industrielle.

### 2.3 La place de la RFID

Conçue en 1948, la technologie de Radio Frequency Identification (RFID) est aujourd'hui suffisamment fiable et abordable pour une utilisation généralisée. D'après Roberts (2006), elle est actuellement considérée comme le remplaçant inévitable des codes à barres. Elle présente en effet de multiples avantages tels que la lecture à travers les matériaux (sans contact visuel direct), la lecture à distance, la lecture en volume... Ces avantages en font avant tout une technologie d'identification et de traçabilité très appréciée. Mais ces avantages, ainsi que la possibilité de modifier l'information contenue dans le tag, en font aussi l'outil idéal pour implémenter l'intelligence distribuée utile pour l'optimisation de la gestion des chaînes logistiques. Malheureusement, même si elle est parfois vue comme le remède miracle à tous les problèmes, la technologie présente aussi le désavantage d'être perçue comme un moyen de « flicage de la production » et soulève des problèmes d'éthiques (Thomas, 2009).

Srivastava (2004) décrit les tendances critiques et les conséquences de l'application de cette technologie en matière de Supply Chain Management, détaillant ses avantages comme les obstacles à sa mise en œuvre.

Ustundag et Tanyas (2009) utilisent la simulation pour calculer les avantages en matière d'efficacité, de précision, de visibilité et de sécurité. Ils estiment aussi l'impact de la valeur du produit, des délais et de l'incertitude de la demande sur les performances du système RFID.

L'aspect non parfait des technologies RFID est aussi pris en compte (Sarac, 2010). En effet, l'efficacité du système dépend beaucoup de sa mise en place. L'impact en termes de satisfaction client, de niveaux de stock et de transport doit être étudié. D'autre part, une analyse économique doit aussi être déployée afin de pouvoir comparer les coûts de mise en place avec les gains financiers espérés (Bottani et Rizzi, 2008).

## 3 METHODOLOGIE

Les systèmes permettant la mise en place de cette prise de décision distribuée sont donc particulièrement complexes. Il convient donc de suivre une méthodologie afin d'assurer une ingénierie correcte de ces systèmes complexes. La méthodologie proposée dans ce papier relève globalement de l'ingénierie système et se décline en 3 phases telles que présentées sur la figure 1 :

- La phase d'analyse du problème industriel,
- La phase d'analyse des technologies à disposition,
- La phase de détermination des critères de choix.

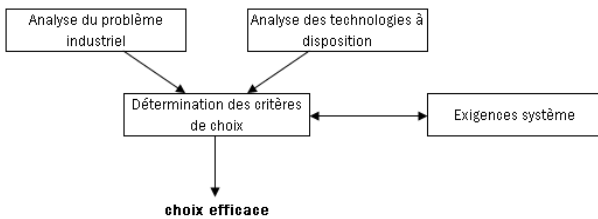


Figure 1 : Méthodologie d'engineering des systèmes.

Nous allons maintenant étudier chacune de ces 3 phases.

### 3.1 Analyse du problème industriel

L'analyse du problème industriel doit être menée en adoptant un raisonnement le plus global possible afin de couvrir, si ce n'est la totalité, du moins la majeure partie des problèmes du contexte industriel. On peut s'inspirer de la méthode des « 5 Pourquoi » (Ohno et Rosen, 1988), en subdivisant chaque problème en sous-problème. Le modèle présenté dans la figure 2 présente schématiquement la manière de procéder.

Le premier niveau concerne les objectifs. Toute entreprise est conditionnée par ses objectifs, telle la compétitivité. Chacun de ceux-ci peut se suffire à lui-même ou comporter un ou plusieurs sous-objectifs. Ainsi, l'exigence de compétitivité peut se décliner en ces 3 sous-objectifs :

- fournir des produits à bas prix,
- présenter des délais de livraison très courts,
- garantir au client qu'on ne lui refusera jamais sa commande.

En effet, ces 3 sous-objectifs permettent à l'entreprise de se démarquer par rapport à la concurrence.

Chaque objectif entraîne ensuite des contraintes. Dans notre cas, le prix de vente bas se traduit par un coût de revient maximum, le délai fixe se traduit par des cadences minimales par poste, etc.

L'entreprise subit aussi des contraintes qui ne découlent pas d'objectifs ou sous-objectifs. On peut citer par exemple, dans cette partie, la customisation de masse qui prédomine dans la conjoncture actuelle. Une ou plusieurs contraintes peuvent alors engendrer une ou plusieurs conséquences.

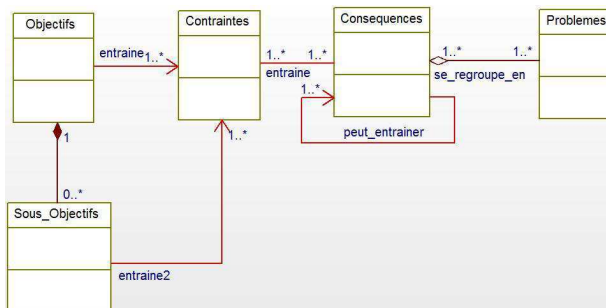


Figure 2 : Méthodologie d'analyse du problème industriel.

Il convient de considérer que ce niveau « conséquence » peut en fait se décrire par une multitude de niveaux en cascade. A savoir qu'une conséquence peut éventuellement entraîner une ou plusieurs autres conséquences qui

peuvent à leur tour en entraîner une ou plusieurs autres, etc. A titre d'exemple, la première conséquence de la contrainte « customisation de masse » est la multiplication des produits différents. Cette conséquence a elle-même deux autres conséquences pour l'entreprise qui sont : l'obligation de travailler à la commande et la complexification du flux de production.

Chaque conséquence finale peut donc être formulée sous forme d'un problème. La liste de ces problèmes, sera alors une représentation globale du problème industriel de l'entreprise.

### 3.2 Analyse des technologies à disposition

La phase d'analyse des technologies à disposition concerne toutes les technologies capables de synchroniser les flux physiques et informationnels. Nous parlons donc ici des différentes technologies d'identification. Le modèle virtuel de l'état du système de production est alors un impératif de conception.

Les techniques d'identification sont un pré-requis pour la distribution de l'intelligence comme pour la simple traçabilité dans le sens où elles permettent de rendre le produit « intelligent ». En effet, dans notre interprétation du concept SCP, les produits deviennent des « holons » composés d'une partie physique et d'une partie informationnelle qui leur donne la capacité de participer à des décisions locales concernant leur propre fabrication. Chaque produit devient alors « agent » du système et constitue le lien matériel entre les flux physiques et d'informations. Les technologies d'auto-ID (Mac Farlane *et al.*, 2003) illustrent ce principe en attribuant à chaque produit un identifiant unique. Même en déportant physiquement les capacités de mémorisation, de communication et de prise de décision sur des systèmes externes aux produits, c'est tout de même le produit qui est le garant de l'information. Il est alors possible d'assurer le suivi et le contrôle de chacun et, donc, de permettre de nouvelles méthodes de décision centrées sur les produits eux-mêmes.

Meyer *et al.* (2009) dressent un état des lieux des divers concepts concernant les produits intelligents et proposent notamment une classification de l'intelligence en trois dimensions : le niveau, la localisation et le degré d'agrégation. Grâce à cette classification, la notion de système de produit intelligent s'étend donc des produits contenant simplement leurs identifiants leur permettant d'être reconnus par l'intermédiaire d'une base de données, aux produits embarquant directement un module décisionnel et étant capable de se gérer seuls ou assemblés sans passer par l'intermédiaire d'une base de données. Evidemment, la position souhaitée du système dans cet espace tridimensionnel apporte des contraintes au niveau du support de l'information lié à la pièce. En effet, alors qu'un code à barres pourrait suffire dans le premier cas, un micro-processeur peut être requis dans le second cas. Ces contraintes ont aussi une répercussion financière.

Il existe de multiples moyens de lier l'information au produit faisant appel à diverses technologies

d'identification exploitées dans les systèmes de traçabilité. Il convient de systématiquement les passer toutes en revues en allant de celles ayant déjà fait leur preuves aux nouvelles sur le marché. Nous allons l'illustrer pour les principales technologies utilisables actuellement en présentant pour chacune d'elles un aperçu des avantages et des inconvénients vis-à-vis de l'usage qui doit en être fait.

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

C'est la méthode par défaut de la traçabilité car il s'agit de la plus simple. Elle consiste à mettre en place un système de carte d'identité, au format papier, qui suit physiquement la pièce ou le lot qu'elle doit identifier tout au long du processus de fabrication par l'intermédiaire des opérateurs. Ce dernier, lors de chaque phase de travail doit s'assurer qu'il remet bien en place la bonne carte sur la bonne pièce (ou le bon lot). A cause de cela, c'est aussi cette technique de traçabilité qui procure le plus d'erreurs. Cette solution très basique est toutefois bien plus utilisée qu'on ne le pense (Fraenkel, 1993), surtout concernant les produits de qualité dont aucune surface ne peut recevoir de contenants d'informations tels que ceux énumérés plus tard.

### **3.2.2 Les codes à barres.**

Ils représentent la technologie la plus utilisée à l'heure actuelle. 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 avec plus ou moins de sécurité. Leur principal apport, comparativement à la carte d'identité, est de réduire la surface de stockage ce qui permet d'envisager que le code à barres puisse rester sur la pièce tout au long du processus de fabrication. Ce système permet donc de réduire les erreurs imputables au système précédent (inverser deux cartes, en perdre une...). Toutefois, le système à codes à barres est plus intéressant que la fiche suiveuse uniquement si l'étiquette, une fois mise, n'est plus enlevée, ce qui sous entend donc de la positionner judicieusement. Dans le cas de suivi de production, cette position doit être étudiée en fonction des usinages, traitements de surfaces et autres étapes à valeurs ajoutées que pourrait subir la pièce. Dans beaucoup de cas, il en ressort qu'il est impossible de déterminer un emplacement sans avoir à décoller et recoller le code à barres.

### **3.2.3 La gravure.**

Le principe est de réaliser une gravure unique (datamatrix, code à barres, numéro de série...) par micro-percussion ou par laser sur chaque pièce. D'un point de vue fonctionnel, la gravure offre les mêmes avantages et désavantages que le code à barres. A partir d'une gravure, de la même manière qu'en scannant un code à barres, on peut retrouver soit à partir d'une base de données, soit en lisant directement l'information contenue dans le symbole, toutes les informations relatives à la pièce. Le gros avantage de cette technique est l'absence de consommable. En effet, la marque d'identification est directement usinée dans la matière et ne nécessite pas

l'ajout d'un autre composant. Le seul investissement réside donc dans l'achat de la machine de gravure et des dispositifs de relecture optique. Cependant, en plus des problèmes de positionnement identiques à ceux présentés dans le cadre d'un système code à barres il faut citer le désavantage que représente cette marque impérativement visible pour qu'on puisse la relire. Par exemple, ce système est efficace dans l'automobile avec les numéros de série sur les moteurs, ou dans l'armement sur des pièces dont l'aspect esthétique compte peu. Mais dès lors qu'il s'agit de pièces destinées à être vues, cette marque représente finalement un défaut d'esthétique. Les capacités actuelles en matière de marquage permettent toutefois d'obtenir des datamatrix de très petite taille (de l'ordre de 2 mm de côté) qui peuvent contenir suffisamment d'informations pour être utilisés en production. Il s'agit actuellement du meilleur rapport taille/quantité de données pour les codes 2D disponibles sur le marché (Vergoni et Ferry, 2011). Mais cette marque, aussi petite soit-elle, pourra toujours être considérée comme un défaut. Du point de vue de la relecture, plus le marquage est petit, plus il faut de temps pour le localiser sur la pièce. Ce dernier point implique des contraintes de positionnement afin que chaque opérateur ne perde pas de temps à le localiser. D'autre part, la pièce ne peut plus être identifiée dès lors qu'elle est emballée.

### **3.2.4 Les encres invisibles.**

L'apport principal, par rapport aux technologies précédentes, est qu'elles offrent les mêmes possibilités tout en éliminant la contrainte de visibilité. En fait, comme ces encres ne sont pas visibles dans la plage de longueur d'onde que l'œil humain peut voir, le marquage pourra donc être de taille et de forme quelconque. Cette technologie est principalement utilisée par l'intermédiaire d'un opérateur humain pour la lutte contre les contrefaçons. Actuellement aucun dispositif de lecture n'existe sur le marché pour une utilisation automatique en production. Les principaux inconvénients de cette technique se résument en deux points :

- le risque d'effacement de l'encre, que ce soit par friction sur la zone marquée ou par passages répétés à haute température qui dégènerent la fluorescence,
- le marquage ne doit pas être recouvert ni par une couche de finition, par une étiquette ou par un emballage.

### **3.2.5 Les caméras en logistique.**

Cette solution est de plus en plus couramment utilisée dans des applications de contrôles qualité (détection de la présence de nœuds, détermination des nuances de couleurs ou de brillance de finitions). Cependant, cette technologie permet également de déterminer la dimension des pièces ou leur couleur. En d'autres termes, cette technologie permet de connaître certaines caractéristiques qui sont propres à une pièce ou à un lot de pièces, permettant alors de les identifier. Dans ce cas la pièce ne porte plus à proprement parler d'informations sur elle.

### 3.2.6 La technologie RFID.

Comme cela a été dit précédemment, c'est une solution qui ne nécessite ni contact physique ni contact visuel (contrairement aux technologies précédemment décrites), 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 et aqueux, 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, tout en atteignant des distances de lecture de l'ordre du mètre. Le transpondeur ne porte pas uniquement un identifiant, il peut aussi porter tout type d'informations numériques comme les codes à barres en ayant, en plus, l'avantage de pouvoir modifier en temps réel l'information qu'il porte. De plus, il est possible de lire plusieurs transpondeurs en même temps sur le même lecteur. L'inconvénient majeur de ce type de système réside dans son prix. En effet, chaque pièce doit recevoir un « tag » dont le coût n'est pas négligeable.

### 3.3 Détermination des critères de choix

Le choix d'une technologie d'identification s'effectue en fonction de l'application qui va en découler mais aussi du système sur lequel cette technologie va être implantée. Les applications possibles d'un système d'identification tournent bien souvent autour des systèmes de traçabilité. De ces systèmes découlent une multitude de critères qui doivent impérativement être pris en compte pour le choix de la technologie d'identification. Si le système a en plus pour vocation de supporter la distribution de l'intelligence, d'autres critères peuvent alors faire leur apparition. D'une manière très schématique, on peut classer ces critères en trois grandes familles :

- les critères contraints par le système (par exemple : environnement électromagnétique, état de surface des produits...)
- Les critères contraints par l'application (par exemple : traçabilité du produit tout au long du cycle de vie, l'embarquement de données...)
- Les critères économiques.

Si les deux premières familles de critères sont directement corrélées au cas d'étude, et de ce fait, assez difficilement généralisable, il n'en est pas de même des critères économiques qui doivent toujours être pris en compte. Les principaux critères économiques (utilisation de consommable, temps et coût de marquage, temps d'identification) sont détaillés ci-après.

Tout d'abord l'absence ou la présence de consommable. Par opposition à la technologie de marquage laser qui ne coûte plus rien une fois le matériel acheté, la technologie RFID implique l'achat d'un « tag » par pièce ou lot à identifier.

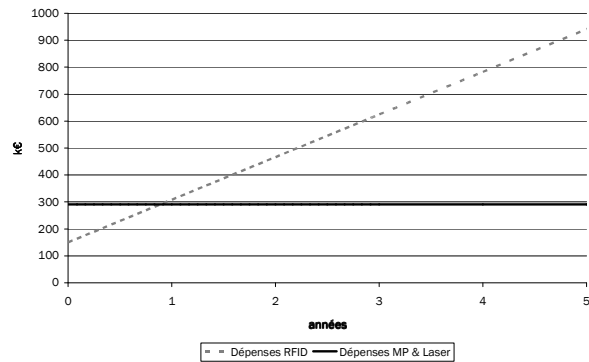


Figure 3 : Impact des consommables de la solution d'identification sur les coûts d'exploitation à long terme.

Le coût de la solution d'identification sera donc directement proportionnel au volume de production. La grande différence qui en résulte a été calculée à titre d'exemple entre une solution de marquage laser et une solution par RFID. Les résultats sont présentés dans la figure 3. On peut y voir que même si le système de marquage laser coûte plus cher à sa mise en place, le fait qu'il n'y ait aucun achat de consommable par la suite, le rend plus intéressant une fois le seuil de rentabilité passé.

D'autre part, il faut prendre en compte le temps et le coût de marquage. Associer l'identifiant à la pièce ou le lot consiste en une étape supplémentaire qui prend du temps et qui coûte de l'argent. La comparaison d'un marquage laser, qui ne prend que quelques dixièmes de secondes, ou même l'utilisation d'un système d'identification par caméra qui implique un temps et un coût de marquage nuls, à une solution RFID qui nécessite un temps d'implantation du tag tout en prenant en compte le coût du tag lui même, ne milite pas en faveur de la technologie RFID. Les temps perdus et coûts mis en jeu peuvent ainsi être très variables.

D'autre part le temps d'identification future de la pièce dépend aussi du type d'identifiant dont elle a été pourvue. Un tag RFID UHF pourra être lu sans réellement connaître sa position sur la pièce et quasiment instantanément tandis qu'un datamatrix marqué au laser devra d'abord être localisé par l'opérateur avant de pouvoir être scanné ce qui peut augmenter considérablement le temps de lecture dans le cas de lectures manuelles. Pour ce point l'avantage revient cette fois ci à la technologie RFID.

	fiche d'identité	code-barres	gravure (laser)	encre invisible	RFID	caméras
Consommables	-	+	++	-	--	++
Temps de marquage	-	-	+	-	--	++
Coût de marquage	-	+	++	-	--	++
Qualité de la pièce	++	+	-	++	-	++

Tableau 1 : Tableau des critères pour les différentes technologies abordées.

L'association d'un identifiant à chaque pièce, hormis pour l'identification par caméra, passe aussi par un lien physique entre la pièce et le contenant de l'information. Par exemple le code à barres doit être collé sur la pièce, le tag RFID doit lui être fixé sur ou dans la pièce. Ce lien peut avoir des effets importants sur la qualité finale du produit et ce paramètre est aussi à prendre en compte

lors du choix de la technologie d'identification à mettre en œuvre.

Pour résumer les quelques critères présentés dans le tableau 1 ci-dessus. Dans celui-ci, nous pouvons constater que la technologie RFID totalise le plus de signes « - ». Sur cette base on devrait donc l'écartier au profit de l'une ou l'autre technologie. Cependant, il convient aussi d'étudier les avantages de chacune des technologies avant de faire un choix.

### 3.4 Exigences systèmes

En plus des critères cités précédemment relatifs au fonctionnement du système, et dans le cadre d'une démarche d'analyse de la valeur ou encore une démarche d'ingénierie système, il convient d'étudier en profondeur les « exigences systèmes ». L'important est de déterminer les fonctions que le système doit remplir ainsi que les contraintes auxquelles il devra se plier. Il est possible d'utiliser le principe de la matrice de décision pour effectuer les choix dans un cadre le plus neutre possible. Nous ne détaillerons pas ici toutes les exigences systèmes puisqu'elles varient beaucoup suivant le type de système à mettre en place. La RFID, de part ses nombreux avantages et comme cela a pu être le cas pour l'entreprise ACTA Mobilier, peut alors devenir incontournable malgré les inconvénients soulevés plus haut.

Une fois les exigences systèmes déterminées, il faut les mettre en comparaison avec les critères cités précédemment (éventuellement par l'intermédiaire de matrices de décision). Les décideurs ont alors en main toutes les informations qui vont leur permettre de choisir en connaissance de cause.

## 4 APPLICATION INDUSTRIELLE

La méthodologie présentée dans ce papier sera illustrée dans le cadre de son déploiement au sein de l'entreprise ACTA Mobilier. Cette dernière s'inscrit parfaitement dans le cadre des problématiques de logistique et de pilotage qui a été décrite en introduction de part les contraintes qu'elle s'impose ou auxquelles elle doit se soumettre. Nous détaillerons plus précisément ces contraintes et objectifs dans les paragraphes suivant sa présentation.

### 4.1 Présentation de l'entreprise

ACTA Mobilier possède deux activités principales de production de produits « haut de gamme ».

La première est la sous-traitance industrielle qui consiste en une activité de réalisation de portes de cuisines, salles de bains, bureaux réalisées en MDF (panneau de fibres de moyenne densité) en finition laque principalement. Les clients de l'entreprise sont, par exemple, des vendeurs de cuisines sur mesures.

Sa production est caractérisée principalement par du travail unitaire et un grand nombre de références (plus de 500 000) dans un grand nombre de couleurs (plus de 500 références de laques). Cette activité de sous-traitance nécessite de maintenir des délais courts et fiables ainsi qu'une forte réactivité.

La deuxième, l'agencement, correspond à une activité de réalisation de meubles sur mesures (stands, boutiques, mobiliers d'hôtels, ...) couvrant l'ensemble du cycle de vie du produit. Les clients sont ici des bureaux de design, architectes, grandes marques (PSA, Chanel, EDF, ...).

Dans sa recherche d'amélioration continue, l'entreprise est certifiée ISO 9001, ISO 14001 et OHSAS 18001. Elle continue aussi de déployer la démarche Kaizen (5S) dans l'ensemble de l'usine.

### 4.2 Système de production

La figure 4 présente un organigramme simplifié de la production. L'activité est divisée en 5 ateliers (usinage, préparation, laquage, polissage et emballage / conditionnement) dont chacun est géré par un responsable de production qui remet à jour les plannings « sur le terrain » en fonction des aléas de la journée.

De part la présentation que nous venons de faire de l'entreprise, il est possible de cerner les problèmes de logistiques et de pilotage de la production typiques induits par des contraintes et perturbations de plus en plus courantes dans ce monde industriel. L'entreprise en étant consciente souhaite implanter un système dont les caractéristiques simplifiées seraient les suivantes :

- Permettre d'avoir une traçabilité des produits en cours de fabrication.
- Proposer des changements de planification en temps réel pour optimiser la production.

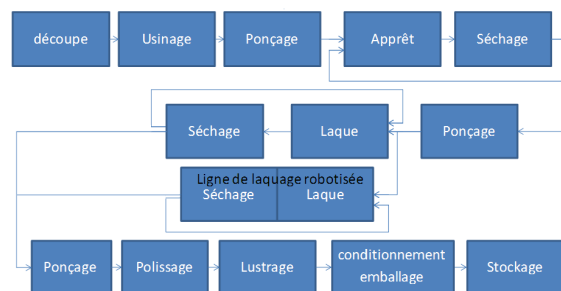


Figure 4 : Organigramme simplifié de la production

Le système de traçabilité est directement induit par la première caractéristique mais la deuxième oriente les possibilités vers le SCP. En effet, elle présuppose la notion de décision réactive et cette réactivité fait défaut aux systèmes de décision centralisée (Herrera, 2011). Nous allons donc nous intéresser plus particulièrement à la prise de décision de manière distribuée.

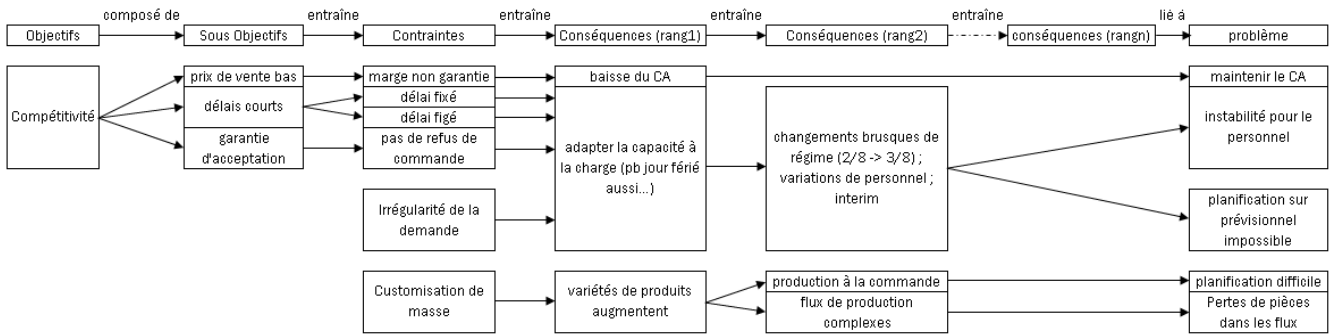


Figure 5 : Application de la méthodologie d'analyse.

### 4.3 Déploiement de l'approche

S'agissant d'étudier comment implanter un système de prise de décision distribuée chez ACTA mobilier, la première étape consiste en l'analyse du problème industriel et en la recherche des objectifs. Dans notre cas, et comme pour de nombreuses entreprises, on peut citer la compétitivité qui se décline en rapport qualité / prix, délais de livraison courts, acceptation systématique de commandes. Ces différents objectifs vont alors entraîner un certain nombre de contraintes comme les marges non garanties, les délais de livraison... D'autres contraintes ne découlant pas directement d'un objectif peuvent également apparaître. On peut ainsi citer la customisation de masse ou encore, l'irrégularité de la demande client. Une ou plusieurs contraintes peuvent alors engendrer une ou plusieurs conséquences. Il faut ainsi adapter la capacité de production en tenant compte, par exemple, de la présence de jours fériés, de la demande client... De tout cela va alors émerger une liste de problèmes auxquels il faudra répondre. L'ensemble de cette étape est résumé de manière simplifiée à la figure 5.

Les technologies disponibles ayant été présentées précédemment, il nous reste à déterminer les critères de choix de ces technologies. Le coût d'implantation est bien évidemment un des critères importants. Nous avons ainsi vu qu'une solution RFID nécessite de creuser une cavité avant d'installer le tag puis de reboucher ce qui nécessite également un temps de séchage. Le coût de ces étapes supplémentaires tout en prenant en compte le coût du tag lui-même doit être évalué. Il est également nécessaire de prendre en compte les temps et coût de lecture / écriture d'informations qui peuvent nécessiter de localiser un marquage laser ou un code à barres. De ce point de vue, la technologie RFID présente un avantage certain sur ses concurrentes.

Ces différences de coûts et de temps ont aussi été calculées dans le cadre de notre projet et la comparaison des résultats obtenus entre un système de marquage laser et un système RFID sont présentés par les figures 6 et 7. Ces figures permettent de se rendre compte de l'impact que peut avoir le choix de la technologie d'identification sur respectivement la stabilité financière et temporelle de la production. Par exemple, la figure 6 montre que lors de l'usinage, lorsque l'on doit réaliser l'identification, la solution RFID entraîne un surcoût proche de 0,80 € qui est bien supérieur au surcoût entraîné par la solution de

marquage laser. Dans les étapes suivantes, chacune des technologies permet de gagner de l'argent. Par exemple, l'étape de tri est grandement diminuée, voire supprimée grâce aux technologies d'identification. Pour le marquage laser, le gain à cette étape de la gamme surpasse le coût de marquage. La solution est donc rentable dès cette étape et tous les gains futurs ne seront que bénéfiques. A l'inverse, le surcoût engendré par la technologie RFID fait que même avec les gains financiers récoltés tout au long de la gamme, il est difficile de gagner de l'argent sur une pièce. Les gains qui résulteraient du choix de cette technologie seraient donc uniquement organisationnels.

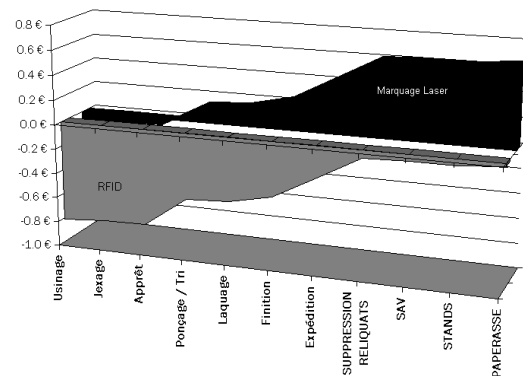


Figure 6 : Évolution des coûts de production par pièce suite au choix d'une technologie d'identification.

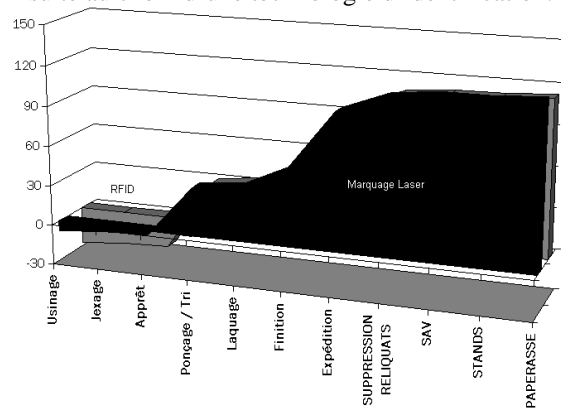


Figure 7 : Évolution des temps de production par pièce suite au choix d'une technologie d'identification.

Les 4 derniers points de l'axe des abscisses correspondent à des gains estimables non directement liés à la fabrication du produit mais imputables aux coûts de fabri-

cation. Ils sont donc quand même pris en compte lors de notre étude.

La figure 7 présente la même étude mais réalisée cette fois en terme de temps gagné. On peut alors constater la différence existante entre l'impact en termes de coût et en termes de temps.

## 5 AUTRES BÉNÉFICES ATTENDUS

Dans la partie précédente, nous avons évalués les coûts et bénéfices directement attendus lors de l'implantation d'un système de traçabilité en fonction de la technologie employée. D'autres bénéfices, moins directs, peuvent cependant être recherchés. Cette partie nous permet d'envisager les perspectives de recherche qui vont être ouvertes par l'installation d'un tel système dans l'environnement de production de l'entreprise ACTA Mobilier.

### 5.1 Distribution de la décision

Tout d'abord, il convient de souligner que les décisions à prendre sont principalement des modifications de planification dans le but d'optimiser la production. Une planification globale sera toujours effectuée en amont de la production mais nous avons montré précédemment à quel point il était difficile de réaliser cette planification à causes des multiples contraintes rencontrées par l'entreprise. L'idée est donc de faire un planning prédictif « au mieux » puis de réagir « au fil de l'eau ». Les décisions de replanification devront donc être proposées dès qu'un meilleur optimum est détecté.

Ensuite la distribution de la décision peut s'effectuer suivant 3 axes : la distribution spatiale, temporelle ou physique.

Le degré de distribution spatiale s'étend d'un extrême (système centralisé, toutes les décisions sont prises au même endroit) à l'autre (système hyper-distribué ou chaque poste a sa propre cellule de décision). Dans notre cas diverses solutions s'offrent à nous. La production étant divisée en 5 ateliers gérés par autant de personnes différentes, il pourrait être envisagé d'utiliser une cellule de décision par atelier. De cette manière, chaque atelier serait capable de s'auto-optimiser. Toutefois, pour les postes à risques tels que les goulots structurels ou conjoncturels (Thomas et Charpentier, 2005), il pourrait être judicieux de leur attribuer à eux seuls une cellule de décision.

La distribution temporelle se résume à cette question tout aussi problématique : à quel intervalle de temps va-t-on lancer l'algorithme de décision ? La réponse dépend des quantités d'informations qui devront circuler (temps d'exécution) mais aussi de la pertinence car il n'est pas forcément utile de relancer le programme toutes les minutes, par exemple.

Concernant la distribution physique, d'après des études faites sur la réflexion humaine, lors de la prise de décision on retrouve des notions de collaboration et de coopération entre les « actants », à savoir toutes entités pre-

nant part, de près ou de loin à la décision (Grosjean et Robichaud, 2010).

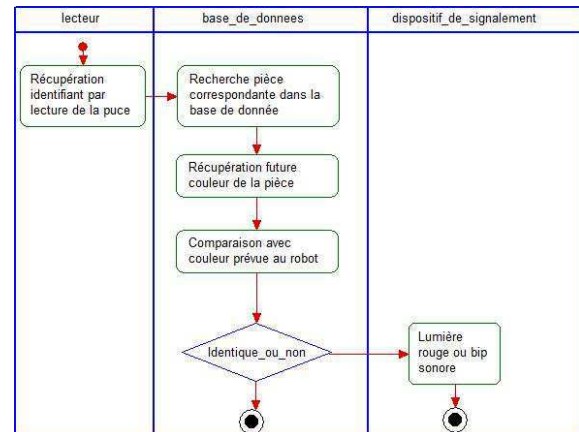


Figure 8 : Fiabilisation du flux au niveau du robot de laquage.

Dans le cas de notre système, les actants peuvent être définis comme l'ensemble des entités comprenant les pièces en cours de fabrication, les collaborateurs, l'état des machines, les prévisions...

### 5.2 Perspectives de recherches

Le premier avantage intimement lié à un système RFID est bien évidemment la traçabilité comme cela a pu être mis en avant par l'intermédiaire du service TRASER (Hermosillo *et al.*, 2009). Mais le deuxième avantage à tirer du fait d'avoir des produits « intelligents » est sans aucun doute leur capacité à signaler toute erreur qu'un opérateur s'apprêterait à faire. En effet, chaque produit étant capable de connaître sa gamme de fabrication. Il est possible de signaler chaque erreur de gamme. Par exemple, dans le cadre de l'entreprise ACTA Mobilier spécialisée dans le laquage de panneau de medium, une erreur récurrente consiste à laquer le panneau dans une mauvaise couleur. Les causes peuvent être diverses et variées mais il s'agit bien souvent d'une erreur d'un opérateur qui a remis la pièce dans le mauvais lot. Si on ne détecte pas l'erreur avant le laquage, la pièce doit être réusinée et donc reprendre la gamme depuis le début avec les coûts et les pertes de temps que cela représente. On peut donc imaginer fiabiliser les flux en mémorisant la couleur prête à être utilisée dans le robot de laquage et en la comparant à la future couleur de chacune des pièces avant qu'elles n'entrent dans le robot. Un dispositif de signalement (visuel ou sonore) permettrait de faire remarquer l'erreur à l'opérateur avant qu'elle ne soit irrécupérable. Cet exemple présenté en figure 8 permet de mieux comprendre l'idée de fiabilisation de flux via un système de produits intelligents.

### 5.3 Automatisation du TRS

L'intelligence du système passe aussi par l'aide à la gestion de production, notamment par l'automatisation du Taux de Rendement Synthétique (TRS) de chaque machine. En effet, le signalement des produits lors de leur



passage au sein de la machine permet de réaliser en automatique cette mesure de performance afin de mieux gérer la productivité.

#### 5.4 Réactivité

Suite à une perturbation, il sera possible au système de proposer une modification de planification comme, par exemple, avancer le traitement des lots qui risquent d'être en retard ou reporter ceux qui le seront avec certitude pour pouvoir privilégier les autres. Les règles de proposition seront établies à partir d'une analyse des décisions prises actuellement et resteront évolutives en fonction des validations ou non-validations des décisions proposées, par les responsables de production. D'autre part, le système devra être en mesure d'analyser par simulation toute idée proposée par un responsable de production et d'en estimer les conséquences. Le système global sera donc intelligent au sens où il pourra aussi apprendre au fil du temps, soit des propositions qu'on lui a faites et auxquelles il n'avait pas pensé, soit par les retours d'expériences au sujet des décisions qu'il aura proposées. Il sera donc en mesure de fournir des propositions qui resteront pertinentes.

## 6 CONCLUSION.

Dans cet article, nous avons proposé une méthodologie de conception de système de type SCP pour qu'il soit en adéquation avec les réels besoins et exigences du cas d'étude. Trois étapes ont été proposées : i) une analyse méthodique des problèmes scientifiques, ii) une analyse des marchés technologiques et iii) une comparaison des critères de choix avec les exigences systèmes. Cette méthodologie permet d'avoir une idée globale assurant une forme d'exhaustivité et donc de concevoir un système adapté à l'environnement de production de l'entreprise plutôt que d'opter pour les nouveaux systèmes RFID clefs en main proposés par les intégrateurs. D'autre part, la similitude des problèmes rencontrés par l'entreprise ACTA Mobilier avec ceux d'autres entreprises de la classe de typologie « entreprises manufacturières », et ce dans la conjoncture actuelle, laisse à penser que les pistes de solutions de recherche qui sont en passe d'être déployées dans cette entreprise ont sans aucun doute un caractère générique. Il a été démontré, dans de nombreux travaux antérieurs, la pertinence du contrôle par le produit dans des systèmes complexes ainsi que les avantages non négligeables que peut apporter la technologie RFID dans ces cas. L'étude des contraintes techniques telles que l'insertion des tags de manière invisible ou le stockage des informations a pu être menée à bien et donc crédibiliser pour la suite du projet. Les gains envisageables, qu'ils soient financiers ou temporels, ainsi que la fiabilisation des flux jouent en faveur de ce type de système dont les nombreux autres avantages restent à être mis en valeur, approfondis ou même découverts.

## REFERENCES

- Bottani, E. et Rizzi A., 2008. Economical assessment of the impact of RFID technology and EPC system on the fast-moving consumer goods supply chain, *Int. J. Production Economics*, 112, 548–569.
- Chové, E., 2010. *Contributions à l'ordonnancement réactif des installations de traitement de surface – application industrielle*, thèse de l'Université de Nantes.
- El Haouzi, H., 2008. *Approche méthodologique pour l'intégration des systèmes contrôlés par le produit dans un environnement de juste-à-temps*, thèse de l'Université Henri Poincaré Nancy I.
- Fraenkel, B., 1993. La traçabilité, une fonction caractéristique des écrits de travail, *Langage et travail*, 6, p. 26-38.
- Goldratt E., et Cox J., 1992. *The goal: A process of ongoing improvement*, 2<sup>nd</sup> revised edition, Great Barrington, USA, North River Press.
- Gouyon, D., 2004. *Contrôle par le produit des systèmes d'exécution de la production : apport des techniques de synthèse*, thèse de l'Université Henri Poincaré Nancy I.
- Grosjean, S, et Robichaud, D., 2010. Décider en temps réel : une activité située et distribuée mais aussi disloquée, *Langage et société*, 4 n° 134, p. 31-54.
- Hermosillo G., Ellart J., et Seinturier L., 2009. A Traceability Service to Facilitate RFID. Adoption in the Retail Supply Chain, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Workshop on RFID Technology - Concepts, Applications, Challenges IWRT*, 49-58.
- Herrera, C., 2011. *Proposition d'un cadre générique de modélisation et de simulation de planifications logistiques dans un contexte de décisions partiellement ou totalement distribuées*, thèse de l'Université Henri Poincaré Nancy I.
- Mac Farlane, D., Sarma S., Chirn J.L., Wonga C.Y., et Ashton K., 2003. Auto ID systems and intelligent manufacturing control, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16, 365–376.
- Meyer, G., Främling K., et Holström J., 2009. Intelligent Products: A survey, *Computers in Industry*, 60, 137–148.
- Morel, G., Panetto, H., Zaremba, M., Mayer, F., 2003. Manufacturing enterprise control and management system engineering paradigms and open issues, *Annual Reviews in Control*, 199-209.

- Ohno T., et Rosen C.B., 1988. *Toyota production systems: beyond large scale production*, Portland, USA, Productivity Press.
- Ramadge, P.J. et Wonham, W.M., 1988. Modular supervisory control of discrete-event systems, *Mathematics of Control, Signals, and Systems*, 1, 13-30.
- Roberts, C.M., 2006. Radio frequency identification (RFID), *computers & security*, 25, 18-26.
- Sarac, A., 2010. *Modélisation et aide à la décision pour l'introduction des technologies RFID dans les chaînes logistiques*, thèse de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.
- Srivastava, B., 2004. Radio frequency ID technology: The next revolution in SCM, *Business Horizons*, 47/6, 60-68.
- Thierry C., Thomas A., et Bel G., 2008. Simulation for product driven system, *Simulation for Supply Chain Management*, 221-255.
- Thomas A., 2004. *De la planification au pilotage pour les chaînes logistiques*, HDR, Université Henri Poincaré – Nancy I.
- Thomas A., et Charpentier P., 2005. Reducing simulation models for scheduling manufacturing facilities. *European Journal of Operation Research*, Vol161, 111-125.
- Thomas, A., 2009. RFID et nouvelles technologies de communication; enjeux économiques incontournables et problèmes d'éthique, *6ème Conférence Internationale CPI'2009, Fès : Maroc*.
- Thomas P. et Thomas A., 2011. Multilayer perceptron for simulation models reduction: application to a sawmill workshop, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 4, n°4, p. 646-657.
- Ustundag, A. et Tanyas, M., 2009. The impacts of RFID technology on supply chain costs, *Transportation Research, Part E* 45, 29–38.
- Vergoni C., et Ferry N., 2011. Codes 2D : Etude et Application sur Téléphones Mobiles, <http://ferrynico.com/docs/Code2D.pdf>.