



MONS

UCL Université catholique de Louvain – **Mons**  
Louvain School of Management

**Quel est l'impact des méthodes LEAN sur la rentabilité des produits ?  
Analyse de l'atelier de câblage automatique CMS de  
Thales Alenia Space ETCA**

**Promoteur** : Paul-Etienne de Wasseige

**Maître de mémoire** : Jean-François Lutz

**Mémoire présenté par** : Michel Weiss

En vue de l'obtention du diplôme  
de Master en Sciences de Gestion

Année académique 2012-2013

## ABSTRACT

Suite à la pression croissante des marchés, l'entreprise Thales Alenia Space ETCA cherche à améliorer ses performances afin de réduire son retard de compétitivité sur les coûts (environ 15% vis-à-vis des concurrents européens) ainsi que son manque de performance sur les délais de fabrications (On time delivery de 60%). L'objectif est d'atteindre les 80%.

Les méthodes du LEAN ont été choisies pour améliorer ces deux points critiques pour assurer la pérennité de l'entreprise.

Ce mémoire présente tout d'abord une synthèse de la littérature dans le but d'identifier les méthodes du Lean adaptées à la production de l'entreprise (petites séries).

La première méthode choisie est la **Value Stream Mapping** afin de cartographier de manière précise les étapes de production dans le but de trouver des voies d'améliorations portant sur les coûts. Puis un système de **First In First Out** a été envisagé et testé afin de réduire les délais et les encours de fabrications.

Une première application pilote a permis d'argumenter et de convaincre la direction de lancer un projet plus complet sur un atelier complet.

Au cours du projet, ces méthodes ont été appliquées sur un cas concret qui est l'atelier de câblage automatique CMS. Une analyse détaillée des mécanismes d'imputation des coûts chez Thalès Alenia Space ETCA a permis d'évaluer précisément les gains obtenus, essentiellement la réduction d'un quart sur le coût des produits de la ligne de fabrication. (p65). Les gains en délai peuvent atteindre 50% avec l'implantation du First In First Out à l'atelier pour lequel un réaménagement a été étudié (p53 et p54).

Néanmoins on s'aperçoit durant l'étude que si l'on souhaite réaliser de gros gains, il faudra généraliser ces méthodes à au moins toute une ligne de production complète. En effet les gains escomptés par le projet sont estimés à 1,2 % du coût d'un produit standard, la part de main d'œuvre étant d'un tiers dans les coûts d'un produit (p66 à p68).

Un exercice d'extrapolation des résultats du FIFO (pour la baisse des encours) a été fait pour l'ensemble de la production (hormis les tests électriques) ce qui a mis en avant un gain potentiel de plus de 700 000 euros grâce à la baisse des encours (p69 à p70).

Enfin on notera que tous ces chantiers sous-entendent un changement de culture d'entreprise avec la mise en œuvre d'une gestion de la production en flux tiré et non poussée comme aujourd'hui. Changement difficile à accepter par le personnel, en partie dû à l'historique de la société (anciennement ACEC).

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Jean-François Lutz pour nos discussions matinales sur les activités d'amélioration présentées dans ce mémoire. J'ai apprécié sa créativité et son refus du fatalisme ainsi que sa profonde connaissance des systèmes opérationnels de gestion qui m'ont aidé à trouver les informations utiles à la valorisation des résultats.

Je remercie aussi Eric Benoit (chef d'atelier de ligne de câblage automatique CMS) pour sa combativité et sa persévérance face à la réticence du personnel lorsque nous avons dû implanter les méthodes de ce chantier du changement.

Et enfin je remercie Paul-Etienne de Wasseige pour sa vision large de l'industrie et sa connaissance de l'esprit des ACEC ainsi que pour son support toujours réactif lors de la réalisation de ce mémoire.

# Table des Matières

<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>Remerciements .....</b>	<b>3</b>
<b>Table des Matières.....</b>	<b>4</b>
<b>Table des Figures.....</b>	<b>7</b>
<b>Abréviations.....</b>	<b>8</b>
<b>1 Introduction générale de la problématique.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Introduction de la société.....</b>	<b>10</b>
2.1 Thales .....	10
2.2 Thales Alenia Space .....	11
2.3 Thales Alenia Space ETCA.....	11
2.3.1 Historique .....	11
2.3.2 Présentation générale.....	12
2.3.3 Le secteur d'activité – Les produits.....	14
<b>3 Introduction LEAN .....</b>	<b>16</b>
3.1 Historique .....	16
3.2 Qu'est-ce que le Lean ?.....	16
3.3 Les buts du Lean.....	16
3.4 Quelles sont les conditions favorables pour appliquer le Lean ?.....	17
3.5 Quels types d'industries sont concernées .....	18
3.6 Les pratiques Lean.....	18
<b>4 Le Lean à Thales Alenia Space ETCA.....</b>	<b>21</b>
4.1 Introduction .....	21
4.2 Détail de la Value Stream Mapping .....	22
4.3 Chantier pilote .....	24
4.4 Le projet Production Process Improvement .....	27
<b>5 Description du fonctionnement de l'entreprise.....</b>	<b>28</b>
5.1 Chaîne de valeur ETCA.....	28
5.1.1 Offre .....	30
5.1.2 Devis.....	30
5.1.3 Design (Ingénierie Vol).....	30
5.1.4 Industrialisation .....	30
5.1.5 Planification.....	30
5.1.6 Approvisionnement .....	31
5.1.7 Production .....	31
5.1.8 Tests.....	32
5.1.9 Livraison.....	32
5.2 Description de l'atelier Ligne CMS.....	32
5.2.1 Préparation des composants.....	33
5.2.2 Chargement en composants de la machine de placement automatique .....	34
5.2.3 Préparation de la carte .....	35
5.2.4 Placement automatique de composants électronique.....	36

5.2.5	Brasage des composants .....	37
5.2.6	Nettoyage des cartes .....	37
5.2.7	Contrôles visuels .....	38
5.2.8	Retouches .....	38
5.2.9	Contrôle électrique automatique.....	38
5.2.10	Collage automatique.....	39
<b>6</b>	<b>Value Stream Mapping .....</b>	<b>41</b>
6.1	Choix d'un Ordre de Fabrication représentatif.....	41
6.2	Compilation des données.....	41
6.3	La critique.....	42
6.3.1	De manière générale .....	42
6.3.2	Par poste de travail .....	42
<b>7</b>	<b>Pistes d'améliorations.....</b>	<b>50</b>
7.1	Solutions applicables à toute la ligne de production .....	50
7.1.1	Polyvalence Opérateurs .....	50
7.1.2	Îlots de production .....	50
7.1.3	Kanban sur consommables .....	50
7.1.4	First In First Out .....	50
7.1.5	Just in time.....	50
7.2	Améliorations apportées aux postes de travail .....	55
7.2.1	Préparation des composants.....	55
7.2.2	Chargement de la machine de placement automatique.....	55
7.2.3	Préparation de la carte .....	55
7.2.4	Placement automatique de composants électroniques .....	55
7.2.5	Brasage des composants .....	55
7.2.6	Nettoyage des cartes .....	55
7.2.7	Contrôles visuels .....	56
7.2.8	Retouches .....	56
7.2.9	Collage automatique.....	56
7.2.10	Contrôle électrique automatique.....	56
7.3	Différences avec l'atelier pilote.....	56
7.4	Points communs avec l'atelier pilote (général à l'usine).....	57
<b>8</b>	<b>Value Stream Mapping optimisée .....</b>	<b>58</b>
<b>9</b>	<b>Affectation des coûts à ETCA.....</b>	<b>59</b>
9.1	Les différents moyens d'affectation des coûts .....	59
9.1.1	Ordres de Fabrication (OF).....	59
9.1.2	Les systèmes de pointages pour employés .....	59
9.1.3	Les indirects.....	59
9.1.4	Les clefs de répartitions.....	59
<b>10</b>	<b>Modèle de découpe des coûts de la ligne CMS .....</b>	<b>61</b>
10.1	Récolte de données .....	61
10.2	Résultats et interprétations .....	62
<b>11</b>	<b>Impact des méthodes Lean sur le modèle .....</b>	<b>65</b>
<b>12</b>	<b>Impact sur la rentabilité des produits.....</b>	<b>66</b>
12.1	Découpe de coûts d'un produit.....	66
12.2	Impact sur la rentabilité d'un produit .....	68

<b>13</b>	<b>Impact financier du système FIFO pour la société.....</b>	<b>69</b>
<b>14</b>	<b>Conclusions.....</b>	<b>71</b>
<b>15</b>	<b>Obstacles &amp; Difficultés.....</b>	<b>72</b>
<b>16</b>	<b>Annexes.....</b>	<b>73</b>
16.1	Annexe 1 – Description Business Thales Alenia Space ETCA.....	73
16.2	Annexe 2 – Description des produits.....	75
16.3	Annexe 3 – Value Stream Mapping .....	78
16.4	Annexe 4 – Découpe des opérations du poste de contrôle électrique.....	86
16.5	Annexe 5 – Retouches – Extraction des données de l’application CQVISU .....	89
<b>17</b>	<b>Bibliographie.....</b>	<b>92</b>

## Table des Figures

Figure 1.	Répartition des activités de Thalès .....	10
Figure 2.	Répartition des sites de Thales Alenia Space .....	11
Figure 3.	Le bâtiment de Thales Alenia Space ETCA .....	11
Figure 4.	Répartition des qualifications du personnel.....	13
Figure 5.	Les activités de Thales Alenia Space ETCA .....	14
Figure 6.	Canevas de départ d'une étiquette FIFO.....	25
Figure 7.	Illustration d'une étagère limitée en capacité .....	26
Figure 8.	Illustration des résultats du chantier pilote .....	27
Figure 9.	Organisation.....	28
Figure 10.	Value Chain de Thales Alenia Space ETCA .....	29
Figure 11.	La Ligne CMS .....	33
Figure 12.	Représentation d'un composant avant d'être étamé/cambré.....	33
Figure 13.	Illustration d'un composant étamé cambré .....	34
Figure 14.	Illustration d'un magasin de stockage de composants électroniques.....	35
Figure 15.	Illustration du four d'étuvage des PCB.....	35
Figure 16.	Illustration de la machine de sérigraphie des cartes électroniques .....	36
Figure 17.	Illustration de la machine de placement automatique de composants .....	36
Figure 18.	Illustration de l'équipement de production brasant les composants sur les cartes.....	37
Figure 19.	Illustration d'une machine de nettoyage de PBA.....	38
Figure 20.	Illustration d'une machine de contrôle électrique.....	39
Figure 21.	Illustration d'une machine de dépôt de colle automatique .....	40
Figure 22.	Répartition des opérations du flux initial.....	41
Figure 23.	Répartition des tâches de la préparation des composants. ....	43
Figure 24.	Répartition des tâches du chargement des composants .....	44
Figure 25.	Répartition des tâches de la préparation de la carte .....	45
Figure 26.	Répartition des tâches du placement automatique .....	45
Figure 27.	Répartition des tâches du nettoyage des cartes .....	46
Figure 28.	Répartition des tâches du contrôle visuel.....	47
Figure 29.	Répartition des tâches des retouches.....	47
Figure 30.	Découpe des tâches non récurrentes du contrôle électrique .....	49
Figure 31.	Schéma d'implantation actuel de la ligne CMS.....	53
Figure 32.	Plan de la nouvelle implantation.....	54
Figure 33.	Simulation de la répartition des opérations.....	58
Figure 34.	Tableau de synthèse des améliorations sur la cartographie de flux .....	58
Figure 35.	Volume d'heure par poste.....	62
Figure 36.	Volume d'heure de la ligne CMS .....	63
Figure 37.	Découpe coûts Matière / Main d'œuvre.....	66
Figure 38.	Découpe des coûts de la partie Main d'œuvre. ....	67
Figure 39.	Découpe des coûts de la partie matières .....	68
Figure 40.	Synthèse des gains par l'application du FIFO en production .....	70
Figure 41.	ATOP .....	75
Figure 42.	Illustration d'une PCU 4000.....	75
Figure 43.	Exemple d'une PPU montée sur une plaque de transport. ....	76
Figure 44.	Image d'une PCDU medium power.....	76
Figure 45.	Illustration d'un LPLC « ouvert » (sans capot scellé) .....	77
Figure 46.	Les produits Thalès dans la fusée Ariane .....	78

## **Abréviations**

ACEC	Ateliers de Construction Electrique de Charleroi
ETCA	Etudes Techniques et Constructions Aérospatiales
EPC	Electronic Power Conditioners
PCU	Power Conditioning Unit
PPU	Power Propulsion Unit
PCDU	Power Control and Distribution Unit
JIT	Just In Time
SMED	Single Minute Exchange of Die
TQM	Total Quality Maintenance
OF	Ordre de fabrication

# 1 Introduction générale de la problématique

Aujourd'hui, l'équation de création de valeur n'est plus  $\text{Prix de Vente} = \text{Prix de Revient} + \text{Marge}$  mais est devenue  $\text{Prix du marché} = \text{Prix de Revient} + \text{Marge}$ . Les entreprises étant obligées par le marché d'appliquer certains prix pour être compétitifs, la variable de l'équation n'est plus le prix de vente mais bien le prix de revient, la marge étant fixée par les actionnaires afin d'atteindre la rentabilité fixée par le contrat lors du transfert de fonds d'investissements.

De ce fait, depuis de nombreuses années les entreprises recherchent des méthodes miracles afin de réduire leur prix de revient pour augmenter leur rentabilité. L'une d'entre elles, le LEAN est apparue en Occident dans les années 80 et est en constante progression depuis lors. Combien d'entreprises multinationales n'ont-elles pas de cellule LEAN afin de supporter les objectifs d'excellence opérationnels ?

Néanmoins ces méthodes d'améliorations de la productivité sont très souvent liées à de gros volumes de production. Peu d'auteurs parlent de l'impact de ces méthodes sur des productions spécialisées, pourtant les seules qui resteront à terme en occident (si l'on en croit la désindustrialisation croissante de l'Europe de l'Ouest menée par la mondialisation des activités industrielles).

La société Thales Alenia Space ETCA, concepteur, fabricant et fournisseur d'équipements pour satellites, s'inscrit dans ce cadre. Les produits fournis sont quasiment propres à chaque satellite. Les volumes de production sont donc moindres que l'industrie standard, et les moyens de productions flexibles communs à différents types de produits.

Le but de ce mémoire est d'analyser si les méthodes LEAN sont aussi efficaces sur des ateliers spécialisés à faible volume de production que sur des grandes séries. Nous détaillerons aussi les adaptations des méthodes s'il y a nécessité.

Ce mémoire présentera tout d'abord la littérature en se concentrant sur des exemples concrets de résultats d'industries similaires à Thales Alenia Space ETCA dans le but d'en tirer les pratiques LEAN à mettre en œuvre sur la ligne CMS.

Nous nous efforcerons de quantifier les gains des améliorations mises en place pour en observer l'impact sur la rentabilité des produits (à travers le prix de revient).

## 2 Introduction de la société

### 2.1 Thales

Le groupe Thales est le leader mondial des systèmes d'information. Ce groupe est présent dans plus de 50 pays et emploie plus de 68000 collaborateurs.

Assez récent, il est né en 2000 d'une fusion entre plusieurs acteurs du domaine militaire : Thomson CSF, Alcatel et Dassault Electronique.

Le groupe Thales a clôturé l'année 2009 avec 12,1 Milliards d'euros de revenus.

Le groupe est présent dans tous les domaines technologiques de pointe tels que la défense, l'aérospatiale, l'aéronautique et la sécurité.

Les activités de Thales sont réparties selon le schéma suivant :



Figure 1. Répartition des activités de Thalès

## 2.2 *Thales Alenia Space*

La division Thales Alenia Space est née d'une joint-venture entre le groupe Thales et le groupe Finmeccanica.

La division possède 11 sites industriels en Europe et 7200 collaborateurs à travers le monde.



Figure 2. Répartition des sites de Thales Alenia Space

## 2.3 *Thales Alenia Space ETCA*

### 2.3.1 Historique



Figure 3. Le bâtiment de Thales Alenia Space ETCA

L'histoire de la société est par contre bien plus ancienne, il faut remonter aux balbutiements du « spatial » pour trouver les racines des compétences développées dans les produits d'aujourd'hui :

- 1950 : Fondation de la division électronique des ACEC.
- 1963 : La filiale ETCA est créée.
- 1989 : Alcatel acquiert la division électronique des ACEC et forme Alcatel Bell-SDT.
- 1996 : Alcatel Bell-SDT et ETCA fusionnent et forment le groupe Alcatel ETCA. La nouvelle société se verra incorporée dans la division Alcatel Space, au vu d'une croissante demande dans le secteur spatial.
- 2005 Alcatel et Finmeccanica se rapprochent et forment une société commune : Alcatel ETCA qui devient Alcatel Alenia Space.
- 2007 : Le groupe Thales rachète Alcatel Alenia Space ETCA et devient donc Thales Alenia Space ETCA.

### **2.3.2 Présentation générale**

Thales Alenia Space est un acteur important de l'aérospatiale :

Il est leader mondial en Conditionnement et Distribution d'énergie électrique à bord des satellites et engins spatiaux. Il est le principal fournisseur d'équipements électroniques à bord des lanceurs ARIANE.

Voici quelques exemples de développements récents :

- Unité de Conditionnement et de Distribution de Puissance pour la constellation Globalstar\_2,
- Unité de Conditionnement et de Distribution de Puissance pour satellites d'Observation de la Terre (PLEIADES), pour missions spatiales scientifiques (HERSCHEL-PLANCK),

Afin de créer des équipements performants voici quelques exemples de technologies spatiales développées

- Composants magnétiques,
- Technologie haute tension (jusque 7 kV),
- Circuits hybrides
- Tests d'environnement et essais électromagnétiques.

La société est intervenue dans plusieurs programmes tels que :

- Ariane,
- HERSCHEL-PLANCK,
- CHINASAT,
- Soyuz ...

Ces clients sont variés. On peut citer notamment :

- Arianespace,
- ESA,
- CNES,
- EADS Astrium,
- Thales,
- SAFRAN...

Quelques 600 collaborateurs travaillent sur le site belge. Vu l'importance des tâches de développement technique et le haut niveau de qualité inhérent aux produits, le poids des ingénieurs dans l'entreprise est prépondérant comme le montre la Figure 4.

Les locaux du site belge sont imposants : 42 000 m<sup>2</sup> dont 22 000 m<sup>2</sup> pour la production et les tests (dont plus de 10 000 m<sup>2</sup> de chambre propre).

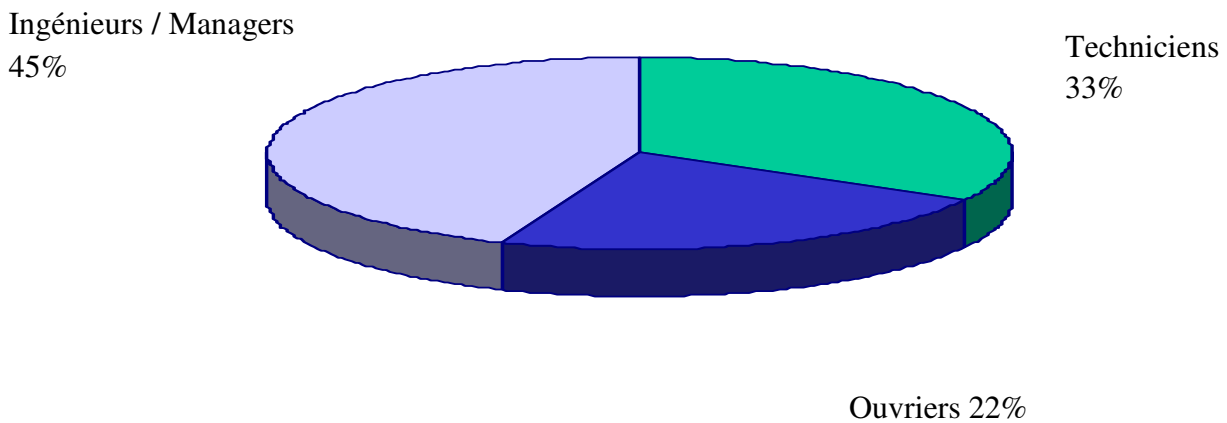


Figure 4. Répartition des qualifications du personnel

La société est accréditée de nombreuses certifications qualités telles que :

- ISO 9001,
- EN 9100,
- AQAP 2110,
- CMM3
- ISO 14001

### 2.3.3 Le secteur d'activité – Les produits

- Les Business Lines

Thales Alenia Space ETCA a développé deux activités

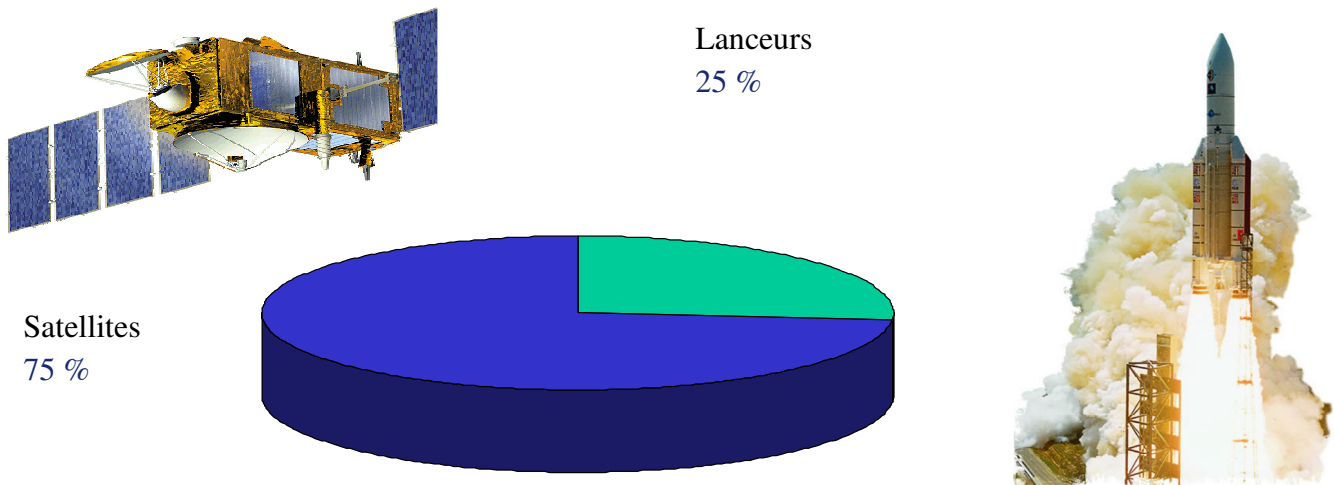


Figure 5. Les activités de Thales Alenia Space ETCA

Le Chiffre d'affaire de 2010 était de 82 millions d'euros.

- Les différents produits des Business Lines Satellites et Lanceurs

ETCA fournit de nombreux produits dont la fonction est de gérer la transmission et la transformation d'énergie. Citons quelques exemples (Une description détaillée des produits de la société est fournie en annexe 2).

- EPC  
L'Electronic Power Conditioner est utilisé pour alimenter des tubes à ondes progressives, nécessaires à l'émission de signaux de transmission de forte puissance pour le dialogue et le transfert d'information avec la Terre.
- PCU  
La Power Conditioning Unit est utilisée pour faire fonctionner le satellite une fois que l'énergie solaire n'est plus suffisante. Son range de puissance est important (6 à 18 KW) ce qui lui permet d'être montée sur beaucoup de satellites géostationnaires.

- PPU

Power Processing Unit .Le but du produit est de fournir la puissance nécessaire aux moteurs de propulsion ioniques, ce qui permet aux satellites qui dérivent naturellement dans l'espace de se repositionner. Ce qui augmente considérablement leur durée de vie opérationnelle.

## **3 Introduction LEAN**

Dans ce paragraphe, nous allons détailler ce mot « Lean ».

Afin de bien cerner le sujet, ce paragraphe est le résultat d'une revue de la littérature ayant pour objectif de synthétiser les dizaines d'années de recherche sur le sujet.

Le but est ainsi de poser le cadre de manière assez précise pour identifier les pratiques utiles à la société Thales Alenia Space ETCA en tenant compte de ces spécificités (ateliers spécialisés, très petites séries).

### **3.1 Historique**

La littérature est particulièrement prolifique en ce qui concerne cet aspect du Lean, de nombreux auteurs s'accordant sur le fait que ce mode de gestion a vu le jour au Japon dans les années 1950.

Le Lean a été développé par Taïchi Ohno chez Toyota. Ce système est en fin de compte le résultat de nombreuses années d'innovation dans le domaine de la logistique et de la standardisation du travail (REF1).

Cette standardisation du travail a été fortement implantée par le fordisme, mais la différence vis-à-vis de celui-ci se fait par l'aspect de travail d'équipe et d'entraide promu par les méthodes LEAN.

### **3.2 Qu'est-ce que le Lean ?**

Le Lean implique de travailler de manière continue à des améliorations à apporter à tout niveau de l'entreprise. En effet même si dès le départ (à l'implantation d'une ligne de production ou lors d'une création d'usine) on pense à tout, il y aura tout de même de nombreux changements qui impacteront la manière de travailler. (REF1).

On peut citer, un nouveau type de produit, une nouvelle machine, un nouveau système de planification, tous ces changements feront dériver le processus. Il sera alors nécessaire de le corriger jour après jour. Il faut dès lors le suivre jour après jour.

### **3.3 Les buts du Lean**

Tout un panel d'auteurs définit le Lean et ses buts. Je n'ai gardé que ceux qui revenaient le plus fréquemment et qui étaient les plus en rapport avec le sujet qui nous concerne, un atelier de fabrication.

Le but du système Lean Manufacturing est l'amélioration de la production de masse. Le produit doit être bon dès le premier coup. (REF1)

L'auteur précise le terme d'amélioration de la production. L'impact global du Lean doit améliorer la production, néanmoins pour ce faire il doit réduire les coûts et maximiser la productivité.

De ce fait quand on parle de réduction des coûts il faut voir l'aspect global des coûts, c'est-à-dire, des achats de matières premières jusqu'à la maintenance des machines.

Le but du Lean donné par Womack et Jones, est la réactivité et la diminution des déchets (REF 2). On résume ses principes ci dessous :

- Identifier les tâches à valeur ajoutée
- Identifier les chaînes de valeur de chaque produit et y éliminer les mudas (Un muda est une forme de gaspillage)
- Rendre le processus le plus fluide possible
- Permettre au consommateur de tirer la valeur (production flux tiré)
- (atteindre la perfection)

D'autres auteurs mettent en avant le LEAN comme un avantage sur la concurrence comme M.Cusumano (REF3)

Ce dernier met en avant les avantages compétitifs dus à la réduction des cycles de production, à l'adaptabilité des lignes de production. Avec ce système les japonais se sont adaptés dans le domaine de l'industrie beaucoup plus (2 fois) vite que les concurrents US. De ce fait les japonais ont été les premiers à mettre sur le marché de grandes innovations, en particulier dans l'automobile.

### **3.4 Quelles sont les conditions favorables pour appliquer le Lean ?**

La majorité des experts s'accordent sur les bienfaits du Lean. Néanmoins peut-on l'appliquer partout et à toutes les sauces ? Afin de répondre à cette question, la recherche a porté sur les conditions jugées favorables à sa mise en place.

Knill (REF4) détermine cinq points nécessaires pour réussir l'implantation du Lean manufacturing :

- Logistique d'approvisionnement solide
- Amélioration continue
- Flexibilité de la production
- Éliminer les mudas
- Politique zéro défauts.

Le Lean est souvent représenté en entreprise avec à sa tête une personne qui porte le drapeau de ce changement. Ce chef de projet a besoin de plusieurs éléments pour réussir dans la mission qu'on lui a confiée. Kettinger et Grover (REF5) en détaille les principaux :

- Support du Top management communiquant la vision de l'entreprise
- Environnement favorable à la proactivité et à l'apprentissage
- Bonnes relations de travail – Pratique d'intégration du personnel
- Partage des connaissances (empêcher le job protection)
- Expérience dans le management du changement.

On notera aussi le contexte des performances japonaises qui ne sauraient être dues qu'à l'application du Lean dans le domaine de la production.

Par exemple M.Cusumano (REF3) montre l'importance du Lean Engineering, avec des lignes de produits dont le chef a la responsabilité opérationnelle et financière. Ce qui lui laisse les mains libres et donc beaucoup de facilités pour améliorer la rentabilité de son produit.

Cela implique que le système soit implanté profondément dans la société, pour qu'elle pense Lean des commerciaux aux financiers en passant par la production (REF1).

Mis à part le projet, d'autres facteurs sont importants pour la mise en place du Lean : R.Shah et T.Ward (REF6) expliquent que les pratiques du Lean et leur implémentation dépendent de la taille de l'entreprise. Plus cette dernière est importante, plus il est facile d'y appliquer ce type de système.

Il y a de même un impact de l'âge de l'entreprise, en effet plus cette dernière est vieille plus il y aura de résistance au changement et donc de difficultés à implanter les méthodes du LEAN.

### **3.5 Quels types d'industries sont concernées**

Quand on parle de Lean, on entend souvent parler de grosses productions. En effet, il est toujours bien plus rentable d'effectuer des améliorations de production lorsque le volume de production est très élevé. Mais est-ce pour autant que l'on ne doit appliquer le Lean qu'aux productions de masse ?

Nombreux sont les exemples (cas d'étude, exposés, « white paper », ...) où l'on présente les résultats du Lean sur de gros volume de production.

Prenons l'exemple (Tiré de REF 7) de l'implantation du Lean Manufacturing dans une entreprise fabricant des cartes électroniques à très grande échelle (500000 / an).

Grâce au peu de contraintes relative à la qualité, au contraire du domaine spatial (domaine d'ETCA), elle a pu mettre en place de nombreux chantiers afin d'améliorer sa compétitivité dans l'optique de baisser les inventaires, qui sont des coûts énormes étant donné le volume de production.

Mais ne perdons pas espoir car avec un peu de recherche, on s'aperçoit qu'il n'y a pas que les industries électroniques de masse et l'automobile qui ont implanté le Lean avec succès (REF1).

Le système peut être appliqué aux industries de masse ou aux industries spécialisées fabriquant des produits spécifiques. Par exemple Lockheed Martin Missile and Space Corporation a pu réduire son temps de cycle et ses coûts de 50 % sur leur ligne de production de satellite.

Voici enfin un exemple des résultats d'un de nos concurrents directs (même produits-marché que Thales Alenia Space).

### **3.6 Les pratiques Lean**

De très nombreuses pratiques existent, et nous ne présenterons ici que celles qui sont les plus souvent reprises dans la littérature ainsi que celles qui ont eu le plus d'impact sur l'amélioration de la compétitivité des entreprises.

Pour faciliter la lecture et la compréhension de ces différentes méthodes, un canevas a été créé. Les pratiques sont issues de REF 1.

<b>Nom de la pratique</b>	<b>Objectif</b>	<b>Contraintes</b>
Takt Time	Fluidifier la production en maximisant le taux d'occupation des machines	Ne produire qu'un seul type de pièce ou adapter les heures des ordres de fabrications.
Line balancing	Equilibrer les moyens de productions pour fluidifier la ligne.	
Lot Unitaire	Réduction des stocks au minimum puisque seul une pièce sera fabriquée à la fois	Difficilement réalisable dans le cadre d'un atelier qui fabrique des équipements diverses.
Equipe autonomes	Réduire les stocks entre postes de travail, ainsi que les délais tout en valorisant le travail.	Résistances au changement de la part du personnel.
Ilots de production	Implantation physique des postes de travail pour appliquer la polyvalence aux opérateurs. Réduire les distances entre les différents postes de travail.	Réimplantation parfois couteuse.
5S Seiri: débarrasser Seiton: ranger Seiso: nettoyer Seiketsu: ordonner Shitsuke: être rigoureux	Aménager un espace de travail pur de tout désordre et en assurer le suivi des règles via des contrôles réguliers afin de prévenir toute dérive. Méthode généralement appliquée en premier dans une entreprise dans le but de faire de la place afin de réorganiser spatialement ces lignes de productions	Immobilisation de la ligne de production pendant le temps réaliser le 5S.
Value Stream Mapping	Cartographier le flux de production en suivant un OF. Ainsi on peut se rendre compte du trajet effectué et des opérations réalisées sur la pièce. Identifier les opérations à valeur ajoutée et sans valeur ajoutée ainsi que les autres mudas.	

Si l'on devait hiérarchiser afin de ne pas tout faire en même temps, ce qui vu le chantier est considérable nous proposons une méthode pour l'atelier de câblage automatique CMS qui a été appliquée en test à un atelier spécialisé (fabrication d'éléments magnétiques) :

En premier lieu standardiser le travail, puis du 5S, et enfin l'élimination des déchets. Ce qui permet de réduire les délais, gagner de la place, et réduire les surplus de stocks locaux. Ensuite au fur et à mesure des problèmes on se sert d'autres méthodes plus compliquées telle que les résolutions de problème afin d'impliquer le personnel.

## 4 Le Lean à Thales Alenia Space ETCA

### 4.1 Introduction

Le projet Lean a débuté en 2010 au sein de la société sous l'impulsion du groupe Thales qui, comme tous les grands groupes mondiaux, souhaite s'impliquer davantage dans ce type de culture d'entreprise.

Nous allons détailler le mode de fonctionnement de ce projet :

Il y a un chef de projet qui répond directement au Directeur Général. Il dispose d'un budget lui permettant de travailler seul sur le Lean toute l'année. Les surplus budgétaires sont utilisés afin de faire venir des consultants pour former l'ensemble du personnel aux pratiques du Lean. Par exemple en 2012, il y a eu des formations sur :

- Lean de manière générale
- Just In Time
- Kanban
- 5 S
- FIFO (First In First Out)
- Animations à intervalle court
- Value Stream Mapping

Vu l'étendu du budget cela ne permet pas à une équipe entière de travailler à ces principes. De ce fait, chaque responsable de production

- Ligne CMS
- Ligne Avionics
- Ligne EPC & PPU

dispose d'une enveloppe de quelques dizaines de milliers d'euros lui permet de faire vivre le projet. Néanmoins elle ne permet pas de rentrer dans le détail.

Pourquoi ces faibles budgets ? Principalement le fait que la société soit dans un contexte un peu difficile (depuis 2010 il y a eu de gros lancement de nouveaux produits s'appropriant une forte part des fonds propres de l'entreprise).

Dès lors l'allocation des ressources est critique et le management doit donc choisir ce qui est le plus rentable pour la société. Le Lean étant un changement de culture, il doit impacter l'ensemble du personnel (ou au moins un service) ce qui requiert un budget très élevé.

Il fallait donc convaincre le top management des bienfaits du Lean dans notre société.

Pour ce faire des objectifs ambitieux ont été définis :

- atteindre 80% de productions fournis à temps
- réduire de 30% les durées de cycle de production
- réduire de 30% les stocks et les encours de production

Notre indicateur On Time Delivery est très en deçà de cette limite des 80 %. Afin de les atteindre, il est nécessaire de réduire les cycles de production ce qui collatéralement réduit les encours en production.

Pour cela, nous avons choisi de procéder de cette manière :

1. Déterminer le périmètre d'application du projet
2. Réaliser un 5S sur l'environnement concerné
3. Cartographier le flux pour identifier les pistes d'améliorations (Value Stream Mapping)

## **4.2 Détail de la Value Stream Mapping**

On retrouve dans la littérature plusieurs méthodes pour cartographier le flux. La majorité s'intéresse au fonctionnement de l'usine dans son ensemble, en ajoutant les sous-traitants. Or nous souhaitons travailler à l'optimisation d'un atelier. Pour ce faire, nous avons fait appel à un consultant (AXIUM Performance) afin de nous aider dans cette tâche.

Nous avons commandé une formation sur la VSM auprès de cette société après discussion par téléphone en spécifiant notre besoin de cartographier le flux d'un atelier.

De cette formation et de la littérature nous en avons retenu les principes suivants :

Le but de la Value Stream Mapping est de créer un flux de valeur au plus juste (c'est-à-dire sans aucun gaspillage). On vise à minimiser certains facteurs comme le nombre d'opérations inutiles (sans valeur ajoutée), la distance séparant les postes de travail, ....

Pour créer ce flux de valeur, il faut représenter ce qui se passe sur le terrain aujourd'hui de manière très précise. La finalité de la démarche est d'établir un plan de déploiement qui permettra de se rapprocher du flux de valeur idéal.

La méthodologie employée est la suivante :

Premièrement choisir un Ordre de fabrication représentatif de la production nominale de l'atelier, point crucial car la VSM doit relever tous les points négatifs du flux de production d'un atelier. Il faut ainsi choisir de suivre un produit très complet (c'est-à-dire, qui passe à travers toutes les étapes de productions possible de l'atelier concerné).

Deuxièmement, une fois ce choix réalisé, il faut aller sur le terrain et relever les différentes étapes de production, les temps de réalisation ou de maturation, les contrôles, les transferts ainsi que la distance parcourue par le produit.

Troisièmement on compile toutes ces informations sur un tableau récapitulatif. Ce tableau sert à être critiqué. Pour cette critique on invitera toutes les personnes concernées par le processus et aussi des candides (sans a priori ni parti pris). Le but est de dégager des pistes d'amélioration afin d'augmenter le ratio entre les opérations à Valeur ajoutée sur celles sans Valeur ajoutée.

N°	Description	Symboles				Données		
		○	→	□	▽	Temps (heures)	Tps délai	Distance (mètres)

Voici ci-dessus un exemple de canevas qui a été utilisé pour l'étude, on y détaille :

**N°** Numéro de l'opération (de transfert, de stockage etc.)

**Description** Simple description de l'opération. On veillera à être suffisamment exhaustif afin de faciliter la critique

**Symboles**

- Signifie opération à valeur ajoutée
- Signifie opération de transfert
- Signifie opération de contrôle
- ▽ Signifie opération de stockage

**Données** Temps : Temps de l'opération (qui est ici un ressenti de l'opérateur)

**Temps Délai** Durée d'une étape de maturation (polymérisation de colles, étuvages de composants)

**Distance** Distance parcourue par le produit (valable uniquement pour les transferts).

Cela donne par exemple :

N°	Description	Symboles				Données		
		○	→	□	▽	Temps heures	Temps délai	Distance mètres
29	ARMOIRE SAS EL 12				1			
30	T		1					30
31	ETAGERE KITTING EL12				1			
32	T		1					1
33	TRI DU KIT			1		0,15		
34	T		1					1
35	ETAGERE KITTING EL12				1			

Comme il est énoncé plus haut un des buts de la VSM est d'identifier les opérations à valeur ajoutée. De ce fait il est important de bien comprendre la différence entre les différents symboles.

Une opération à valeur ajoutée est une opération nécessaire à la fabrication du produit. Elle est donc demandée par le client lors de la commande d'un article.

Par exemple : Une opération d'assemblage de deux composantes d'un produit.

Cette opération est vitale pour rendre le produit final conforme aux attentes du client.

Une opération sans valeur ajoutée est à contrario une opération non demandée par le client pour qu'il obtienne entière satisfaction.

De ce fait, les opérations de stockage, de transfert et même de contrôle ne sont pas des opérations à valeur ajoutée.

Dans le cas des opérations de contrôle, il faut noter que l'on peut employer un ensemble de moyens afin de se prémunir des opérations de contrôle visuel coûteuses. Le but ici, si on n'arrive pas à les supprimer (ou les regrouper), sera de diminuer le temps qu'elles prennent.

On peut imaginer d'utiliser des détrompeurs visuels, (passe, passe pas) qui rendent le contrôle moins fastidieux.

Néanmoins le client final ne paye pas pour faire des visuelles.

Par transfert on entend tout type d'opération de transfert et pas seulement vers le stock du magasin central. C'est-à-dire les opérations où l'on vient poser les pièces en cours de l'Ordre de Fabrication sur une table ou étagère avant qu'elles soient prises en charge pour l'opération suivante.

### **4.3 Chantier pilote**

Afin d'évaluer rapidement les gains de ce type de démarche j'ai lancé un projet d'amélioration sur un atelier de petite taille où le retour sur investissement pouvait être rapidement quantifié.

Ce premier projet pionnier a été lancé en 2012. Son périmètre d'application est l'atelier de fabrication des éléments magnétiques (pierre angulaire de notre design : sans ces composants, pas de puissance ni de transformation d'énergie). Il se situe donc au cœur de notre métier.

Cet atelier a été choisi car il est relativement simple dans le sens où moins de gens, de métiers et de machines sont employés, et que toute amélioration apportée à celui-ci a un impact sur tous les produits de la société. Cet atelier fabrique tous les composants magnétiques utilisés dans nos produits.

Première étape menée conjointement par le chef de projet Lean, réaliser le 5S, ou plus précisément les trois premiers S, les deux derniers n'ont pas été réalisés (voir p19). Néanmoins cela a permis de faire de la place dans l'atelier et de manière plus large, d'impliquer le personnel dans le changement de culture.

La standardisation et les audits ne sont pas réalisés actuellement par manque de personnel.

La deuxième étape a été de mettre en place une réunion hebdomadaire réunissant tous les acteurs qui gravitent autour de l'activité afin de résoudre les problèmes récurrents de qualité sur cette ligne et d'identifier des pistes d'améliorations. Cela a permis un décloisonnement des activités entre services et surtout une meilleure compréhension du métier de l'autre, ce qui est non négligeable lorsque l'on souhaite améliorer un processus.

Troisième étape, la mise en place d'une réunion quotidienne avec les gens de terrain (les opérateurs) afin de traiter leur problèmes et de recueillir leur ressenti sur les nouvelles pratiques mises en place.

Quatrième étape, la réalisation de la Value Stream Mapping de l'atelier.

Ces étapes ont permis de compiler l'ensemble des problèmes de la ligne et de réfléchir aux solutions à adopter. Voici celles qui ont été choisies :

### **Le FIFO**

Le FIFO permet de réduire le délai de fabrication. La VSM montrait de nombreux stocks, et les encours étaient extrêmement élevés, ce qui était dus aux changements de priorités quotidiens. Ainsi une boîte très urgente pouvait être faite à moitié avant qu'elle ne soit plus urgente et de ce fait qu'elle reste dans l'atelier pendant des mois.

Ce qui a un impact sur les délais évidemment mais aussi sur le moral des gens que l'on fait courir pour en fait pas grand chose...

Le système FIFO a été implanté très simplement en apposant sur les boîtes (une boîte = un OF) une étiquette avec un numéro de priorité. C'est toujours la boîte de plus haute priorité qui est prise en charge par les opérateurs. Ainsi on s'affranchit des changements de la planification.

<b>1</b>	OF :
	Date de début bobinage :
	Date de sortie :

Figure 6.

Canevas de départ d'une étiquette FIFO



Figure 7. Illustration d'une étagère limitée en capacité

A noter que l'atelier reste piloté par les priorités de planification.

Ce système a permis de réduire de 53% les délais dans l'atelier, et d'autant les encours ce qui représente un gain de plus de 150 000 euros par an (le §13. détaille plus précisément ce point).

### **Le Kanban**

Le Kanban sur consommables a été mis en place pour réduire les aléas des coûts sur les pièces. La VSM nous montre que les opérateurs pendant leur travail partent régulièrement à la recherche de consommables afin de réaliser leur travail. Ce phénomène est aléatoire puisqu'il dépend du niveau de stock de tel ou tel consommable.

### **La réunion hebdomadaire**

La réunion hebdomadaire a permis de traquer et solutionner tous les problèmes de productions (plus de 100 !) augmentant donc la qualité d'un facteur 2. Elle a aussi permis de mettre à jour les bases de temps alloués qui étaient obsolètes.

### **Résultats obtenus**

Ces actions ont permis de faire baisser de moitié le coût d'une pièce fabriquée.

La productivité a de ce fait elle aussi augmentée d'un facteur 2. L'atelier a vu ainsi son personnel réduit de moitié alors qu'il y a eu une augmentation du volume de production.

Le tableau ci-dessous résume les résultats.

Année	Quantité Produite	Temps Presté	Performance
N	2941	12571,44	4,27
N+1	3562	8003,75	2,25

Figure 8. Illustration des résultats du chantier pilote

PS : La performance est le Temps presté par pièce produite.

Dernière activité, le business développement : un catalogue de produits a été créé à destination des designers en interne afin de faire connaître ce qui était possible de faire ainsi que les coûts et les délais associés (données impossibles à compiler auparavant, tellement nous étions chers vis à vis des fournisseurs externes...).

#### **4.4 Le projet Production Process Improvement**

Fort de ces résultats plus qu'encourageants, j'ai préparé une revue de lancement de projet en les synthétisant afin que l'on me donne les moyens de travailler plus profondément sur le LEAN en se concentrant sur l'activité centrale qu'est l'atelier de câblage CMS.

Le contenu du projet suit ce qui a été dit précédemment, c'est-à-dire, en premier lieu réaliser la cartographie du terrain puis ensuite trouver les méthodes LEAN les plus efficaces pour améliorer les délais et les coûts.

Après que cette revue fût présentée à la direction, cette dernière confiante a donné son feu vert ce qui a permis de démarrer le projet proprement dit.

Ce projet fût baptisé Production Process Improvement. Il a un budget avoisinant les 100 000 euros, valable pour l'année 2013.

Ce projet est présenté dans les chapitres suivant après une brève présentation des activités de la Supply Chain de Thalès Alénia Space ETCA qui permet au lecteur de positionner correctement l'atelier concerné par le projet.

## 5 Description du fonctionnement de l'entreprise

Thales Alenia Space ETCA comprend de nombreux départements, afin d'avoir une vision large et pour comprendre les interactions entre ces activités, ce paragraphe présente la chaîne de valeur de l'usine pour un produit qui inclut l'atelier de câblage automatique CMS.

### 5.1 Chaîne de valeur ETCA

Thales Alenia Space ETCA s'organise en structure matricielle de la manière suivante,

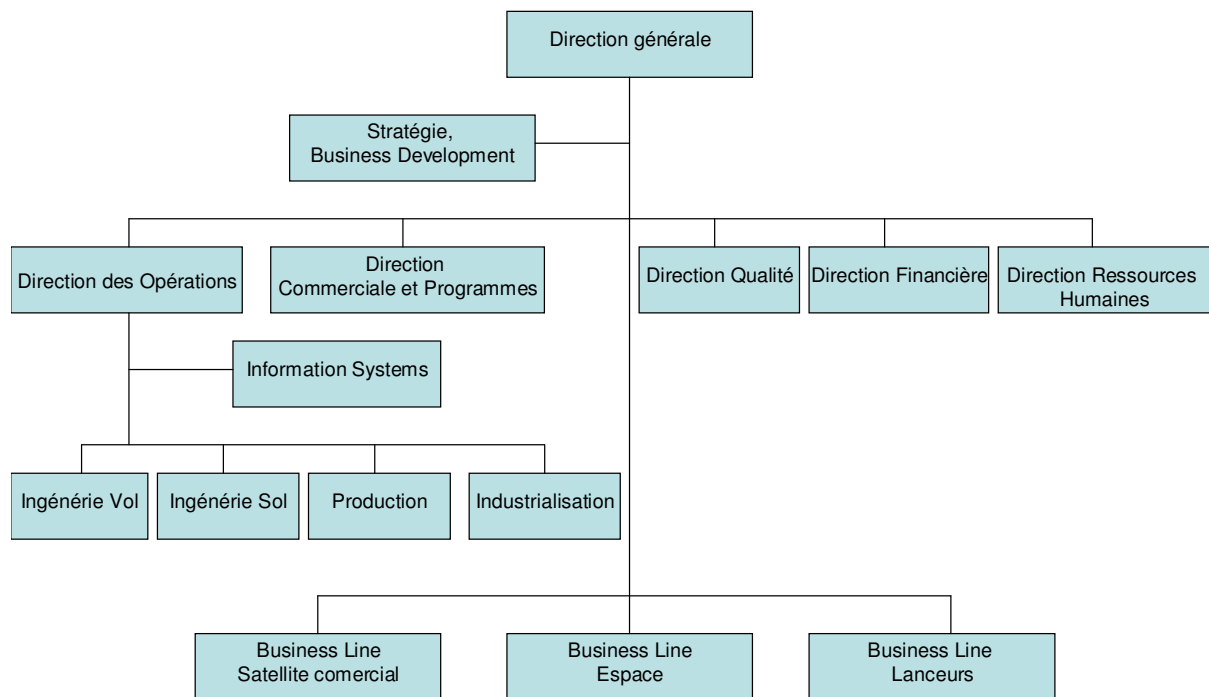


Figure 9. Organisation

Ces différents départements se retrouvent dans la chaîne de valeur de la société où nous pouvons voir plus clairement les interdépendances de ces derniers. Le schéma ci-dessous reprend sur la ligne du temps les différentes activités de l'usine nécessaires afin de livrer le produit.

Les différentes composantes du schéma sont définies ci-après.

Les chefs de produits dépendent du département commercial. Ils prennent des ressources des autres départements pour mener à bien le projet (livrer le produit au client).

# Value Chain TAS ETCA

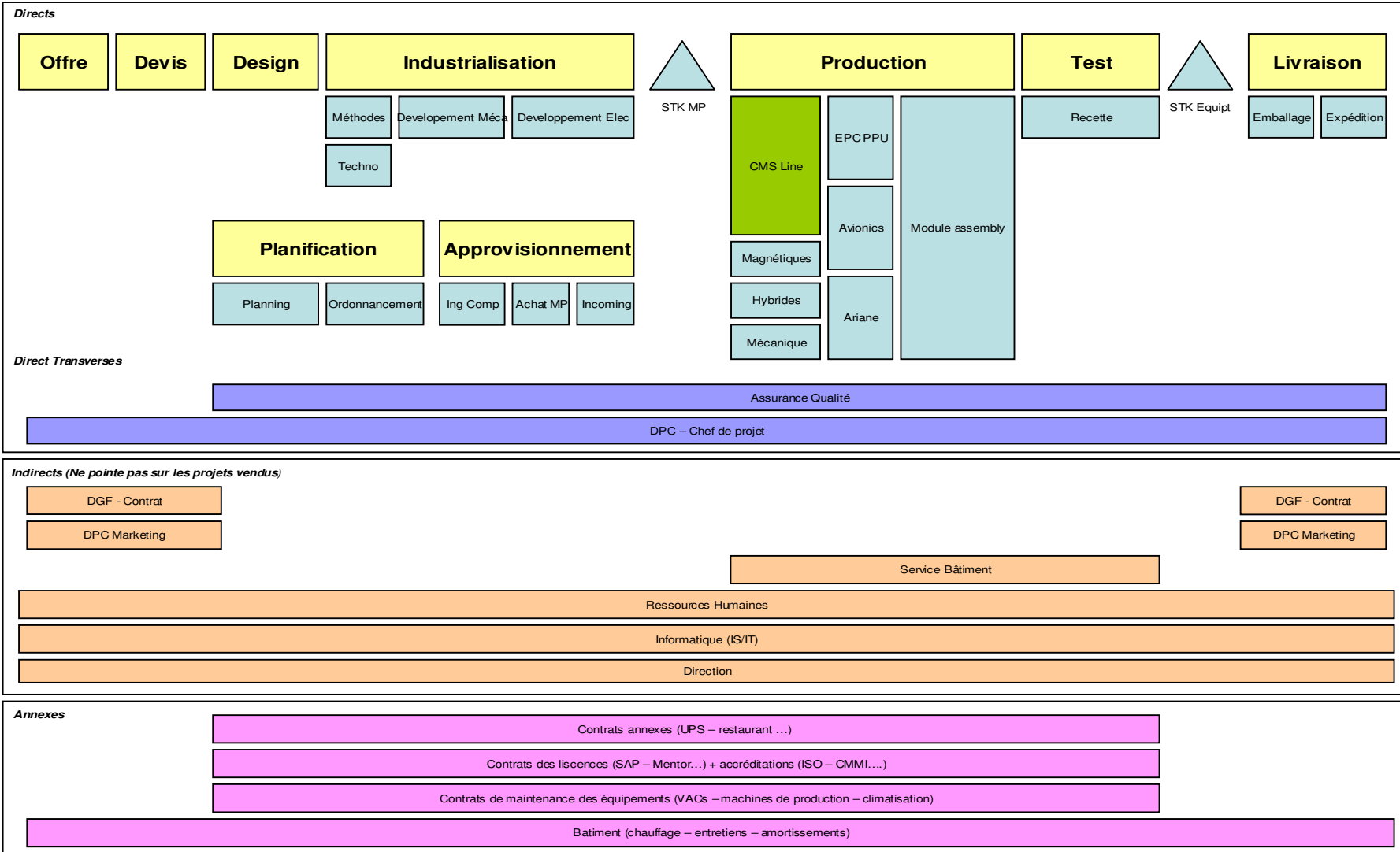


Figure 10. Value Chain de Thales Alenia Space ETCA

### **5.1.1 Offre**

Le processus d'offre est fort d'une équipe de financiers et de commerciaux qui sont à l'écoute des appels d'offres. Dès que l'occasion se présente ils compilent un dossier d'offre afin d'y répondre en accord avec le responsable technique du produit concerné.

### **5.1.2 Devis**

La cellule devis intervient tôt au niveau de l'offre, le but est de déterminer les marges offertes par le prospect. Elle intervient ensuite tout au long du déroulement du projet pour faire les analyses de réalisés.

### **5.1.3 Design (Ingénierie Vol)**

Le service de conception crée l'architecture électrique du produit acheté par le client. C'est ici que l'on modélise électriquement les fonctions achetées par le consommateur. C'est à ce niveau que l'on choisit les composants qui seront utilisés dans le design, que l'on réalise les analyses de fiabilités.

### **5.1.4 Industrialisation**

- Méthodes

Le but du service méthodes est de fournir les documents nécessaires à la production pour réaliser le produit de manière optimum en respectant le plus haut niveau de qualité.

- Technologies (stratégiques, opérationnelles)

Le service technologie a pour but de donner à la production les moyens de réaliser les produits d'aujourd'hui et de demain.

La partie opérationnelle s'occupe de développer et maintenir les outils de production opérationnels. Ce sont eux qui achètent les machines.

La partie stratégique anticipe les besoins des produits futurs en termes de composants. C'est dans ce service que l'on va tester différents composants en les soumettant à des niveaux de stress. Si ces composants réussissent les tests alors ils pourront être embarqués sur les produits.

- Développement mécanique

Ce service définit la structure mécanique du produit. Il réalise aussi la modélisation thermique du produit, afin de respecter les règles émises par les agences européennes.

- Développement Electrique

Cette ressource crée à partir du schéma électrique des concepteurs les cartes électroniques en prenant en compte les règles d'isolations.

### **5.1.5 Planification**

La planification programme les ordres de fabrications en fonction du besoin du client. Il y a différents niveaux de planifications, plus le niveau est élevé plus on se rapproche de la planification des tâches sur le terrain.

- Planification Niveau 1

Le niveau 1 correspond à la vue la plus haute d'un planificateur, elle comprend la date d'expédition du produit, ainsi que la charge globale de toutes les activités de l'entreprise.

- Planification Niveau 2

Le niveau 2 s'intéresse à la production jusqu'aux tests.

- Planification Niveau 3

Le niveau 3 est axé sur les ateliers et leur interdépendance, en particulier après les tests.

- Ordonnancement

Ils lancent les ordres de fabrications en fonction du planning établi. Ils vérifient l'état de stock des composants en magasin afin de lancer au bon moment (sans manquants) les pièces.

### **5.1.6 Approvisionnement**

Appelé aussi service Logistique, il comprend tout ce qui est nécessaire à l'approvisionnement des ateliers de fabrication.

- Ingénierie composant

Le service s'occupe plus particulièrement de la qualité des composants achetés, ils veillent à n'approvisionner que ce qui a été qualifié auparavant par la cellule technologies.

- Incoming

Ce service réalise le contrôle d'entrée de pièces achetées avant la mise en stock.

- Magasin

Le magasin est le fournisseur central de composants que l'on vient assembler pour donner naissance au produit. Il réalise les entrées et les sorties des composants.

- Service achat

Il achète les composants et les moyens de production sous spécification d'achat (contraintes de qualité émises par le service ingénierie composants).

### **5.1.7 Production**

- Les ateliers centraux

Ils désignent les ateliers qui fabriquent les pièces à destination de toutes les lignes de produits.

- La ligne CMS (Components Mounting in Surface)

L'objet est d'assembler automatiquement les composants sur les cartes électroniques. C'est cette partie qui sera développée dans l'étude, nous développerons son contenu plus en détail par la suite.

Quasiment tous les produits à part les hybrides passent par cette ligne de fabrication.

- La ligne hybride

Elle produit des convertisseurs DC/DC vendus seuls ou assemblés plus tard au produit final. La spécificité de la ligne vient du fait que l'on assemble les composants sur des substrats en céramique et non des cartes en époxy pour gagner en dissipation thermique (Gain de puissance).

- La ligne magnétique

Elle produit tous les éléments magnétiques indispensables à la transformation d'énergie nécessaire pour nos produits.

- Les ateliers spécialisés

- Ariane

Cet atelier produit spécifiquement les cartes destinées aux différents produits vendus pour Ariane 5 et la future Ariane 5ME.

- EPC et PPU

Atelier spécialisé dans la haute tension, on y réalise des éléments moulés, spécifiques de ces produits.

- Avioniques

Atelier de câblage manuel pour les autres produits de la société.

- Assemblage

La valeur ajoutée consiste à assembler les différents modules entre eux afin de créer le produit final.

### **5.1.8 Tests**

Le but est de réaliser des recettes de tests électriques et mécaniques afin de juger de la bonne santé des équipements destinés au client.

### **5.1.9 Livraison**

- Emballage

Emballage de nos produits à destination du client. De nombreuses précautions sont prises vu la haute valeur ajoutée de nos produits. Les boîtes sont scellées et des détecteurs de chocs y sont apposés.

- Expédition

Nous expédions par un transporteur spécialisé avec assurance durant le transport. Pour les communs nous utilisons un transporteur professionnel (UPS)

## **5.2 Description de l'atelier Ligne CMS**

On retrouve dans le schéma bloc (Value Chain) en vert l'activité qui nous intéresse plus particulièrement, à savoir la ligne CMS. C'est un pilier central de notre activité de production.

Elle fournit les cartes électroniques assemblées automatiquement aux ateliers de câblages manuels que l'on voit sur le schéma à sa droite (EPC, PPU, Avionics et Ariane)  
 Mais elle prépare aussi les composants électroniques afin de les placer (mise en étuvage, burn in sélectif...) sur les cartes.

De manière synthétique voici les opérations repris de cette ligne de fabrication :

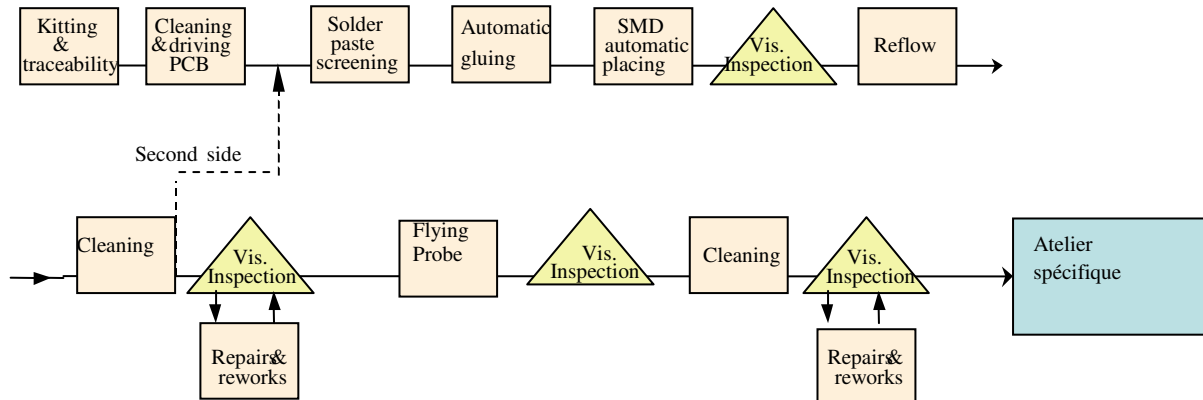


Figure 11. La Ligne CMS

De manière plus formelle et illustrée, cette ligne reprend les sous activités ci-dessous :

### 5.2.1 Préparation des composants

Plusieurs opérations sont réalisées pour préparer un composant électronique  
 Voici une image d'un composant avant d'être préparé :

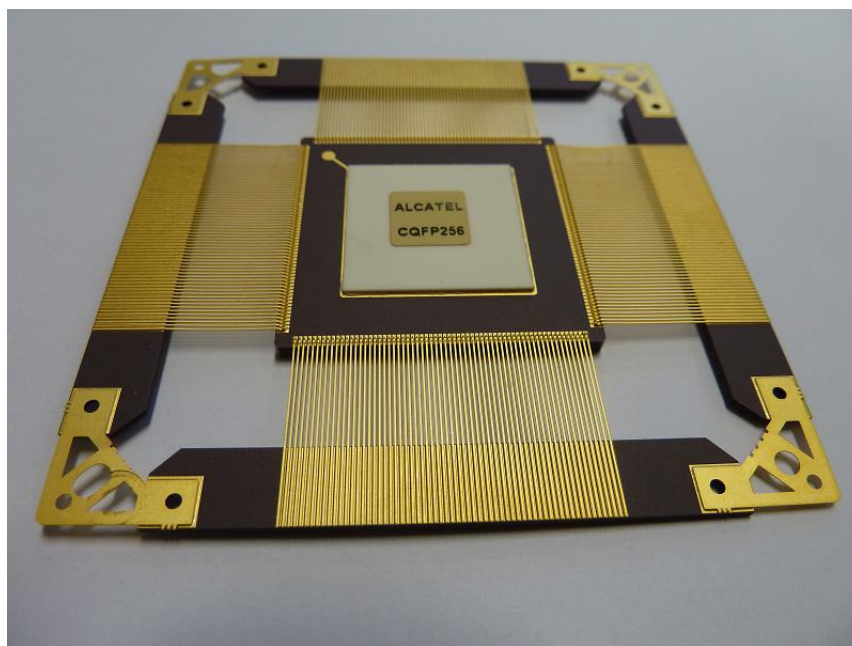
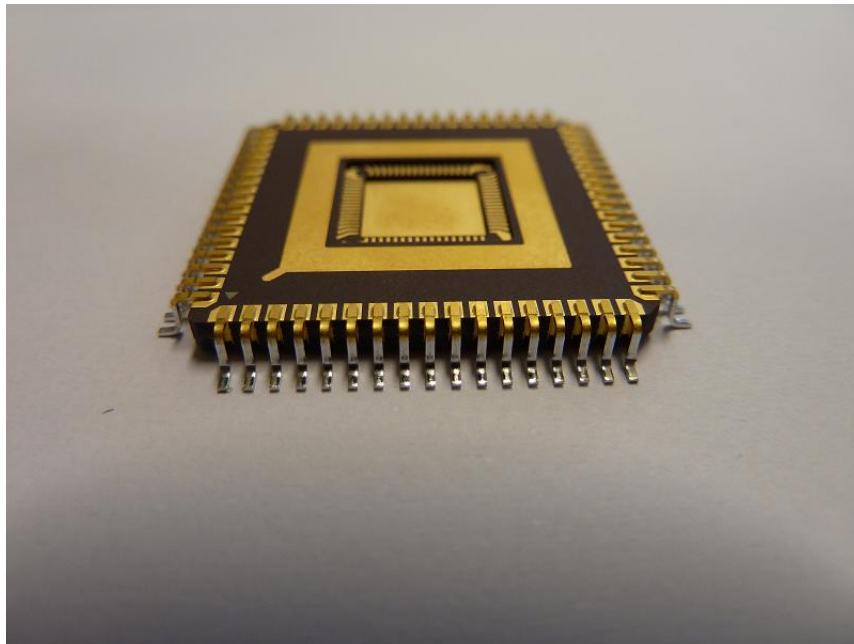


Figure 12. Représentation d'un composant avant d'être étamé/cambré

La première étape est le dédorage puis l'étamage des pattes du composant. Pour ce faire l'opérateur utilise deux bains. L'un pour dédorer, l'autre pour étamer. Avant l'étamage il applique un composant actif qui facilite l'étamage, qu'on appelle le flux.

A la fin de l'opération, on nettoie à l'alcool les pattes du composants afin d'enlever les résidus de flux (matériau corrosif qui peut endommager à long terme les pattes du composant).

La deuxième étape est la coupe des pattes puis le cambrage de ces dernières à l'aide de machines spécialisées. (Les empreintes sur lesquelles on vient brasier les pattes des composants sont définies à l'avance, afin de respecter les dimensions (ne pas dépasser de l'empreinte) des côtes sont prédéfinies à appliquer sur les machines de coupe et cambrage)



*Figure 13. Illustration d'un composant étamé cambré*

Les pièces sont ainsi aptes à être brasées sur le circuit. Opération qui est faite dans l'atelier de câblage manuel Avionic.

### **5.2.2 Chargement en composants de la machine de placement automatique**

Suivant les ordres de fabrications lancés, les opérateurs chargent la machine de placement automatique des composants nécessaires. Cette opération qui à première vue semble anodine est un poste important. Une personne du magasin central est détachée afin de préparer ces kits.

Pour ce faire elle a à sa disposition deux magasins automatiques.



Figure 14. Illustration d'un magasin de stockage de composants électroniques

### 5.2.3 Préparation de la carte

Afin de braser les composants sur la carte, cette dernière doit être préparée. Elle doit être étuvée durant plusieurs heures afin d'enlever son humidité (l'eau se vaporise lorsqu'elle est soumise à une forte chaleur, lors de cette vaporisation le volume augmente, ainsi lors du brasage si la carte n'est pas « sèche » elle peut exploser).



Figure 15. Illustration du four d'étuvage des PCB

Ensuite il faut ajouter sur les empreintes de la carte de la pâte à braser. C'est cette pâte qui lors de l'opération de brasage fondra et fera le lien entre le composant et la carte. Une fois que la pâte est mise sur le circuit elle passe rapidement à l'étape suivante (la pâte sèche, sa durée de vie est 4 heures).

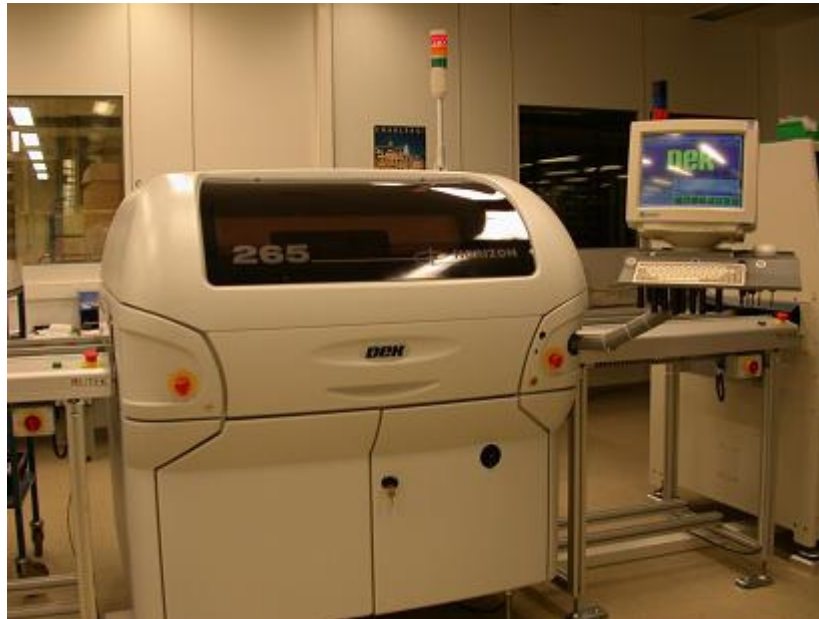


Figure 16. *Illustration de la machine de sérigraphie des cartes électroniques*

#### **5.2.4 Placement automatique de composants électronique**

Une fois la carte préparée, la machine de placement chargée des composants, la carte passe dans la machine. Le procédé est un simple « pick and place », chaque composant est dans un gaufrier identifié par un code barre. La machine lit le code barre, prend le nombre de composants dont elle a besoin et va les placer au bon endroit sur la carte (endroit qu'elle connaît car elle a été programmée pour).



Figure 17. *Illustration de la machine de placement automatique de composants*

### 5.2.5 Brasage des composants

Dès que les composants ont été placés, on les insère dans un four à phase vapeur dont le principe est d'injecter un produit qui a une température d'ébullition supérieure à la température de fusion de l'alliage de la pâte à braser.

Le liquide est injecté dans le four et est directement mis en ébullition, se vaporisant il vient s'accrocher à la surface la plus froide qu'il trouve à savoir la carte, il lui transmet la chaleur, la carte monte donc en température jusqu'à ce que la pâte à braser fonde. Ensuite on évacue le liquide et on laisse la carte se refroidir ce qui solidifie les joints de brasure.



Figure 18. Illustration de l'équipement de production brasant les composants sur les cartes.

### 5.2.6 Nettoyage des cartes

Les cartes sont ensuite nettoyées automatiquement dans une machine puis manuellement afin d'être certain comme pour les pattes de composants d'avoir enlevé tout le flux (le flux est un agent qui facilite le brasage des cartes en accélérant la fonte de l'alliage étain plomb, néanmoins ce dernier est un composant actif et corrosif, il est donc nécessaire de le nettoyer complètement sinon il finira par endommager les cartes électroniques)



Figure 19. Illustration d'une machine de nettoyage de PBA

### 5.2.7 Contrôles visuels

De nombreux contrôles visuels sont appliqués afin de garantir un haut niveau de qualité (les opérations respectent le principe : tout ce qui est caché par une opération suivante est vérifié par un contrôle qualité).

On vérifie par exemple, la première pièce cambrée, si ok alors on pli tout le lot.

On vérifie que les composants ont été bien brasés sur les cartes (de nombreuses contraintes émanent du domaine du spatial), qu'ils ne sont pas absent, ni mis à l'envers et que la brasure soit conforme aux normes du spatial (bonne mouillabilité, pas de trous...).

Pour ce faire les normes du spatial impose l'utilisation de binoculaire de fort grossissement (x40) afin de détecter tous les défauts.

### 5.2.8 Retouches

En fonction de ce qu'aura détecté le contrôle visuel après que les composants soient brasés, des retouches peuvent être nécessaires. Ceci est une spécificité du domaine du spatial. En effet les machines de brasage sont faites pour répondre aux contraintes de l'industrie. Or les contraintes de qualité au niveau du spatial sont bien plus contraignantes, ce qui nous oblige à retoucher de nombreuses brasures pour les rendre conforme.

Cette opération sans valeur ajoutée est du « normal work » à ETCA, c'est-à-dire qu'elle est reprise dans les gammes comme une opération obligatoire.

### 5.2.9 Contrôle électrique automatique

Notre équipement doit répondre aux besoins des clients, pour ce faire nous testons électriquement la carte afin de vérifier par exemple si les résistances ont bien les bonnes valeurs.

Cet équipement de test est un testeur automatique qui se sert de la CAO de la carte (développé à l'industrialisation – Développement Electrique) pour définir les emplacements de test. Le système couplé à la Bill Of Material du MRP permet un croisement de données permettant de spécifier les coordonnées des composants avec leur valeur. La sonde mobile sait alors quel composant tester et quelle valeur il doit avoir.



Figure 20. Illustration d'une machine de contrôle électrique

### 5.2.10 Collage automatique

Cet équipement permet de coller des composants lourds en vue de les braser de manière automatique dans le four à phase vapeur. Le fait de braser en une fois des dizaines de pattes d'un composant complexe est un gain de temps indéniable.

Or sans pré collage les composants lourds tombent lors de leur passage dans le four car ils sont parfois placés sur la face Bottom de la carte. Ce type de composant lourd devient de plus en plus fréquent dans les cartes car ils permettent une plus forte intégration des fonctions logiques ce qui permet de gagner de la place sur la carte.



*Figure 21. Illustration d'une machine de dépôt de colle automatique*

## 6 Value Stream Mapping

Dans ce paragraphe nous exposerons la manière dont a été faite la VSM ainsi que les résultats extraits de cette analyse.

Le détail de la VSM est donné en annexe. Nous n'exposerons ici que les résultats de l'étude.

### 6.1 Choix d'un Ordre de Fabrication représentatif

Pour utiliser tous les processus et machines liés à l'atelier de câblage automatique nous avons choisi d'étudier le cas particulier d'une carte PCDU pour la constellation IRIDIUM.

Cette carte en plus de passer de manière complète à toutes les étapes du processus est aussi un modèle particulier, puisque nous allons fabriquer 48 exemplaires, ce qui est une très grande série pour le spatial (cela correspond à 48 PCDU, donc 48 satellites !).

Les enjeux de la VSM sont alors tout à fait réels, car si nous améliorons de manière conséquente les délais et les coûts, nous aurons une source de rentabilité accrue pendant plusieurs années (ces satellites seront lancés de 2015 à 2017).

### 6.2 Compilation des données

Après nous être rendu sur le terrain nous avons pu compiler les informations récoltées :

On se rend compte qu'il est nécessaire de réaliser 128 opérations différentes afin de fabriquer le produit. Ci-dessous on retrouve l'illustration de la répartition des opérations.

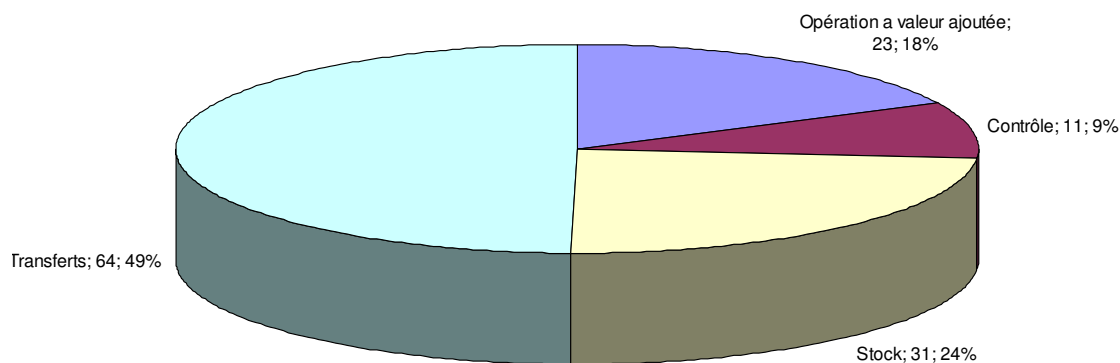


Figure 22. Répartition des opérations du flux initial

Soit :

- 23 opérations à valeur ajoutée
- 11 contrôles
- 31 stocks
- 64 transferts.

On atteint donc un ratio d'opérations à valeur ajoutée de seulement 18%

On se rend compte que la moitié des opérations sont des transferts, et qu'un quart des opérations sont des stocks. Le couple d'opérations réalisé le plus souvent est le transfert vers stock. Ceci est dû à l'implantation non optimale des locaux ainsi qu'aux changements incessants de priorité qui poussent à mettre le travail de côté pour faire passer les priorités.

## **6.3 La critique**

### **6.3.1 De manière générale**

On parle d'atelier de câblage automatique mais la ligne de machines (Sérigraphie – dépôt de point de colle – Placement de composants – Brasage des composants) est loin d'être automatisée. Il y a pourtant des convoyeurs qui relient les machines les unes aux autres mais ces derniers ne sont pas bien réglés (en hauteur par exemple) et ne sont pas connectés au réseau électrique !

Il n'y a donc que des machines qui ne sont pas automatisées entre elles.

On remarque que les postes dédiés à certaines opérations ne sont pas utilisés. Par exemple il y a entre chaque machine de la ligne « automatique » des postes de contrôles visuels non utilisés. L'opérateur préférant prendre la carte, et la déplacer vers un autre poste pour travailler (ce qui engendre délai, et induit un risque si la carte tombe...).

Certains outils onéreux ont été achetés pour faciliter l'utilisation des machines et ne sont pas utilisés, par exemple le TEX (magasin de chargement matriciel qui décuple la capacité de chargement des composants sur les machines de placement) est entreposé derrière la ligne, afin de ne pas gêner le travail des opérateurs...

Par ailleurs l'OF fait beaucoup de va et vient d'un bout de la chambre propre à l'autre, c'est un signe que l'emplacement des différents poste de travail n'est pas optimisé.

### **6.3.2 Par poste de travail**

- Préparation des composants (étamage, coupe et cambrage de composants électroniques)

Jusqu'à trois personnes travaillent en continu sur ce poste de travail. Les opérations sont toutes manuelles avec peu d'automatisations possibles. Néanmoins on note qu'il y a souvent plus de charge prévue que de capacité sur ce poste.

Lorsque l'on se penche sur le fonctionnement de ce poste c'est avec étonnement que les opérateurs ne nous parlent pas tout de suite des opérations à valeur ajoutée plus haut (étamage cambrage...) mais plutôt du tri du kit.

Etant donné que c'est le premier poste c'est ici qu'on le reçoit le kit (boîte qui contient tous les composants nécessaires à la fabrication de la pièce), la première opération est de trier le kit afin d'isoler les composants à cambrer, à étamer. Ensuite ils doivent regarder si des composants ITAR sont présents (les composants ITAR sont des composants sous licence

américaines qui sont interdites à certains pays, il y a donc une série de mesures prises pour s'assurer que ces composants sont bien là où on les attend). S'il y a des composants ITAR, alors ceux-ci doivent être recherchés au magasin central par la personne accréditée.

Le magasin compile le kit devant la personne, ce qui prend du temps (plusieurs dizaines de composants).

On se rend compte que pour l'instant on se prépare à travailler mais on ne produit pas ! On complète le kit.

Ci-dessous une répartition en pourcentage des tâches de la préparation des composants.

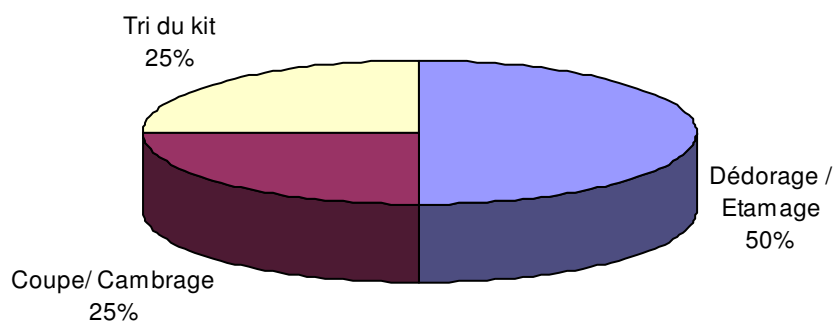


Figure 23. Répartition des tâches de la préparation des composants.

- Chargement en composants de la machine de placement automatique

Les opérations de chargements sont peu optimisées, voici un exemple de ce qui est fait de manière générale.

L'opérateur doit regarder le planning et regrouper ce qui lui semble bon en faisant le tour des OFs à passer sur la ligne, c'est donc lui qui choisit ce qui est le plus apte à passer sur la machine en respectant plus ou moins le planning. Ces opérations sont faites manuellement ce qui rend long les sorties de composants des magasins.

On ne tient pas compte du planning afin d'opérer des regroupements, chose normalement prévue initialement lors de la conception du planning (et du lotissement prévu dans les devis).

Pour charger la machine, l'opérateur reçoit par OF un bon magasin (procédé qui l'autorise et trace les sorties de consommables des magasins sur un n° d'imputation attaché à un projet) ou sont listés tous les composants à sortir du magasin (KARDEX).

Ce bon est imprimé. On passe alors sur une autre machine afin de matérialiser la sortie des composants. On entre ainsi à la main dans le système ce qui est marqué sur le bon magasin, article après article...

On ré-encode ici des données déjà présentes dans le système. Or aucun lien informatique n'a été fait. Ce travail sans valeur ajoutée représente au moins un quart du temps de travail de l'opératrice (variable suivant la taille de l'OF à servir).

Le but de cette matérialisation est d'étiqueter les lots de composants à servir pour la machine de placement (l'étiquetage reprend l'OF, le numéro de composant mais aussi la trace du lot et la quantité).

Ainsi après le placement des composants, s'il en reste ces derniers doivent être rentrés au magasin Kardex sous le même numéro de trace en adaptant la quantité.

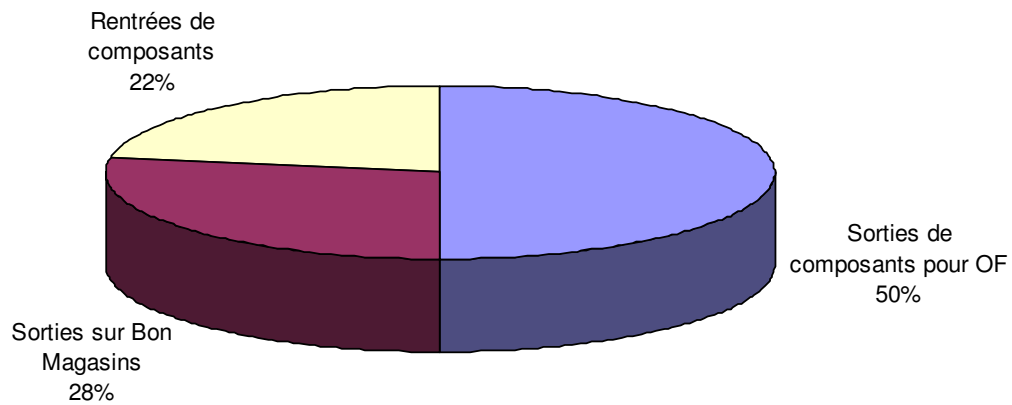


Figure 24. Répartition des tâches du chargement des composants

- Préparation de la carte

Concernant l'étuvage, vu le peu d'opérations réalisées à cette étape (mettre les circuits imprimés dans le four), la seule critique émise est l'éloignement du four vis-à-vis de la production. Vu la taille (petite) de l'étuve elle pourrait être facilement rapprochée.

Pour la sérigraphie, c'est tout autre. Du point de vue de l'éloignement, la machine est intégrée dans la ligne de production avec la capacité de travailler en série à l'aide de convoyeur de circuits imprimés.

Par contre du point de vue opérationnel, la machine a quelques défauts, il y a un problème au niveau de la pression de la raclette (qui dépose la pâte à braser) ce qui génère des erreurs et force à recommencer l'opération plusieurs fois.

D'autre part, lors du réglage en hauteur du circuit imprimé dans la machine, l'opérateur éprouve des difficultés à régler correctement la machine du fait qu'il n'y ait pas d'éclairage à l'intérieur de l'équipement.

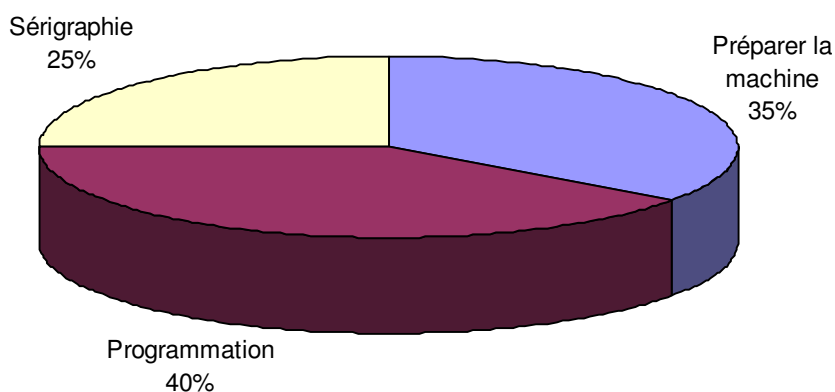


Figure 25. Répartition des tâches de la préparation de la carte

- Placement automatique de composants électroniques

Le travail de terrain montre que les machines de placement automatique semblent peu utilisées (elles sont rarement en fonctionnement). Quand on en parle aux opérateurs on s'aperçoit en fait qu'il faut bien plus de temps pour charger la machine de ces composants que pour le placement de ces derniers.

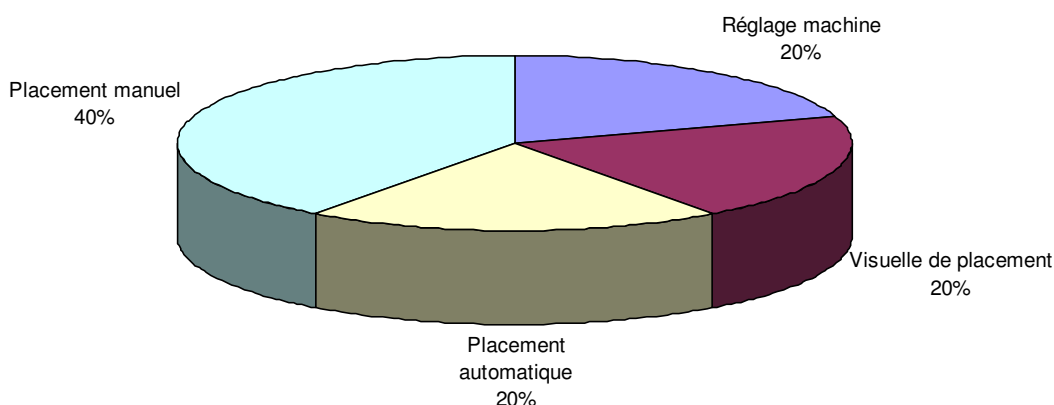


Figure 26. Répartition des tâches du placement automatique

- Brasage des composants

Cette machine n'est malheureusement pas intégrable à la ligne de production. Il ne s'agit pas d'une machine qui peut travailler de manière automatique en étant reliée par des convoyeurs comme le sont la CAMALOT, la DEK et les MYDATA.

Néanmoins cette machine est très proche de la ligne (inférieur à 2 mètres).

- Nettoyages des cartes

La machine bruyante est mise à l'écart de l'environnement de la ligne mais est dans l'environnement de préparation des composants.

Un problème est rencontré fréquemment par les opérateurs lors du placement des cartes électroniques dans la machine. Celle-ci se fait à l'aide d'un panier dans lequel on insert les cartes. Or les dimensions des cartes et des composants présents étant très différents d'une carte à l'autre, il n'est pas rare que l'on vienne blesser les composants pendant cette opération.

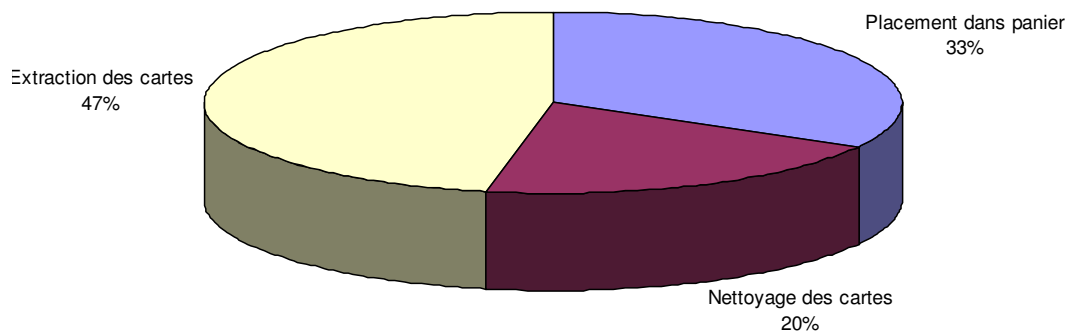


Figure 27. Répartition des tâches du nettoyage des cartes

- Contrôles visuels

Les contrôles visuels sont très nombreux, il y a bien les contrôles demandés par la méthode de fabrication, et puis il y a les autres, faits de la propre initiative des opérateurs qui semblent juger bon de le faire à cet endroit (typiquement en sortie de placement automatique et en sortie de four de brasage).

Pour ce qui est des contrôles prévus, on remarque en discutant avec les opérateurs qu'ils font à chaque contrôle une visuelle complète de la carte ce qui n'est pas spécifié dans la méthode (cette dernière impose de réaliser des visuelles limitées par étapes et non complètes), ce qui augmente les temps prestés de manière considérable.

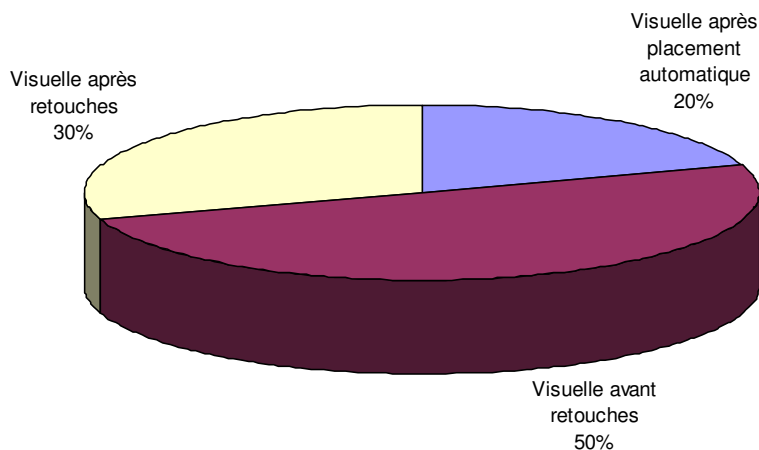


Figure 28. Répartition des tâches du contrôle visuel

- Retouches

A la suite de l'opération de contrôle visuel (après brasage des composants) des retouches sont effectuées là où la qualité n'est pas atteinte (pas assez de brasure, défaut de mouillabilité...).

Or, les retoucheuses sont différentes des opératrices qui réalisent le contrôle visuel, ce qui veut dire que ces dernières doivent interpréter les repères (flèches jaunes, ou rouges suivant la gravité du défaut) laissés par les contrôleuses pour pouvoir corriger le défaut. Cette phase d'interprétation du défaut peut être assez longue.

On peut comprendre que c'est une sécurité d'être contrôlé par quelqu'un d'autre mais c'est aussi une immense perte de temps.

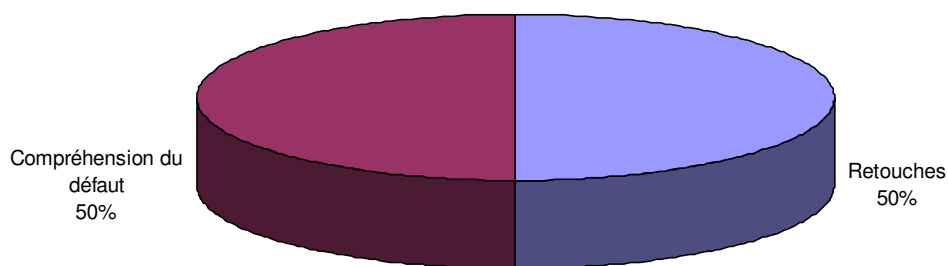


Figure 29. Répartition des tâches des retouches

D'autre part nous avons investigué sur la cause des retouches. Il existe un logiciel mis en place en septembre 2012 « CQVISU » qui permet d'associer les défauts (manque de mouillabilité, excès de brasure...) aux composants qui doivent être retouchés.

En extrayant les données (6mois de production) le résultat est assez frappant (tous les détails en annexes):

- Près de 18000 retouches en 6 mois.
- Le défaut de mouillabilité est prépondérant (95% des défauts)
- 14 articles représentent plus de 85% des défauts.
- 5 articles représentent plus de 60% des retouches.

Sur ces 14 articles, 13 proviennent du même duo de fabricants (Kyocera/Kemet).

- Collage automatique

L'équipement étant nouveau (acheté pour les besoins du projet Iridium), nous avons peu d'expérience à l'utilisation. Néanmoins la machine est intégrée à la ligne automatique.

- Contrôle électrique automatique (via machine Flying Probe)

La VSM fait apparaître que l'on ne fait pas que du test électrique avec cette machine. Etant équipé d'une caméra, le technicien zoom pour réaliser du contrôle visuel (opération non prévue par la méthode, et pas repris dans les gammes) alors qu'il y a un contrôle visuel derrière.

Il y a donc là aussi un contrôle visuel caché (aux yeux du processus)...

De plus en creusant un peu on s'aperçoit qu'à l'image de la MYDATA cette machine est souvent à l'arrêt car une bonne partie du temps de travail de l'opérateur est de préparer le passage de la carte dans la machine.

Cette partie que l'on appelle le Non Récurrent représente environ 40 % des charges de la machine est toujours présente à la première carte. Cela cause des problèmes car ce travail est difficilement planifiable puisqu'il dépend directement de la complexité de la carte, et seul le technicien peut se rendre compte du travail à effectuer. Ainsi si il y a plusieurs « premières » cartes en série cela peut engendrer des retards non négligeable (cet appareil étant un passage obligé pour toutes les cartes).

En détaillant les opérations de la partie Non récurrente, on observe (voir graphe ci-dessous) que le passage de carte (la valeur ajoutée) ne représente que 6 % du non-récurrent.

### Répartition Tâches Non Récurrents

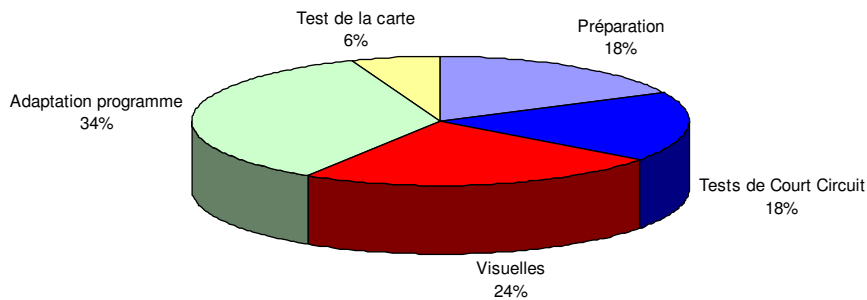


Figure 30. Découpe des tâches non récurrentes du contrôle électrique

Le reste des opérations sert à préparer le travail (la liste exhaustive se retrouve en annexe). On retrouve les contrôles visuels précédemment cités, puis la préparation qui génère le programme de commande de l'appareil.

Les tests de court-circuit quant à eux sont des artefacts générés par la compilation du programme de test (génération automatique de court-circuit qui n'en sont pas, il faut donc déboguer à la main, ligne par ligne le programme de test).

Enfin on trouve l'opération d'adaptation du programme de test où là aussi on modifie ligne par ligne le programme pour l'adapter à la particularité de chaque composant.

Toutes ces opérations arrivent au dernier moment (pendant la phase de production)...

## **7 Pistes d'améliorations**

Avec les principales remarques synthétisées plus haut on observe qu'il y a deux voies d'améliorations possibles, nous détaillerons tout d'abord celles qui peuvent être appliquées à l'ensemble de la ligne de production (qui s'apparente à de l'amélioration de la gestion de la production). Puis les voies d'améliorations qui concernent chaque poste de travail.

### **7.1 Solutions applicables à toute la ligne de production**

#### **7.1.1 Polyvalence Opérateurs**

La polyvalence permettrait qu'un opérateur prenne en charge plusieurs opérations qui se suivent, ce qui limiterait les stocks en production et améliorerait le délai de fabrication (cela diminuerait les transferts vers stocks).

#### **7.1.2 Îlots de production**

L'implantation d'îlots de production afin de renforcer la polyvalence et d'éliminer physiquement les stocks entre postes de travail. Cela limite de manière forte les distances entre les différentes opérations en rapprochant les étapes de production.

#### **7.1.3 Kanban sur consommables**

Le kanban utilisé sur les consommables permettrait de gagner du temps en préparant les kits à l'avance. Cela évite les allers retours non prévus au magasin central pour rechercher des consommables manquants. Ce point est en effet particulièrement vrai pour tout ce qui est : fil étain plomb, tape de fixation, coton-tige...

#### **7.1.4 First In First Out**

Le FIFO permettrait outre le fait de réduire drastiquement les lead time (sur l'atelier magnétique les délais ont été divisés par deux) de travailler sur un nombre limité de pièces, ce qui diminuerait les encours et a donc un impact sur la trésorerie.

La solution est extrapolée à l'ensemble de la production §14. Pour l'atelier CMS la liste des aménagements nécessaires est détaillée ci après.

#### **7.1.5 Just in time**

Amélioration conséquente du flux du produit en production mais malheureusement l'activité spatiale nécessite de travailler par lot distinct pour des raisons de qualification de lot. Ce qui freine énormément la mise en place du système (les lots ne pouvant pas être scindés, il n'est pas possible de lotir avec un nombre fixe d'heure pour un poste de charge).

Ceci sera toujours aléatoire même si l'on met en place la moitié des OF en JIT.

Les améliorations retenues sont donc, dans un premier temps :

- Polyvalence opérateurs
- FIFO
- Kanban sur consommables

Puis dans un second temps (une fois la polyvalence des opérateurs avérée)

- Ilots de production.

Pour appliquer ces méthodes il est nécessaire de réaménager géographiquement les postes de travail.

Le schéma ci-après représente l'implantation actuelle des différents postes de travail.

Cette nouvelle implantation est proposée dans le but de mettre en place les améliorations retenues, en particulier le FIFO avec l'emplacement des étagères.

Les différentes actions pour passer de l'implantation actuelle à la future ont été les suivantes :

- Positionner les postes de travail dans l'ordre du flux matière (diminuer les allers retours à travers l'atelier).
- Déménagement des équipements n'appartenant pas à la ligne (mis en évidence par un 5S réalisé à l'atelier)
- Les zones de stockage, où l'on entreposait les ordres de fabrication étaient présentes à chaque poste de travail. Afin d'améliorer la visibilité elles ont été remplacées par des étagères First In First Out. Ces nouvelles étagères ont été placées de manière à ce qu'elles soient visibles de tous en particulier de l'extérieur de la chambre. Il n'y a donc plus d'étagère de séparation entre les différents postes de travail.
- Le bureau du chef d'atelier a été redimensionné à ses besoins, les armoires ont été enlevées lors du 5S.
- La zone de stockage des composants (qui sert à approvisionner les machines de placement automatique) a été réaménagée afin qu'il n'y ait plus de table de travail entre les magasins (Kardex) et les machines de placement. Un ensemble de poste a pu être supprimé grâce à l'informatisation des bons magasins.
- Le poste de travail de préparation des composants (coupe et cambrage) a été déplacé et l'on a augmenté sa capacité au niveau de l'étamage (qui était un goulot d'étranglement). Elle a été placée juste à côté de la zone de kitting étant donné que c'est la première opération réalisée après le servi du kit.
- La zone de contrôle visuel et retouche a été adaptée (l'épi d'une capacité de 6 personnes a été transformé en épi de 4) dans le but de créer un couloir de passage suffisamment éloigné des postes de travail des opératrices qui étaient dérangées par le flux constant de personnel dans leur dos.
- La zone d'arrivée des kits initialement au centre de l'atelier a été placée à l'arrière de l'atelier où le servi des kits est beaucoup plus aisé, il ne dérange pas ainsi les gens et le risque d'égarer un ordre de fabrication est limité du fait du cloisonnement de la nouvelle zone.
- Toutes les machines et hottes servant au nettoyage ont été concentrées au même endroit (proche de la machine de nettoyage automatique) pour créer une zone de nettoyage où ces machines (bruyantes) sont rassemblées.
- Le contrôle électrique automatique est placé en bout de ligne afin de suivre le flux du produit.
- Sur la ligne automatique on a supprimé les postes de travail de visuelles qui étaient redondants car déjà présent sur la ligne même. Ainsi on crée une zone plus propre où les magasins sont directement en face des machines de placement automatiques. De

même, la machine de brasage est déplacée en fin de ligne automatique (derrière le placement automatique).

- Le 5S a permis de gagner énormément en surface, il est donc possible d'installer le câblage manuel de la ligne de produit avionique. Ce rapprochement réduira à lui seul de 2 semaines les délais de fabrications de cartes, tout en économisant de la surface en chambre propre (climatisée et très propre, donc chère à l'entretien).
- La capacité du SAS a été augmentée pour tenir compte du nombre de personnes supplémentaires dans cette nouvelle implantation.

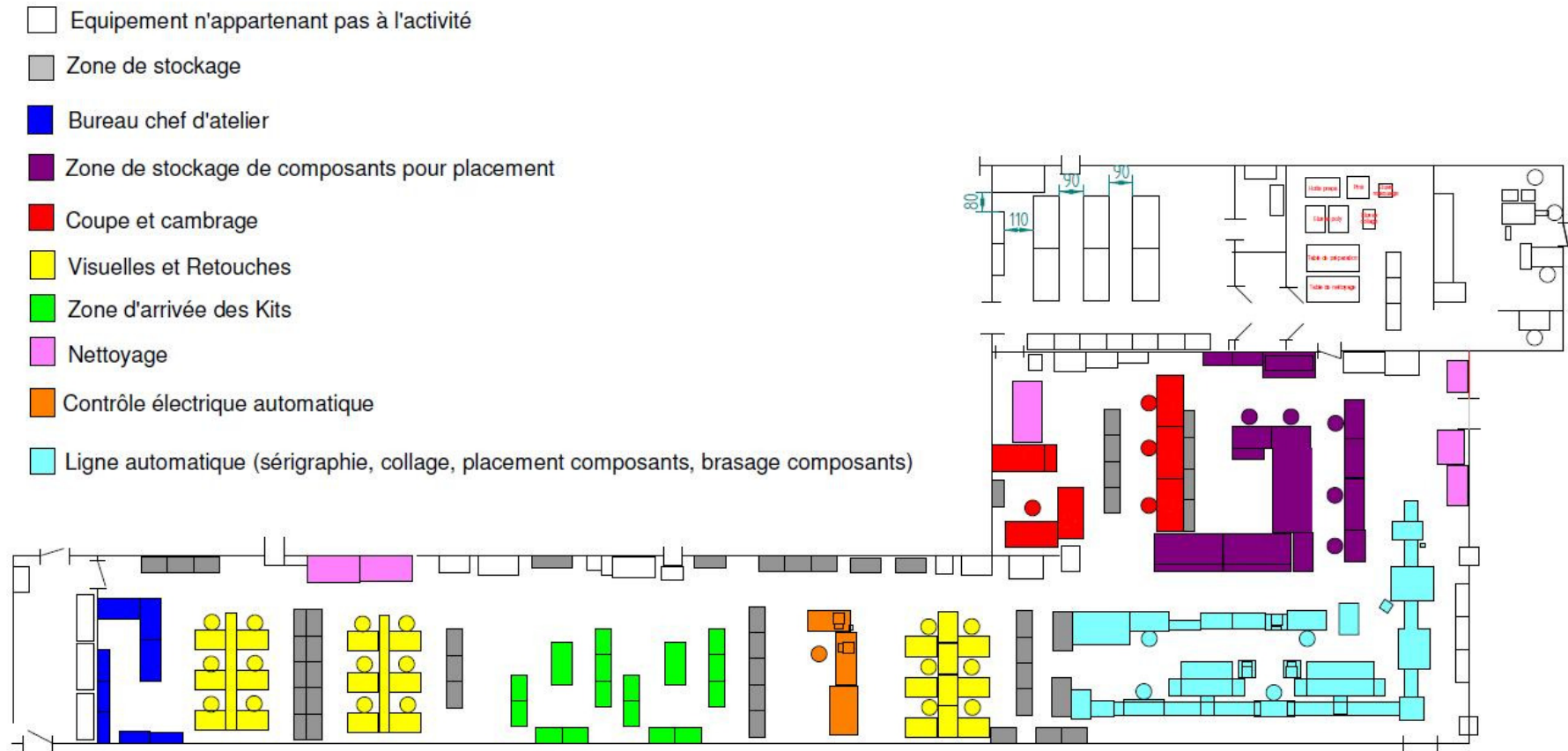


Figure 31. Schéma d'implantation actuel de la ligne CMS

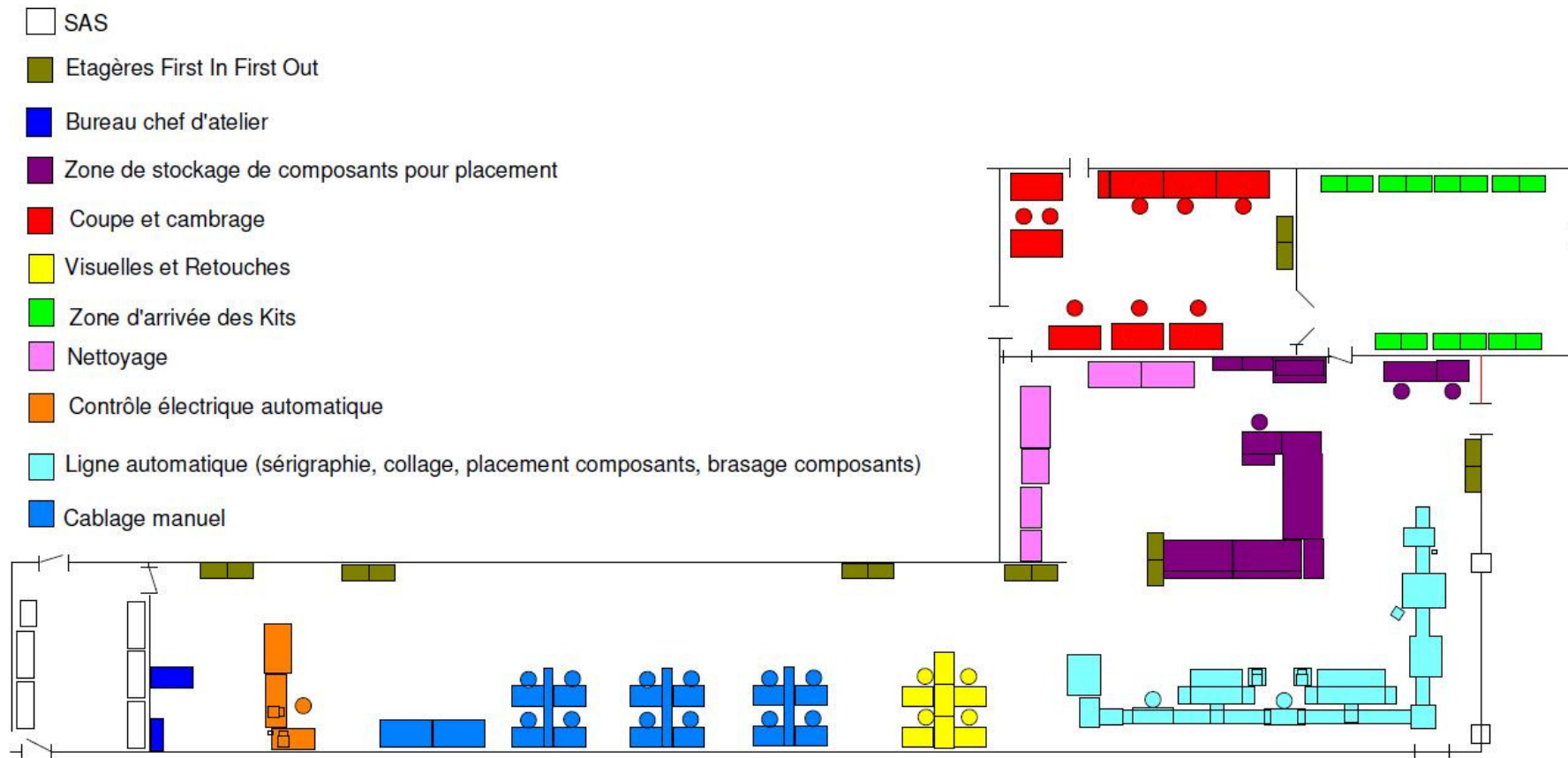


Figure 32. Plan de la nouvelle implantation

## **7.2 Améliorations apportées aux postes de travail**

### **7.2.1 Préparation des composants**

Plusieurs actions sont envisageables afin de rendre le travail (en particulier le triage du kit) beaucoup plus simple.

**Action 1** Placer une armoire contenant les composants ITAR au magasin afin d'éviter de perdre du temps lorsque l'on a besoin de ces composants ce qui revient à anticiper le servi des ITAR dans une armoire prévue à cet effet.

**Action 2** Pour le tri des composants à étamer, cambrer, les informations peuvent être enrichies dans Cincom afin que le magasin puisse identifier ces composants. Ainsi on pourrait compartimenter la boîte contenant les composants d'un OF par type d'opération à effectuer.

### **7.2.2 Chargement de la machine de placement automatique**

**Action 3** On envisage une automatisation logicielle pour impression des étiquettes une à une afin de gagner du temps dans la préparation des kits. Comme dit précédemment, les données étant déjà présentes dans le système on peut éviter à l'opérateur de faire l'opération de recopiage des données sur l'étiquette.

**Action 4** Créer des magasins préchargés des composants les plus fréquemment utilisés pour les produits avioniques. Créer des magasins préchargés par type de produits pour les lanceurs.

### **7.2.3 Préparation de la carte**

**Action 5** Ajouter un éclairage interne permettra de gagner en temps et en confort d'utilisation de la machine.

Le deuxième problème listé (défaut de pression de la raclette) est apparemment rédhibitoire de la machine et même le support du fabricant ne nous a pas aidés à résoudre ce problème.

### **7.2.4 Placement automatique de composants électroniques**

**Action 6** Mise en service du TEX (augmentation de la capacité de chargement des machines de placement). Une fois mis en place il pourrait servir de zone de stockage des composants les plus utilisés ce qui limitera les chargements et déchargements.

### **7.2.5 Brasage des composants**

La machine répond au besoin et mis à part quelques dysfonctionnements, elle fonctionne correctement. Un gain pourrait être envisagé par l'achat d'une machine qui puisse être mise en ligne. Or ce type d'investissement se rapproche des 200 000 euros.

### **7.2.6 Nettoyage des cartes**

**Action 7** Adaptation du panier. Les cartes sont empilées verticalement dans un panier en acier, elles sont séparées par des rangés de fins cylindre dont les bords blessent les

composants. L'idée serait d'arrondir les bords de ces cylindres et de fabriquer un autre panier avec des rangées plus espacées pour insérer plus facilement les cartes dans le panier.

### **7.2.7 Contrôles visuels**

**Action 8** Alléger les contrôles visuels tout en gardant la couverture de contrôle. De ce fait on supprime certaines opérations visuelles qui sont redondantes. Lors de l'étude un compartimentage des opérations visuelles a été essayé (ex : première opération visuelle : les composants montés en surface, deuxième opération visuelle : les piqués...). Or nous n'avons pas vu de baisse des temps prestés, les opérateurs travaillant par habitude, et refaisaient le travail en entier. Il est donc nécessaire de supprimer des étapes de contrôle visuel dans le processus.

### **7.2.8 Retouches**

**Action 9** La polyvalence entre les postes de contrôle visuel et retouches permettra de forts gains de productivité.

**Action 10** Proposer d'autres composants moins sensibles à l'oxydation permettrait de réduire le temps passé à effectuer les contrôles visuels après retouches, ainsi que le temps de retouches.

### **7.2.9 Collage automatique**

Comme expliqué précédemment, la machine est en service depuis peu, et il n'y a pas aujourd'hui d'amélioration à envisager.

### **7.2.10 Contrôle électrique automatique**

En travaillant à améliorer le non récurrent, on pourrait réduire considérablement les risques de dérives du planning ainsi que les opérations à non valeurs ajoutées.

Pour cela deux actions sont envisageables :

**Action 11** Supprimer la visuelle redondante vis-à-vis des vrais contrôles qualité visuelles

**Action 12** Remplacer la suite logicielle vieille de 15 ans qui génère des opérations sans valeur ajoutée. La solution de préférence consiste à favoriser l'intégration logicielle de la suite qui sert à l'industrialisation à dessiner les circuits imprimés.

De ce fait, si on commande un logiciel chez le fournisseur (VALOR), il est alors possible de ne plus passer par le logiciel de la machine et de directement se servir des données.

On gagne donc en temps de travail puisqu'on ne passe plus par le logiciel de la machine et on gagne en intégrité des données puisqu'on travaille avec la même suite logicielle sur toute la chaîne (Industrialisation – Production).

## **7.3 Différences avec l'atelier pilote**

Au vue de la cartographie du flux on peut remarquer certaines différences avec le chantier lancé au niveau de l'atelier magnétique.

Tout d'abord, un nombre d'opérations supérieur (deux fois plus d'opérations en moyenne suivant le type de produit fabriqué). Puis on remarque une complexité du flux plus marquée dans cet atelier puisqu'il y a un plus grand nombre de produits fabriqués sur cette ligne.

Enfin, et je pense pour ma part que c'est le point le plus important, la ligne est constituée de nombreuses machines de production avec des temps de préparation.

Ce qui n'était pas le cas dans l'atelier magnétique, qui lui, n'est quasiment composé que de personnel.

#### **7.4 Points communs avec l'atelier pilote (général à l'usine)**

Malgré les différences citées il y a aussi de nombreux points communs dans le fonctionnement des ateliers.

On notera la planification par poste de travail, ce qui nuit à l'avancement des ordres de fabrication, le planning étant non figé (il évolue constamment) on se retrouve très souvent à courir pour faire avancer d'une étape la fabrication en la laissant de côté pendant plusieurs semaines ensuite.

On remarque aussi la redondance des contrôles qualité, par méconnaissance de l'ensemble de la chaîne de fabrication (l'opération de contrôle visuel aurait été faite plus tard durant le processus). Cela souligne le manque d'encadrement de terrain par les services supports qui auraient dû se rendre compte de ces écarts.

Car si on a le temps de faire plus que ce qui est demandé, c'est que le temps alloué pour l'opération a été mal calculée.

Une des difficultés rencontrée afin de mettre en place un système de flux tiré est l'équilibre des temps alloués des OFs pour calculer le takt time des opérations. Cette étape qui est au centre du Just In Time ne peut être réalisée à ETCA du fait de la trop grande diversité des produits.

Or cette diversité est nuisible au point de vue processus, mais il faut voir plus loin. Les activités sont organisées par projet avec pour chaque projet un flux de fabrication bien défini. Personne n'assure la cohérence des flux de fabrication des différents produits. Il se peut alors que pour un même produit réalisé par deux équipes différentes on voit doubler le nombre de contrôles visuels.

## 8 Value Stream Mapping optimisée

Avec les solutions détaillées précédemment, il est possible maintenant d'optimiser le processus de fabrication. Si nous simulons en recréant une cartographie de flux prenant en compte les différentes améliorations listées précédemment, nous réduisons de façon significative les opérations de stocks et donc de transfert vers stocks.

La VSM détaillée est reprise en annexe.

Nous remarquons qu'il n'y a plus que 82 opérations nécessaires à la fabrication du même produit au lieu de 128.

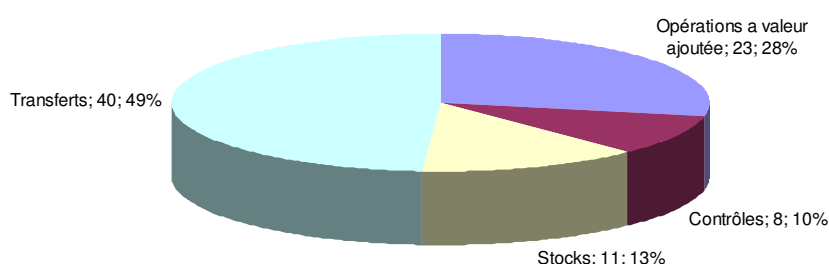


Figure 33. Simulation de la répartition des opérations

Soit :

- 23 opérations à valeur ajoutée
- 8 contrôles
- 11 stocks
- 40 transferts.

On atteint donc un ratio d'opérations à valeur ajoutée de 28%.

Si l'on compare la VSM initiale et celles portant les améliorations on peut observer une nette chute des opérations sans valeur ajoutée comme le détaille le tableau ci-dessous,

	VSM initiale	VSM améliorée	Ecart (%)
Opération a valeur ajoutée	23	23	0
Contrôles	11	8	-28
Stocks	31	11	-65
Transferts	64	40	-37.5
Total	128	82	-36
Ration Valeur ajoutée	18%	28%	+10

Figure 34. Tableau de synthèse des améliorations sur la cartographie de flux

## **9 Affectation des coûts à ETCA**

Afin de valoriser les bénéfices des actions d'améliorations qui sont proposées par le LEAN, nous devons trouver un moyen de redistribuer les charges et coûts sur les produits.

En effet le Lean n'agit pas uniquement sur le personnel de production, mais aussi sur la maîtrise (contremaître, chef d'atelier) ainsi que sur les activités annexes (service méthodes et technologies, bâtiments, informatique...).

Or le temps presté par ces différents services est valorisé de manière différente. Nous allons en expliciter ci-dessous les différents moyens.

### **9.1 Les différents moyens d'affectation des coûts**

#### **9.1.1 Ordres de Fabrication (OF)**

Les ordres de fabrications engendrent des gammes. Ces gammes sont des feuilles reprenant différentes informations telle que :

- L'opération à réaliser
- L'imputation sur laquelle le travail sera affecté
- Le temps alloué

Les opérateurs de production scannent la feuille de la gamme qui correspond à l'opération qu'ils vont réaliser. Le logiciel enregistre ce temps ainsi que le numéro d'agent de l'opérateur. Une fois le travail terminé l'opérationnel scanne de nouveau sur l'opération de la gamme afin de clôturer cette opération. Le temps passé est ainsi retranscrit dans un logiciel ERP appelé CINCOM qui permet de suivre l'avancement de la production.

Chaque OF est lié au projet qui en a émis le besoin. Ainsi à la fin d'un projet on peut retrouver tous les OF qui ont été émis par un projet et analyser le réalisé.

#### **9.1.2 Les systèmes de pointages pour employés**

Pour la majorité des autres employés qui ne travaillent pas en production, un autre outil permet d'affecter les heures prestées aux différents projets. En interne, il se nomme Timesheet. Chaque employé peut rentrer le numéro du projet sur lequel il travaille afin d'y affecter les heures prestées.

Sous chaque projet, il y a différents postes de pointages correspondant à différentes activités. Nous les nommons DDM.

Ainsi chaque activité peut être prestée à sa juste place sur le projet. Ce qui facilite le suivi de projet pour les chefs de projets.

#### **9.1.3 Les indirects**

Les indirects sont les personnes qui interviennent en support de la production, donc sur la quasi-totalité des produits. C'est le cas du service bâtiment.

#### **9.1.4 Les clefs de répartitions**

Afin de faciliter le travail, quelques personnes jouissent d'un droit particulier. C'est-à-dire qu'ils n'ont pas à pointer leurs heures mais ces dernières sont redistribuées en direct sur les

projets grâce à une clef de répartition définie par les business analysts. Ils n'apparaissent pas en tant qu'indirects au niveau comptable mais bien en directs.

## **10 Modèle de découpe des coûts de la ligne CMS**

En première étape, avant de parler de rentabilité des produits il convient de bien valoriser l'activité de la ligne CMS, nous avons récolté des données puis les avons analysées.

### **10.1 Récolte de données**

L'idée est de valoriser l'activité de la ligne CMS en prenant en compte le temps passé par les différents intervenants sur cette activité.

L'approche a été de séparer centre de frais par centre de frais, les différentes personnes intervenants sur la ligne CMS puis d'extraire le temps passé sur l'activité par les différents intervenants suivant les moyens mis à notre disposition.

Pour les ouvriers (ceux qui pointent sur OF avec un numéro d'agent). Nous avons extrait à l'aide d'une macro les OF qui sont passés sur la ligne CMS depuis le début de l'année 2012 jusqu'au 27 novembre 2012.

La manipulation a été celle-ci :

On filtre les OFS dont les gammes contiennent le poste de charge 12SMT (poste de travail pour la machine MYDATA, point central immanquable) et l'on ressort toutes les personnes qui ont travaillé sur ces OFS.

Suivant les personnes et les postes de charges nous retrouvons la répartition des coûts des ouvriers sur la ligne depuis le 01/01/2012.

Pour les services supports (Méthodes, Technologies), nous avons procédé d'une autre manière.

Pour les employés c'est plus compliqué : Comme expliqué plus haut, ils « pointent » dans un logiciel appelé Timesheet via des imputations (une imputation correspond à un projet)

Dans ces imputations nous avons des sous-types appelé DDM où nous pointons sur telle ou telle DDM suivant l'action réalisée (ex : DDM 001 : Support Production, DDM 002 : Réunion).

Mais j'ai peu confiance dans le système car les employés pointent souvent sous la bonne imputation mais que sur une DDM, ils ne passent pas leur temps à affecter leurs heures aux sous tâches des projets...

Ainsi pour évaluer les heures de ces employés, nous avons croisé les données encodées dans les devis (une DDM est prévue pour le support production récurrent en fabrication).

Pour les services annexes tels que le service Informatique et bâtiment c'est plus simple :

Pour Bâtiment, les interventions sont enregistrées via une GMAO qui compile les bons de travaux. Un bon de travail correspond à une intervention sur une machine.

Les bons de travaux contiennent beaucoup d'informations, comme la nature de l'intervention (prévue, correctifs) ; la nature de la défaillance, le nombre d'heures passées et bien sur le numéro de la machine.

Pour le service informatique, le responsable fait remplir par son personnel un fichier où ils pointent leurs heures (sorte de timesheet mais qui ne remonte pas dans SAP pour la compilation des coûts).

## 10.2 Résultats et interprétations

Après compilation des données voici ce que l'on obtient :

De manière globale :

- Nombre de cartes passées sur la ligne du 01/01/2012 au 27/11/2012 : 1234
- Nombre d'heures de travail nécessaire (pointages sur OFs) : 8531
- Valeur ajoutée par carte : 7 heures.

Sur le graphe ci-dessous est indiqué le détail métier par métier. Sous le métier (ex : Retouche) est attaché le centre de frais (ex : EL12).

Première remarque, l'importance de l'activité d'EL12 (en vert clair ci-dessous) vis-à-vis des services supports (le taux horaire est différent, EL12 ayant le moins élevé, néanmoins en appliquant le taux aux heures on en arrive au même résultat). Le service qui coûte le plus est celui du bâtiment qui ne culmine qu'à environ 200 heures. (EL41 – MCMAG est le chargement de la mydata, ces personnes n'appartiennent pas à la ligne mais leur travail est indispensable, nous les affectons donc au coût de l'activité).

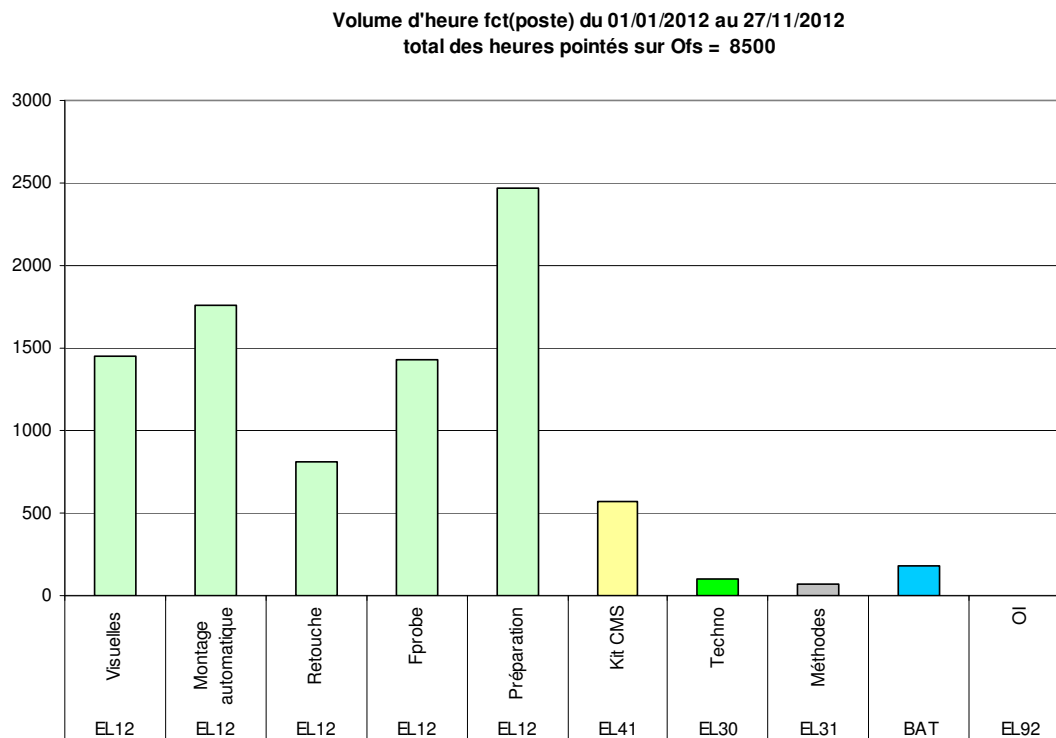


Figure 35. Volume d'heure par poste

Si on laisse de côté pour le moment les services support on obtient la répartition en poids d'heure ci-dessous,

### Volume d'heure ligne CMS sur 11 mois pointées sur OF

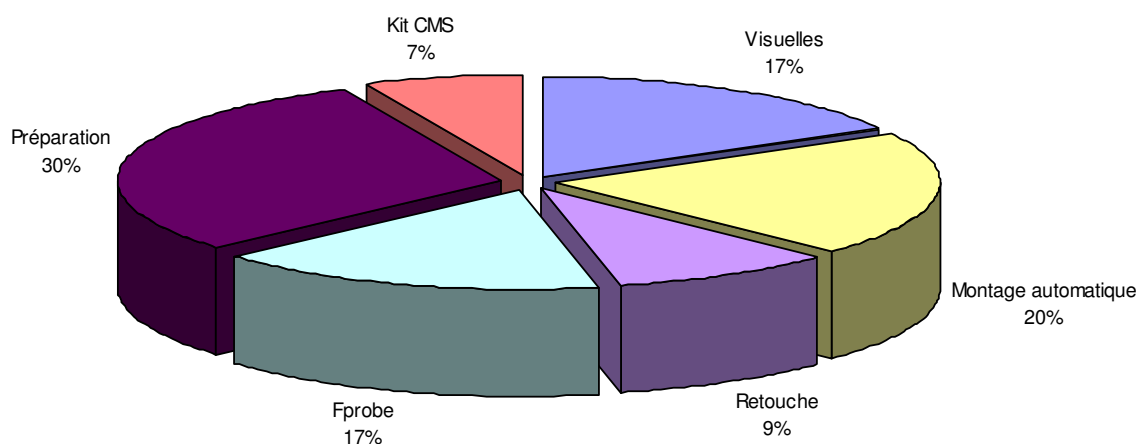


Figure 36. Volume d'heure de la ligne CMS

Ce diagramme en secteur permet de hiérarchiser les valeurs ajoutées pour chaque métier.

Dès lors, on s'aperçoit du poids élevé des contrôles qualité et des retouches qui ne sont pas de la valeur ajoutée au sens du LEAN. Ce poids est immense dans le coût d'une carte puisqu'il représente 53% de la valeur d'une carte !!

En ce qui concerne la découpe des opérations présentées, on s'aperçoit qu'elle est différente de la découpe des postes de charges.

Voici ci-dessous un tableau qui reprend la correspondance des opérations élémentaires vis-à-vis des postes de charges ou sont pointés ce travail.

Etape de processus	Poste de charge associé
Préparation des composants	12PRE
Chargement de la machine de placement automatique	KICMS
Préparation de la carte	12SMT
Placement automatique des composants	
Brasage des composants	
Nettoyage des cartes	
Collage automatique	
Contrôle électrique automatique	12FPR
Visuelles	12CVMYD
Retouches	12RET

On remarque que plusieurs opérations sont regroupées sous un même poste de charge. Dans ce cas, il est donc difficile de connaître le détail des heures prestées sur chacune des étapes du processus.

## 11 Impact des méthodes Lean sur le modèle

Après le détail des opérations du processus et leur valorisation financière, le but de ce paragraphe est de quantifier les gains en heures sur les différentes étapes grâce aux actions identifiées sur les postes de travail (grâce à la VSM) et aux actions transverses.

Poste	Heures prestées	Actions	Gains
Préparation des composants	2427	1,2	614
Préparation de la carte	342	5	68
Chargement de la machine de placement automatique	565	3,4	169
Placement automatique des composants	747	6	75
Brasage des composants	370	/	0
Nettoyages des cartes	185	7	18
Collage automatique	115	/	0
Contrôle électrique automatique	1404	11 ,12	500
Visuelles	1438	8	290
Retouches	809	9,10	405
Total (heures)	8531	/	2139
Total (%)	100%		25%

Les améliorations mises en évidence doivent pouvoir permettre un gain de 25% en volume d'heures prestées sur l'année pour l'activité ligne CMS.

## 12 Impact sur la rentabilité des produits

Pour déterminer la rentabilité d'un produit il faut prendre en compte l'ensemble des coûts. Nous avons surtout parlé des coûts de main d'œuvre depuis le début, or il faut aussi prendre en compte les coûts d'achats de matières et autres.

Ainsi ce paragraphe se focalisera sur un produit dont le type est récurrent en production. Le but étant de découper les différents coûts de ce produit pour mettre en lumière les domaines qui « coûtent » le plus et ceux qui coûtent le moins.

De ce fait, on pourra situer de manière précise la valeur ajoutée de la ligne CMS dans ce modèle.

### 12.1 Découpe de coûts d'un produit

En agissant sur les coûts de main d'œuvre grâce aux méthodes choisies nous avons un impact sur le prix de revient du produit.

Or, il faut là aussi remettre les choses dans son contexte, en effet sur l'exemple ci-dessous (représentatif de la réalité) d'une PCDU fabriquée à 8 exemplaires pour le GPS européen Galileo.

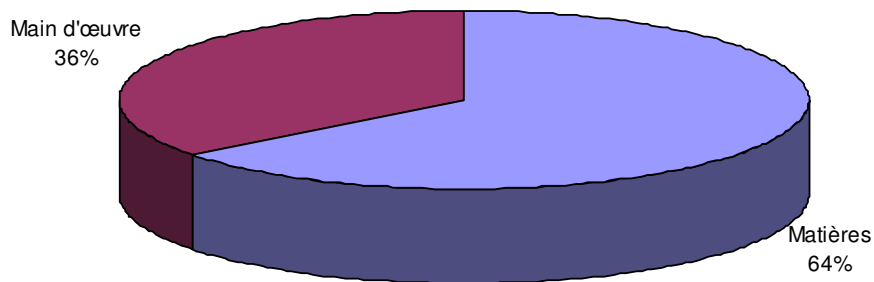


Figure 37. Découpe coûts Matière / Main d'œuvre

Comme on le voit, la part prépondérante des coûts est due aux matières et non à la main d'œuvre sur laquelle les pratiques du LEAN agissent. Si l'on continue dans cette voie de découpe des coûts mais que l'on y regarde à un niveau de détail plus profond on retrouve pour les coûts de main d'œuvre les intervenants présents sur la Value Chain de la société.

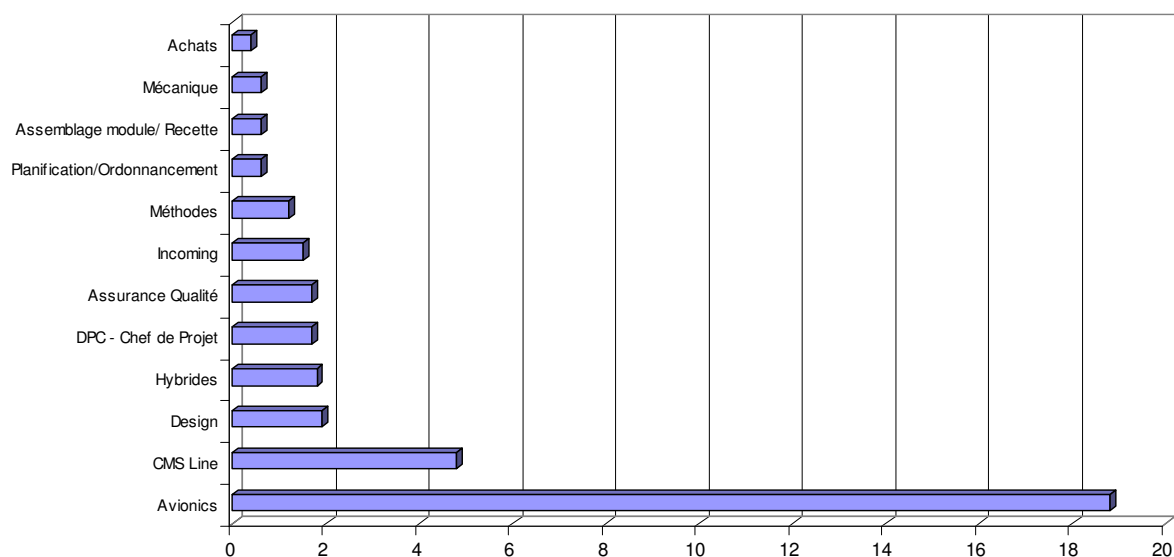


Figure 38. Découpe des coûts de la partie Main d'œuvre.

Sur ce graphique, on reporte en abscisse les contributions des différents acteurs de terrain. Les mesures sont des pourcentages dont la somme est égale à 35,6% (part de main d'œuvre dans le coût total du produit).

On remarque que la partie de plus forte valeur est l'atelier Avionique où est réalisé le câblage en piqué des composants (travail manuel qui prend beaucoup de temps). En deuxième position avec 4,8% de la valeur globale arrive la ligne CMS que nous étudions.

Viennent ensuite plutôt des services de supports tels que l'assurance qualité, le chef de projet et les incoming de pièces.

En ce qui concerne la majeure partie des coûts (les matières), on note que 43,5% des coûts d'une PCDU proviennent de ces composants (composants spécialement fournis pour le domaine spatial, avec de nombreux tests de robustesse).

On trouve ensuite le coefficient d'approvisionnement qui s'élève à plus de 10%.

Ce coefficient d'approvisionnement comprend :

- Les activités du service Achats
- Les activités liées à l'incoming
- Les activités liées à la gestion du stock
- Une part propre aux articles « multiprojet »

Cette technique a pour but d'ajouter une partie de main-d'œuvre variable au prix d'un article en stock. C'est un procédé utile mais discutable car en cas de faillite les composants en stocks sont d'offices sur-évalués.

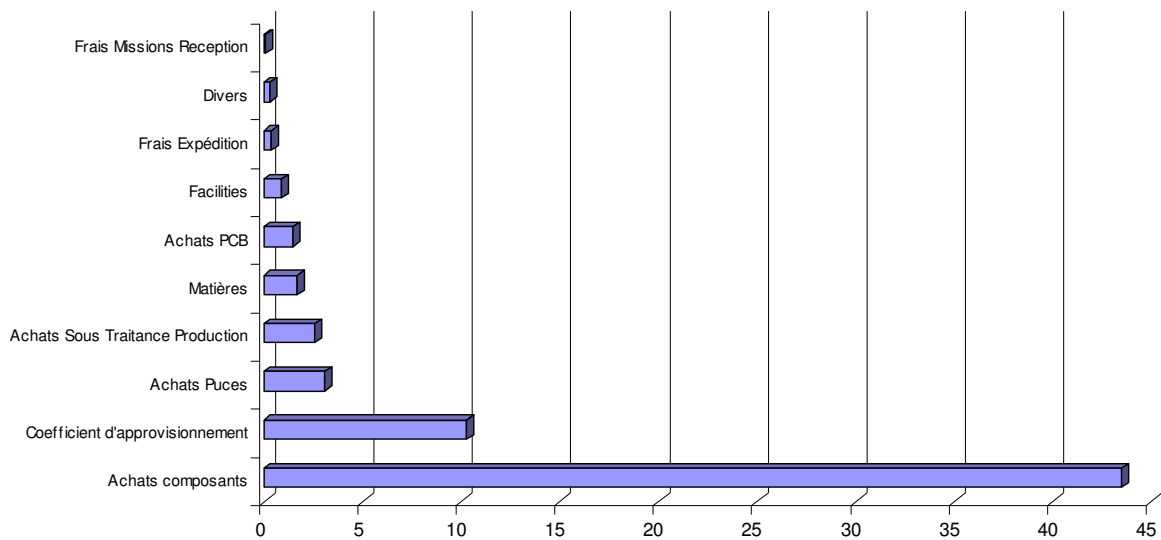


Figure 39. Découpe des coûts de la partie matières

De manière générale ce type de graphique nous permet de prendre de la hauteur et d'être critique sur le travail réalisé ainsi que sur l'impact des méthodes LEAN sur la rentabilité d'un produit « complexe ». On s'aperçoit ici très bien que l'aspect matière, sur lequel le LEAN n'a pas de prise est fortement prépondérant sur le travail en atelier.

## 12.2 Impact sur la rentabilité d'un produit

Avec la découpe des coûts plus hauts on voit que le gain de 25% en heures de travail pour la ligne CMS représente une amélioration de  $4,8\% * 25\% = 1,2\%$  du coût pour fabriquer un produit.

L'impact est limité lorsque l'on regarde sous cet angle de vue les coûts... Et ce malgré la très bonne performance de réduire d'un quart les coûts de production d'un atelier automatisé !

## 13 Impact financier du système FIFO pour la société

Comme présenté précédemment (p26). Le Fifo est intéressant pour deux raisons. Premièrement, la réduction des temps de cycles puis en second, la réduction des encours que cela engendre.

Ce paragraphe propose un exercice d'extrapolation à l'implantation du FIFO à la production.

En premier lieu le but a été de pouvoir quantifier le nombre d'encours dans les différents ateliers qui sont :

- Magnétiques
- Hybrides
- CMS
- Ariane
- EPC PPU
- Avionics
- Mécanique

Puis après l'enjeu a été de la valoriser. Pour cela, surtout du fait de leur nombre j'ai dû échantillonner les ordres de fabrication par produit afin d'avoir un panel représentatif des différents produits passant dans ces ateliers.

On notera par la même que le travail de valorisation n'a pas été fait pour les pièces de l'atelier mécanique, et ce pour deux raisons, tout d'abord car la grande majorité des pièces sont des outils à usage internes non livrés au client, et enfin à cause de la grande variabilité au niveau des coûts au vue du nombre de pièces différentes que l'atelier peut produire (du simple outil avoisinant les 20 euros jusqu'au boîtier d'une PCPU qui peut coûter jusqu'à 5000 euros).

La valorisation d'un encours a été réduite au plus simple, l'hypothèse a été de dire que le coût d'un encours correspond à la moitié de sa valeur finale. Les ordres de fabrications en cours le sont à différentes étapes de manufacturing ce qui rend difficile leur valorisation exacte (au vue de leur nombre).

Le tableau ci-dessous résume les principaux résultats. En première colonne j'ai représenté les différents ateliers étudiés, puis la seconde donne le nombre d'encours en décembre 2012. La troisième (Coût (hrs)) est le coût de l'encours et la dernière, le coût de l'ordre de fabrication une fois terminée.

En bas se trouve les totaux en heures et en euros (valorisés par les différents taux horaires des ateliers).

	Nombre d'encours	Coût (hrs)	Coût final OF
Magnétiques	200	11,5	22,5
Hybrides	302	3,6	7,2
CMS	289	3,5	7
Ariane	97	8,1	16,2
EPC PPU	172	8	16
Avionics	236	14	28
Mécanique	276	NA	NA

<b>Total</b>	<b>1572</b>	<b>739830</b>
	<i>hrs</i>	<i>euros</i>

Figure 40. Synthèse des gains par l'application du FIFO en production

Le constat est alors frappant puisqu'il confirme ce que le chantier sur l'atelier magnétique avait prévu à savoir un nombre d'encours impressionnant (plus de 1500).

Si on extrapole les résultats de l'atelier magnétique à l'ensemble de la production (hors test), ce qui revient à faire l'hypothèse d'une réduction de 50% des encours on obtient alors un gain de presque **740 000 euros par an !**

Le poids de ces encours de production pèse sur le besoin en fond de roulement de l'entreprise.

En plus de cela, il faut noter que l'on doit stocker sur des étagères (parfois à température contrôlée ou sous azote) ces encours. Ce qui prend de la place en chambre propre.

Appliquer cette méthode aux chambres propres permettrait de faire gagner de la place. Place qui est coûteuse surtout en environnement contrôlé et propre (le mètre carré coûte plus de 2000 euros).

## 14 Conclusions

La littérature a laissé entendre que les méthodes du LEAN pouvaient être appliquées à des sociétés qui ne font pas de grosses séries. Ce point a été démontré dans la pré-étude sur l'atelier magnétique.

L'étude de la ligne CMS a démontré l'intérêt concret des méthodes LEAN en particulier de la Value Stream Mapping qui oblige à « descendre » sur le terrain pour décortiquer le processus. Cette méthode permet d'entrevoir de nombreux problèmes et leurs solutions, ce qui a amené de forts gains en coûts.

Le FIFO a eu un impact direct sur les délais de fabrication, tout en diminuant la part de travail du contremaître sur la gestion de l'atelier ainsi que les encours.

Néanmoins l'impact est limité du fait de la part prépondérante des coûts des matières sur le produit final, aspect sur lequel les méthodes citées n'ont que peu de prise.

Pour les coûts de main d'œuvre, afin d'avoir un impact il faudra généraliser l'approche choisie dans ce mémoire pour arriver à des gains substantiels.

On a montré aussi qu'en particulier pour le FIFO ce point (généralisation) est vital. Si le FIFO est appliqué partout il y aura une baisse du besoin en fond de roulement. Dans le cas contraire il est sûr que les lead time diminueront atelier par atelier, mais il y aura beaucoup de stock au magasin, et il n'y aura pas de baisse du besoin de fond de roulement.

D'autre part, ces méthodes changent la manière de travailler (opérateur plus autonome pour le FIFO, plus besoin de planification entre postes de travail) du personnel et donc sont toujours par essence difficile à appliquer.

C'est une des raisons pour lesquelles le Lean a besoin d'être encadré pour pouvoir prendre racine au sein de l'organisation.

## **15 Obstacles & Difficultés**

Le regard du personnel a été le principal obstacle à ce projet, la société étant en difficulté (restructuration via plan Renault entre 2012 et 2014). Les tentatives d'améliorations passant par une meilleure compréhension du travail des opérateurs sont parfois mal perçues. Les gens sont méfiants et ont peur qu'on leur prenne leur travail, si l'on comprend en détail ce qu'ils font. La peur d'être jugé s'ajoutant à cela, il devient parfois difficile pour certaines personnes de se donner à cœur ouvert à des exercices comme la VSM.

Le but final étant la réduction des coûts, cela veut dire qu'il y aura moins de personnes à l'atelier pour réaliser le même travail. Il est donc difficile de savoir si tous les points d'amélioration ont été identifiés.

La difficulté d'organisation et de nombreux problèmes viennent de la mauvaise planification des tâches de l'atelier. Ainsi on met directement en cause un service, ce qui n'est pas une bonne chose puisque le Lean souhaite faire participer le personnel à l'amélioration.

Il est difficile de faire passer l'idée qu'il serait mieux de faire autrement. La résistance au changement est toujours présente en chacun de nous. Cela nécessite de prendre de la hauteur dans son travail afin de se rendre compte de ce qui est vraiment vital pour le client. A savoir un produit fini conforme à ses attentes.

Lorsque nous travaillons, nous n'avons pas cette vue d'ensemble et donc nous sommes tentés d'améliorer les choses comme par exemple de multiplier les contrôles qualité afin d'obtenir un produit irréprochable. Or cela est dommageable car cette sur-qualité est reprise dans les devis et cela nous rend moins compétitif que nous pourrions l'être.

## 17 Bibliographie

- REF1 Jaideep Motwani A business process change framework for examining lean manufacturing a case study, Seidman School of Business, Michigan, USA, 2003
- REF2 Womack, J.P. and Jones, D. J. (1996), Lean Thinking, Simon and Schuster, New York, NY.
- REF3 Cusumano, M.A. (1994), The Limits of "Lean", Sloan Management Review, Summer Issue, 1994, MIT- Massachusetts Institute of Technology, pp. 27-32
- REF4 Knill, B. (1999), "How Lean Manufacturing Matches Today's Business", Material Handling Engineering, Vol. 54, No. 11, pp. 87-91.
- REF5 Kettinger W.J., Grover V., Journal of Management Information Systems - The impacts of business process change on organizational performance Volume 14 Issue 1, June 1997
- REF6 Shah R., Ward T., Lean Manufacturing: Context, Practice Bundles, and Performance, Carlson School of management, 2002
- REF7 Betty R., Yingling J., Quantifying benefits of conversion to lean manufacturing with discrete event simulation: a case study, Manufacturing, Systems Engineering, University of Kentucky, 2000