



**HAL**  
open science

**Amélioration de la performance industrielle : vers un système de production Lean adapté aux entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc.**

Barbara Lyonnet

► **To cite this version:**

Barbara Lyonnet. Amélioration de la performance industrielle : vers un système de production Lean adapté aux entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc.. Autre. Université de Savoie, 2010. Français. NNT : . tel-00655808

**HAL Id: tel-00655808**

**<https://theses.hal.science/tel-00655808>**

Submitted on 2 Jan 2012

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

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



# THESE

Présentée à

l'**Ecole Polytechnique** de l'**Université de Savoie**

pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE SAVOIE**

**Spécialité : Génie Industriel**

Par

**Barbara Lyonnet**

---

**Amélioration de la performance industrielle : vers un système de production Lean adapté aux entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc**

---

Soutenue le 8 octobre 2010

Jury

Jean-Pierre CAMPAGNE	Rapporteur	Professeur des Universités, INSA Lyon, France
Patrick CHARPENTIER	Rapporteur	Professeur des Universités Université de Nancy, France
Cécile DECHAND	Examineur	Recherche et Développement Thésame, France
Laurent GENESTE	Président	Professeur des Universités ENIT Tarbes, France
Patrice LAURENT	Examineur	Recherche et Développement CTDEC, France
Maurice PILLET	Directeur	Professeur des Universités IUT d'Annecy, France
Magali PRALUS	Co-directeur	Maître de conférence IUT d'Annecy, France

## **Résumé**

Pour améliorer leur performance, les entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries se sont naturellement orientées vers l'approche Lean qui semblait être une solution idéale. Jusqu'à présent, le transfert de la démarche Lean vers les entreprises de ce pôle de compétitivité a été réalisé par simple application. Cette stratégie a conduit à des difficultés de mise en œuvre de certaines pratiques Lean. Après avoir établi le profil Lean des entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries, notre travail de thèse a cherché quelles adaptations et ajustements étaient nécessaires à l'application de la démarche Lean. En effet, les spécificités locales relatives à l'histoire, la situation géographique et les aspects techniques et organisationnels des entreprises du pôle de compétitivité pourraient jouer un rôle prépondérant dans les freins à l'intégration des pratiques Lean. Ainsi, nous avons développé, au cours de ce travail de thèse, de nouvelles approches prenant en considération les spécificités locales des entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries. Nous avons proposé, tout d'abord, d'introduire les principes de la culture européenne dans une démarche d'amélioration facilitant la réussite d'une démarche de progrès. Par ailleurs, afin de favoriser l'application des cartographies de chaîne de valeur, nous avons développé une nouvelle approche d'identification des ressources critiques. Un modèle analytique de la quantité optimale à produire a également été proposé pour répondre aux spécificités locales. Finalement, ces divers ajustements contribuent au développement d'un système de production Lean adapté aux entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries.

## **Mots clefs**

Système Lean, Performance industrielle, Pôle de compétitivité, Maturité Lean, Optimisation de la production, Ressources critiques.

# TABLE DES MATIERES

<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>6</b>
<b>PRÉAMBULE.....</b>	<b>8</b>
<b>CHAPITRE 1. CADRE CONCEPTUEL DE LA RECHERCHE.....</b>	<b>9</b>
1. EVOLUTION DES SYSTÈMES DE PRODUCTION : VERS L'AMÉLIORATION DE LA PERFORMANCE INDUSTRIELLE.....	10
1.1. Taylorisme et Fordisme : apports et limites dans l'amélioration de la performance .....	10
1.2. L'émergence du modèle japonais et du toyotisme.....	13
1.3. Evolution du marché occidental et conséquence sur les systèmes de production .....	15
2. APPROCHE LEAN : HISTORIQUE, DÉFINITION ET CONCEPTS .....	17
2.1. Généalogie du Lean .....	17
2.2. Définition du système Lean .....	19
2.3. Présentation des concepts Lean communs .....	23
2.3.1. L'élimination des gaspillages .....	23
2.3.2. Le juste à temps.....	25
2.3.3. Le Kaizen ou l'amélioration continue .....	29
2.3.4. La qualité parfaite.....	31
2.3.5. Le management visuel.....	41
2.3.6. Le management des hommes.....	42
3. DÉPLOIEMENT DU LEAN : ENJEUX ET LIMITES.....	44
3.1. Comment mettre en œuvre le Lean ?.....	44
3.2. Impact de la démarche Lean sur la performance industrielle.....	45
3.2.1. Impacts positifs de la démarche Lean.....	45
3.2.2. Impacts négatifs de la démarche Lean.....	48
3.2.3. La démarche Lean fournit-elle toujours les résultats espérés ?.....	49
4. LE PÔLE DE COMPÉTITIVITÉ ARVE INDUSTRIES HAUTE-SAVOIE MONT-BLANC : UN SYSTÈME PRODUCTIF LOCALISÉ .....	50
4.1 Présentation du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc .....	50
4.2 Le Lean dans les entreprises de la vallée de l'Arve : retours d'expériences sur sept années de pratiques.....	52
4.2.1. Présentation des programmes PPJ/ALP.....	52
4.2.2. Retours d'expériences des programmes PPJ/ALP.....	54
4.2.3. Résultats mitigés des programmes PPJ/ALP .....	55
5. OBJECTIFS DE TRAVAIL ET THÉMATIQUES DE RECHERCHE .....	57
<b>CHAPITRE 2. NIVEAU DE MATURITE LEAN .....</b>	<b>59</b>
1. INTRODUCTION .....	60
2. MÉTHODE D'ÉVALUATION DU NIVEAU DE MATURITÉ LEAN DES ENTREPRISES .....	62
2.1. Questionnaire d'évaluation.....	62
2.2. Choix des techniques d'analyse des résultats .....	65
3. EVALUATION DU NIVEAU DE MATURITÉ LEAN DES ENTREPRISES DU PÔLE DE COMPÉTITIVITÉ.....	67
3.1. Résultats obtenus.....	67
3.1.1. Identification du niveau d'intégration Lean par pratique.....	67
3.1.2. Classification des entreprises selon un niveau d'intégration du Lean .....	70
3.1.3. Analyse factorielle par pratique.....	72
3.1.4. Analyse des résultats par typologie d'entreprise .....	75
3.1.5. Identification des questions discriminantes .....	79
3.2. Conclusion .....	81
4. EVALUATION DU NIVEAU DE MATURITÉ LEAN DES ENTREPRISES NON MEMBRES DU PÔLE DE COMPÉTITIVITÉ .....	83
4.1. Typologie de l'échantillon interrogé.....	83
4.1.1. Secteur d'activité.....	83
4.1.2. Répartition des entreprises par taille, chiffre d'affaires et rang dans la chaîne logistique .....	84

4.2. Identification du niveau d'intégration Lean par pratique.....	86
4.2.1. Analyse factorielle par pratique.....	87
4.3. Comparaison des profils Lean .....	89
5. CONCLUSION .....	92
<b>CHAPITRE 3. STANDARD DE DEPLOIEMENT DE LA DEMARCHE LEAN .....</b>	<b>93</b>
1. INTRODUCTION .....	94
2. MÉTHODE .....	96
2.1. Questionnaire utilisé .....	96
2.2. Méthode des antériorités.....	97
3. RÉSULTATS .....	100
3.1. Données recueillies.....	100
3.2. Méthode des antériorités : résultats obtenus .....	101
3.4. Vecteurs de réussite et facteurs d'échecs d'une démarche Lean .....	105
4. DISCUSSION ET CONCLUSION .....	107
<b>CHAPITRE 4. VERS UN SYSTEME DE PRODUCTION LEAN ADAPTE.....</b>	<b>110</b>
INTRODUCTION .....	111
1. INTÉGRATION DES PRINCIPES DE LA CULTURE EUROPÉENNE .....	114
1.1. Introduction.....	114
1.2. Les principes européens pouvant guider une démarche de progrès .....	115
1.3. Made in cartier : exemple d'une démarche de progrès continu.....	117
1.4. Principes de la culture européenne : illustration au sein de l'entreprise Cartier.....	118
1.4.1. Identification des niveaux de résolution de problèmes.....	118
1.4.2. Vers une meilleure utilisation du diagramme de Pareto .....	121
1.5. Conclusion .....	122
2. ANALYSE CRITIQUE D'UNE MÉTHODOLOGIE D'OPTIMISATION DES FLUX PAR LA VALUE STREAM MAPPING (VSM) .....	125
2.1 Introduction.....	125
2.2. Méthode.....	126
2.2.1 Présentation de l'entreprise .....	126
2.2.2. Identification des axes stratégiques d'amélioration .....	126
2.2.3. Cartographie de chaîne de valeur de l'état actuel.....	128
2.2.4. Cartographie de chaîne de valeur de l'état futur.....	128
2.2.5. Evaluation des gains obtenus, deux mois après la mise en place des améliorations.....	131
2.2.6. Identification des freins à la mise en place d'une démarche d'amélioration .....	131
2.3. Résultats.....	131
2.3.1. Rédaction du diagnostic A3 ou Rapport A3 .....	131
2.3.1.1 Contexte du problème .....	132
2.3.1.2 Situation actuelle.....	132
2.3.1.3. Cibles et objectifs à atteindre .....	132
2.3.1.4. Analyse des causes racines du problème.....	133
2.3.1.5. Mesures proposées pour atteindre les objectifs et plan d'action.....	133
2.3.1.6. Suivi du déroulement des actions réalisées .....	138
2.3.2 Optimisation du flux de fabrication : gains obtenus .....	138
2.3.2.1. Bénéfices opérationnels .....	138
2.3.2.2. Bénéfices administratifs et stratégiques .....	138
2.3.2.3. Bénéfices humains .....	139
2.3.3. Identification des freins.....	139
2.4. Discussion .....	140
2.4.1. Améliorations observées .....	140
2.4.2. Facteurs clefs de réussite.....	142
2.4.3. Freins à la mise en place de la démarche.....	143
2.5. Conclusion .....	144
3. DÉMARCHE D'IDENTIFICATION DES RESSOURCES CRITIQUES .....	145
3.1. Introduction.....	145
3.2. Méthode proposée .....	148
3.2.1. Proposition d'une démarche de hiérarchisation des ressources à partir d'une matrice de criticité .....	148
3.2.1.1. Identification des critères de hiérarchisation.....	148
3.2.1.2. Evaluation de la performance des ressources en fonction des critères de hiérarchisation ..	149

3.3. Application de la méthode de criticité proposée aux données d'une entreprise de décolletage .....	155
3.3.1. Identification de l'ensemble des équipements à hiérarchiser .....	155
3.3.2. Evaluation de la performance des équipements.....	156
3.3.3. Procédure d'agrégation pour hiérarchiser les équipements : matrice de criticité.....	157
3.4. Discussion .....	158
3.4.1. Matrice de criticité .....	158
3.4.2. Actions de prévention.....	159
3.4.3. Prise en compte des risques liés aux ressources humaines .....	160
3.5. Conclusion .....	161
4. VERS UN MODÈLE DE CALCUL DE LA QUANTITÉ OPTIMALE À PRODUIRE .....	163
4.1. Flux tiré-flux poussé : aide à la décision .....	163
4.1.1. Méthode .....	165
4.1.1.1. Hypothèses du modèle .....	165
4.1.1.2. Contraintes économiques .....	165
4.1.1.3. Contraintes de moyens .....	169
4.1.1.4. Prise en considération du mixe entre contraintes et opportunités .....	170
4.1.2. Résultats .....	170
4.1.2.1. Données recueillies .....	170
4.1.2.2. Résultats obtenus à partir des contraintes économiques et opportunités de ventes.....	171
4.1.2.3. Résultats obtenus à partir des contraintes de moyens matériels .....	173
4.1.3. Discussion .....	174
4.1.4. Conclusion .....	175
4.2. Modélisation probabiliste de la prévision de vente .....	175
4.2.1. Méthode .....	176
4.2.1.1. Modélisation de la probabilité de vente .....	177
4.2.2. Modélisation probabiliste de l'estimation des ventes à partir d'une application industrielle.....	180
4.2.2.1. Données recueillies .....	180
4.2.2.2. Application des modèles probabilistes de l'estimation des ventes .....	181
4.2.2.3. Recherche du modèle le plus en adéquation aux données .....	183
4.2.2.4. Modélisation probabiliste des ventes .....	184
4.2.2.5. Contraintes de moyens matériels.....	187
4.2.3. Discussion des résultats.....	188
4.2.4. Conclusion .....	189
5. CONCLUSION GÉNÉRALE .....	191
<b>CHAPITRE 5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE.....</b>	<b>193</b>
1. APPROPRIATIONS ET AJUSTEMENTS DE LA DÉMARCHE LEAN AUX ENTREPRISES DU PÔLE DE COMPÉTITIVITÉ .....	196
1.1. Etat des lieux de l'application des pratiques Lean au sein du pôle de compétitivité .....	196
1.2. Proposition d'ajustements de la démarche Lean aux spécificités des entreprises du pôle de compétitivité .....	198
1.2.1. Les spécificités locales des entreprises du pôle .....	198
1.2.2. Le standard de déploiement de la démarche Lean .....	199
1.2.3. Les ajustements spécifiques à la faible application des pratiques relatives aux méthodes de résolution de problèmes, de cartographie de chaîne de valeur et de flux tirés .....	200
2. SYSTÈME LEAN ADAPTÉ ET HYBRIDATION .....	204
3. CONCLUSION ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE .....	208
<b>REFERENCES .....</b>	<b>211</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>230</b>
ANNEXE 1 : SYMBOLES UTILISÉS POUR LA CARTOGRAPHIE DE CHAÎNE DE VALEUR .....	231

# REMERCIEMENTS

Je souhaite adresser mes premiers remerciements au Professeur Maurice Pillet pour m'avoir donné l'opportunité de réaliser ce travail de recherche. Je le remercie pour sa disponibilité tout au long de ma thèse et pour m'avoir fait profiter de son savoir et de ses compétences.

Je tiens à remercier tout particulièrement Magali Pralus, Maître de Conférence à l'Université de Savoie pour son encadrement, son soutien et ses précieux conseils.

Patrick Charpentier et Jean-Pierre Campagne ont accepté d'être rapporteurs de cette thèse. Je souhaite les remercier vivement pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour le temps passé. Je remercie également Laurent Geneste d'avoir présidé mon jury.

J'adresse un remerciement à Cécile Déchand, responsable du développement de Thésame, pour son intérêt pour ce travail de recherche et sa disponibilité. Je la remercie aussi pour nous avoir mis en contact avec les industriels du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc. Je remercie également Monsieur André Montaud, directeur général de Thésame, pour m'avoir accueillie dans son équipe et Jacques Roura, responsable du programme Lean PME, pour ses précieux conseils. Je remercie l'ensemble du personnel pour leur soutien.

Je remercie Patrice Laurent, responsable R & D du CTDEC, pour avoir suivi nos travaux. Merci à toutes les personnes du CTDEC qui m'ont fait progresser dans mon travail de recherche et industriel. Un remerciement tout particulier à Simon Bernard, pour sa contribution au développement de ce projet mais aussi pour son soutien et son écoute.

Merci à l'ensemble des consultants Lean pour avoir participé aux différentes études et m'avoir fait partager leurs connaissances. Je remercie également les enseignants chercheurs ayant participé à nos études et les enseignants de l'IUT QLIO d'Annecy-le-Vieux pour leur disponibilité et leur encouragement.

Je remercie l'ensemble des membres du comité de pilotage : SNR, Rennard, Stab, Savoy décolletage, Sodep, Sunap, La chambre des métiers et de l'artisanat, AFPI, les laboratoires IREGE et LISTIC. Je souhaite remercier particulièrement les entreprises m'ayant accueillie. Leur problématique a été un réel moteur pour la conduite de nos travaux de recherche.

Merci à toutes les personnes du laboratoire SYMME, et plus spécialement au Professeur Georges Habchi, pour ses précieux conseils et sa collaboration dans plusieurs de nos travaux.

J'exprime également toute ma reconnaissance envers les membres du projet Euro Lean, chercheurs, doctorants et consultants pour leurs remarques et conseils. Je remercie le cluster GOSPI pour son intérêt pour ces thématiques de recherche et pour avoir soutenu notre projet.

J'adresse un remerciement particulier à Ludovic Guizzi pour sa contribution au développement de ce projet. Merci pour son investissement et ses conseils si précieux.

J'ai une pensée pour toutes les personnes qui ont eu la patience de répondre à mes questions et me faire partager leur expérience.

Enfin, merci à ma famille pour leur amour et leur soutien constant.

# Préambule

Le système Lean est une démarche d'amélioration de la performance qui connaît un vaste succès depuis une vingtaine d'années. Le pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc nous a offert la possibilité d'explorer le fonctionnement des petites et moyennes entreprises (PME). Ce territoire d'excellence industrielle, à la fois dynamique et performant, présente une réelle opportunité d'étude du système productif localisé de la vallée de l'Arve.

Les grandes évolutions industrielles et économiques du XX<sup>ème</sup> siècle ont conduit à la recherche de nouveaux systèmes de production répondant aux objectifs d'amélioration de la performance. La démarche Lean est apparue comme une solution idéale. Nous clarifierons donc, tout d'abord, l'état actuel des connaissances de la démarche Lean et de ses valeurs fondamentales. Nous aborderons ensuite les impacts de cette approche sur la performance industrielle. Enfin, nous présenterons les spécificités du système productif local des PME du pôle de compétitivité de la vallée de l'Arve.

Le cœur de ce document sera constitué de quatre grandes parties réalisées au cours de ce travail de thèse ayant donné lieu à deux publications dans des revues internationales à comité de lecture, une publication dans une revue française à comité de lecture et à cinq publications dans des congrès internationaux à comité de lecture avec actes. Ces travaux ont été menés au sein des entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc. La première partie correspond à l'état de l'art, les enjeux et les limites de la démarche Lean. La deuxième partie a consisté à établir le profil Lean des entreprises membres du pôle de compétitivité. La troisième partie s'est, quand à elle, concentrée sur l'identification des antériorités existantes entre les pratiques Lean contribuant au développement d'un standard de déploiement de la démarche Lean. La quatrième partie s'est focalisée sur la proposition d'ajustements de la démarche Lean adaptés aux spécificités des entreprises du pôle de compétitivité.

# **CHAPITRE 1. CADRE CONCEPTUEL DE LA RECHERCHE**

# **1. Evolution des systèmes de production : vers l'amélioration de la performance industrielle**

Un système de production se définit comme une organisation dont la fonction est de fournir des biens ou des services. Le contexte économique et l'évolution du marché ont conduit les entreprises à adapter leurs systèmes de production pour améliorer leur performance industrielle, notion multidimensionnelle qui fait intervenir des concepts financiers, organisationnels, opérationnels, humains et sociologiques. La notion de performance industrielle fait référence à l'aptitude d'une entreprise à garantir des résultats par son organisation et donc à assurer sa survie.

L'évolution de ces systèmes a été initiée par l'industrie automobile (Womack et al., 1990). Après une production artisanale traditionnelle vieille de plusieurs siècles, la production de masse s'est développée dès la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle dans les industries américaines. Les japonais ont révolutionné cette production de masse, après la seconde guerre mondiale, en développant les principes de la production au plus juste. Ces mutations ont radicalement changé nos idées fondamentales sur la manière de produire des biens et des services.

L'objectif de cette première partie est de rappeler les grandes évolutions des systèmes de production : de la production de masse avec les modèles développés par Taylor et Ford à la production au plus juste.

## **1.1. Taylorisme et Fordisme : apports et limites dans l'amélioration de la performance**

Frederick Winslow Taylor (1856-1915) est considéré comme un précurseur dans la recherche de l'amélioration de la performance industrielle. Apparue en 1910 dans l'industrie américaine puis en France dans les années vingt, le taylorisme a considérablement modifié l'organisation des entreprises.

Ayant constaté d'une part, l'existence d'une sous-production, d'une mésentente entre patrons et ouvriers, de méthodes de travail souvent inefficaces et

d'autre part, la nécessité d'augmenter la production et la productivité, Taylor a développé un nouveau modèle de production. Les grands principes de cette organisation sont formulés dans son ouvrage « la direction scientifique des entreprises » (Taylor, 1957). Cette œuvre se base essentiellement sur l'analyse scientifique du travail pour en augmenter la productivité et réduire les prix de revient tout en garantissant des salaires plus élevés (Taylor, 1957).

Les grands principes du taylorisme sont les suivants :

- le premier principe est connu sous le nom d'organisation scientifique du travail (OST). Taylor établit que pour être économiques, les méthodes d'exécution du travail doivent être étudiées et enseignées par des observateurs différents des exécutants. Cette analyse scientifique du travail implique, notamment, un chronométrage de chaque tâche pour calculer le « juste temps » nécessaire à sa réalisation, l'élimination des gestes inutiles, la sélection des ouvriers et un salaire au rendement (Taylor, 1957).

- le second principe s'appuie sur une division du travail autant verticale qu'horizontale. La division verticale repose sur la séparation sociale entre les ingénieurs aussi appelés « cols blancs » et les ouvriers ou « cols bleus ». Les opérateurs sans qualification n'exécutent que les opérations de production. Toutes les autres tâches telles que par exemple les opérations de contrôle qualité et de maintenance sont allouées à des spécialistes. L'ouvrier doit avoir autant de responsables spécialisés que l'on peut distinguer de fonctions différentes impliquées par son travail : un responsable hiérarchique pour son rythme de fabrication, pour ses outils, pour ses affectations, etc. (Taylor, 1957). La division horizontale consiste quant à elle à décomposer le travail en tâches élémentaires successives. Le travail est ainsi « codifié » par des instructions données par la hiérarchie à des exécutants.

Toujours à la recherche d'amélioration de la performance et de réduction des coûts, Henry Ford (1863-1947) a développé dans ses usines d'automobiles de Détroit, un modèle unique, simplifié à l'extrême : la célèbre « Ford Model T » de 1908 ainsi qu'une nouvelle forme d'organisation productive qu'il nomma « production de masse » (Ford, 1926).

Inspiré du taylorisme, ce modèle repose sur les principes suivants :

- la division du travail et la parcellisation des tâches,
- la production sur des chaînes de montage (ou travail à la chaîne) permettant la réduction des déplacements des ouvriers ; le travail des opérateurs est ainsi rythmé,
- la standardisation des produits avec le concept de totale interchangeabilité des pièces d'un modèle de voiture à un autre,
- les économies d'échelle avec la construction d'unité de production de grande taille pour obtenir de bas coûts de revient.

Ce système de production a permis une augmentation du volume de production, un accroissement de la productivité et une réduction majeure des coûts de fabrication.

Venant satisfaire les besoins de consommation de l'après-guerre et des trente glorieuses (1945-1973), une large diffusion de la production de masse a lieu en Europe, devenant le moteur de sa croissance économique. En effet, pendant la période de reconstruction de l'Europe, le plan Marshall<sup>1</sup> a participé à l'instauration de ce système de production en permettant le financement de la modernisation de l'appareil productif. Les premiers symboles de cette production de masse européenne sont issus du secteur automobile. Dès 1946, en Allemagne, Volkswagen lança les fameuses coccinelles, en France, Renault développa la 4 CV et en Italie Fiat présenta la Fiat 124. Quelques années plus tard, les Anglais produiront la Mini.

Fort de ces vifs succès, la production de masse fut généralisée au monde entier.

Cependant, le taylorisme et le fordisme ont fait l'objet de plusieurs critiques. Ainsi, une déshumanisation du travail (Friedmann, 1936) et une perte de qualification du travail ouvrier devenant répétitif et monotone ont été soulignés conduisant à un fort taux d'absentéisme et un accroissement de la rotation du personnel (Womack et al., 1990). De plus, aucun système de gestion et d'organisation adapté à la maîtrise de cette production de masse n'existait (Womack et al., 1990). La parcellisation extrême des tâches et, par la suite, la complexité des

---

<sup>1</sup> Le plan Marshall aussi appelé « Programme de rétablissement européen » fut un plan américain pour aider la reconstruction de l'Europe après la Seconde Guerre mondiale

chaînes de montage ont également montré des effets contre-productifs en terme de temps d'opération et d'équilibrage des flux (Coriat, 1979; Boyer, 1986) et une gestion des défauts tardive dans la chaîne de production (Womack et al., 1990) engendrant des pertes financières importantes.

### 1.2. L'émergence du modèle japonais et du toyotisme

Malgré un engouement certain pour la production de masse, l'entreprise Toyota n'a pu développer que partiellement le système de production Ford dans sa première usine automobile « *Koromo* » créée en 1937. En effet, à cause de contraintes de financement, seuls les ateliers de peinture, de montage et de fonderie ont pu bénéficier de systèmes de convoyeurs pour la production (Shimizu, 1999). De plus, Toyota a préféré d'une part, une simplification des procédés de fabrication à une parcellisation des tâches jugée moins économique et d'autre part, l'achat de machines-outils flexibles capables de s'ajuster à n'importe quel modèle.

Jusqu'à la seconde guerre mondiale, ce système de production qualifié de « semi-fordien » fut suffisant compte tenu des faibles volumes de production (environ 2000 camions fabriqués par mois) et de l'étroitesse du marché automobile japonais (comparé au marché automobile américain) (Shimizu, 1999).

Lorsque le Japon a perdu la guerre le 15 août 1945, M. Kiichiro Toyoda (1894-1952), président de Toyota Motor Company, a déclaré qu'il était vital de rattraper l'industrie automobile américaine (Ohno, 1988). Ce besoin d'accroissement de la productivité, auquel se sont ajoutées une crise financière et un grand conflit social, a conduit vers la recherche d'un nouveau modèle de production.

Ainsi, à partir de 1949, Taichi Ohno, ingénieur chez Toyota, a réorganisé la production, en concrétisant les idées de Kishiro Toyoda, selon les principes de production « juste-à-temps » (Shimizu, 1999) et d'autonotation (fusion d'autonomie et d'automation) des équipements.

Le juste à temps vise à fabriquer le produit en quantité juste nécessaire, au moment voulu et disponible à l'endroit voulu (Ohno, 1988). Cette méthode s'oppose

directement au modèle Taylorien conduisant à une surproduction, des productions par très grande série et peu de souplesse.

Le principe d'autonomation ou d'auto-activation consiste à équiper l'ensemble des machines de systèmes d'arrêts automatiques lorsqu'une anomalie ou un défaut est décelé. Le système de production Toyota ou Toyota Production System (TPS) repose également sur d'autres concepts que ceux énoncés précédemment sur lesquels nous reviendrons plus en détail (Cf. Chapitre 1, partie 2.2).

Le développement du toyotisme a ainsi bénéficié de l'essor des nouvelles technologies. La révolution informatique des années 1950 à 1970 et, plus spécialement, l'automatisation ont influé sur la production permettant une amélioration de la productivité et surtout sa modulation en fonction de l'état du marché à un moment donné. Ces mutations technologiques ont également participé à l'amélioration de la qualité des produits au travers de la précision de l'usinage.

### 1.3. Evolution du marché occidental et conséquence sur les systèmes de production

Après la Seconde Guerre mondiale, le marché économique est caractérisé par une demande largement supérieure à l'offre. Cette économie est accompagnée d'une hausse du pouvoir d'achat des ménages conduisant à une augmentation massive de la consommation. Ces années ont également été marquées par l'explosion de la communication, l'émergence d'un marché mondial et donc l'accroissement de la concurrence.

Parallèlement, le comportement du consommateur s'est modifié, devenant de plus en plus exigeant en termes de diversification de l'offre, du prix, de la qualité et des délais. Ces besoins ont engendré de nouvelles contraintes pour les systèmes de production des entreprises.

Pour répondre aux nouvelles exigences des consommateurs et à la mutation du marché, les entreprises ont dû rechercher les moyens permettant d'accroître la flexibilité de leurs systèmes de production afin de diversifier les produits fabriqués tout en produisant à moindre coût avec un délai et une qualité optimale.

Comment faire face à ces nouveaux besoins ? Cette problématique pose plusieurs difficultés aux entreprises, dont voici quelques exemples (Molet, 2006) :

- difficultés de gestion : la multiplicité des produits engendre des incertitudes au niveau de la planification, de l'ordonnancement et de l'évaluation des besoins,
- difficultés techniques : les entreprises doivent rechercher des moyens de production flexibles. La polyvalence du personnel destiné à assurer une multitude de produits sur les mêmes machines est nécessaire, la recherche de standardisation des composants également,
- difficultés de rentabilité des innovations : l'impact des innovations sur les parts de marché est difficile à percevoir,
- difficultés de planification : les entreprises doivent adapter leurs productions en fonction de la demande en évolution constante, la gestion de l'approvisionnement des matières premières doit aussi être adaptée,

- difficultés de gestion de la qualité : les entreprises doivent mettre en œuvre de nouveaux systèmes d'organisation de la qualité pour faire face à la concurrence.

A partir du premier choc pétrolier de 1973, l'économie mondiale est entrée dans une période de croissance économique lente avec une baisse de la consommation. La tendance du marché s'est inversée : l'offre est devenue supérieure à la demande. C'est à cette époque que le marché occidental de l'industrie automobile a commencé à s'intéresser au système de production Toyota (Ohno, 1988). Cet intérêt s'est renforcé à partir de 1975, lorsque les profits de Toyota ont recommencé à croître et que son écart avec les autres entreprises s'est creusé (Ohno, 1988). En 1984, des chercheurs américains du MIT (Massachusetts Institute of Technology) ont fait une analyse critique de leur industrie automobile concluant que le système de production de masse était désormais incapable de s'adapter aux évolutions du marché (Baglin et Capraro, 1999). En effet, le système de production fordien a permis de répondre de façon satisfaisante à la forte demande des consommateurs jusqu'en 1973, mais lorsque la croissance économique a commencé à entrer dans une phase de stagnation voire de déclin, ce modèle a montré ses limites avec des excédents de stocks. Le système de production Toyota a, quant à lui, démontré sa flexibilité face aux fluctuations du marché.

Ce système de production s'est diffusé aux Etats-Unis, puis en Europe à partir des années 1980 avec les grandes réussites qu'on lui reconnaît aujourd'hui.

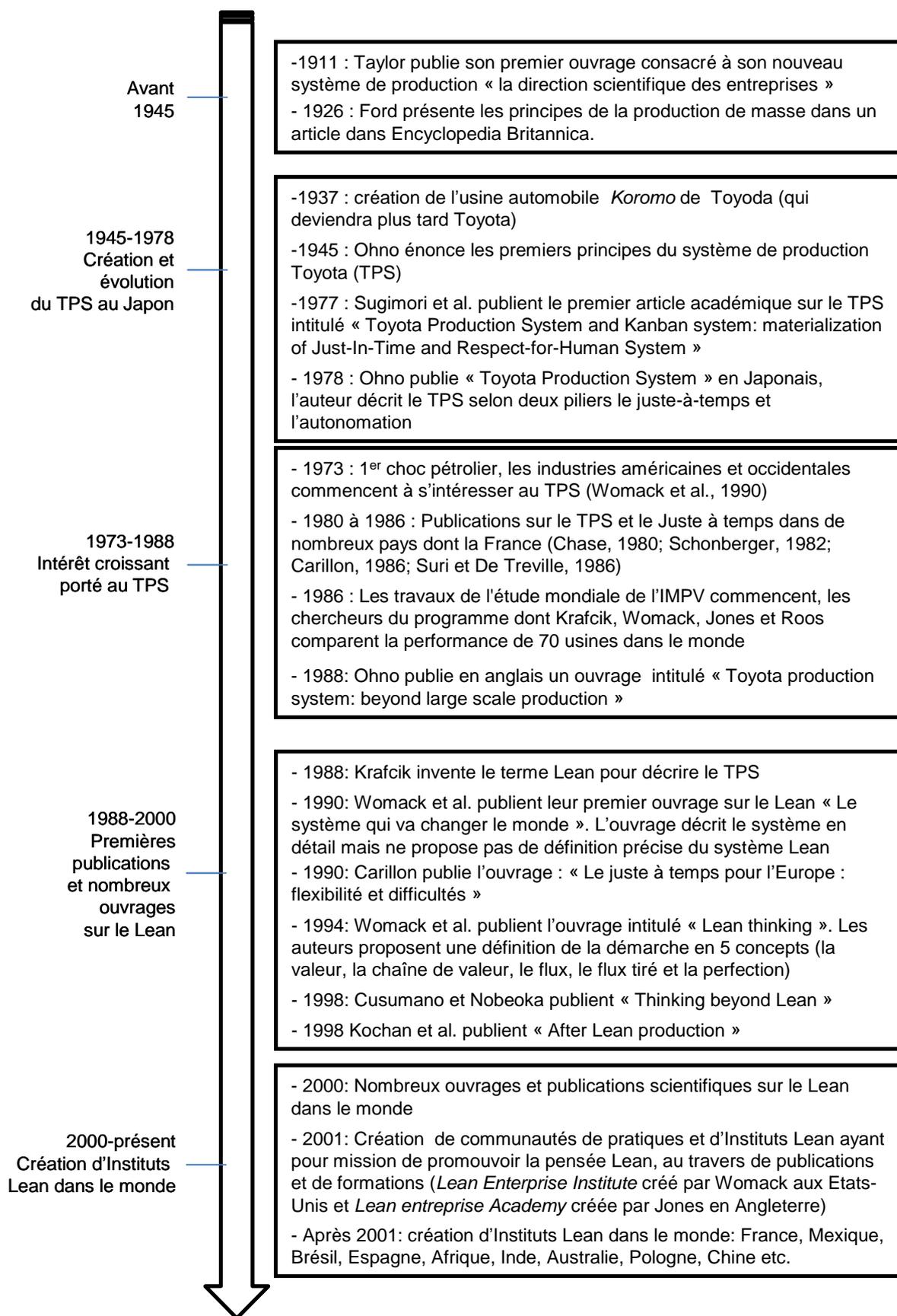
## **2. Approche Lean : historique, définition et concepts**

### **2.1. Généalogie du Lean**

Le premier article académique sur le TPS a été publié par Sugimori et ses collègues en 1977 (Sugimori et al., 1977). Taichii Ohno, lui-même, a décrit l'histoire du TPS et de sa mise œuvre en 1978 dans son ouvrage intitulé « Toyota Production System ». Au début des années 1980, trois chercheurs au MIT (Massachusetts Institute of Technology), Daniel Roos, Daniel Jones et James Womack, en collaboration avec 36 constructeurs automobiles, gouvernements et organismes, ont conduit un programme nommé « International Motor Vehicle Program » (IMPV) visant la construction d'un benchmark global des usines dans le monde. Les entreprises françaises Renault et PSA étaient déjà partenaires de ce plan. A partir de cette date, les publications sur le TPS n'ont cessé de se multiplier. La Figure 1 présente les principales publications ayant marqué l'histoire du TPS (Cf. Figure 1).

Le terme « production Lean » a été utilisé pour la première fois par Krafcik en 1988 (Krafcik, 1988) pour décrire le TPS. Par la suite, Womack et ses collaborateurs ont largement contribué à sa popularisation avec la publication des résultats issus du programme de l'IMPV dans l'ouvrage intitulé « La production au plus juste : le système qui va changer le monde » (Womack et al., 1990).

Dès la fin des années 1980 la démarche Lean a été appliquée dans l'ensemble du secteur automobile mondial et chez ses sous-traitants (Kochan, 1998; Baglin et Capraro, 1999). Ainsi, en France, les prémices du Lean sont apparues au sein des deux grandes entreprises que sont Renault et Citroën (Womack et Jones, 2005). A partir de 1994, Valéo, équipementier automobile, devient l'un des pionniers de l'application du Lean en France. Cette entreprise a réellement marqué le paysage du Lean en France, en étant notamment l'un des lieux de formation d'experts Lean.



**Figure.1** Phases dans l'évolution de la démarche Lean (adapté de Shah et Ward, 2007)

De nombreux secteurs d'activités tels l'industrie aérospatiale, l'électronique et la grande consommation se sont ensuite engagées dans la voie du Lean (Crute et al., 2003; Abdulmalek et Rajgopal, 2007). De la même manière, en France, la démarche Lean s'est étendue dans de nombreux secteurs dont le secteur ferroviaire avec notamment l'entreprise Alstom, le secteur de la chimie (Rhodia), le secteur des matériaux de construction et de la métallurgie dont l'entreprise Alcan est un exemple.

Depuis plus de dix ans, les principes Lean sont appliqués intensivement (Hicks, 2007), autant dans les petites et moyennes entreprises (Achanga et al., 2006), que dans les grandes entreprises (Womack et Jones, 2005).

### 2.2. Définition du système Lean

Le système Lean est une méthode de management visant l'amélioration de la performance basé sur l'élimination des gaspillages. Cette approche est définie par un nombre variable de principes, plus ou moins voisins, selon les auteurs. La revue de littérature réalisée par Shah et Ward, à partir de 16 études expose les principes généralement associés à la démarche Lean (Shah et Ward, 2003). Sur la base de cette étude, nous avons ajouté les définitions formulées par dix auteurs supplémentaires depuis la naissance du Lean (cf. Tableau 1).

Ohno, considéré comme le père fondateur du TPS, a identifié huit principes pour décrire son système de production reposant sur les deux piliers que sont le juste-à-temps et l'autonotation (Ohno, 1988). Aujourd'hui encore, l'entreprise Toyota s'appuie sur ces piliers (Vaghefi et al., 2000). Dans leur ouvrage « Lean thinking », Womack et Jones se sont basés sur cinq principes pour décrire le système Lean : la valeur, la chaîne de valeur, le flux, le flux tiré, et la perfection (Womack et al., 2005). Cette définition est devenue l'une des plus citées ces dix dernières années (Holweg, 2007). James-Moore et Gibbon, chercheurs à l'université de Manchester, et Åhlström chercheur à « London Business School » ont utilisé cinq principes différents pour définir le système Lean. Ainsi, James-Moore et Gibbon se sont appuyés sur les principes de flexibilité, d'élimination des gaspillages, de processus de contrôle,

d'optimisation et d'utilisation des hommes (James-Moore et Gibbon, 1997), alors qu'Åhlström se base sur l'élimination des gaspillages, la meilleure qualité, les systèmes d'informations verticales, le principe de multifonctions des équipes et la notion de « team leader » (Åhlström, 1998). Par ailleurs, Drew et ses collaborateurs, consultants au sein de Mc Kinsey et Company, ont défini le Lean à partir de huit principes tels que notamment la détection et la résolution de problèmes dès leurs apparitions et la standardisation des activités (Drew et al, 2004). Shah et Ward, quant à eux, dans leurs études visant à évaluer l'impact du Lean sur la performance définissent la démarche Lean selon quatre principes tels que le management des ressources humaines, le management de la maintenance, le juste-à-temps et le management de la qualité totale (Shah et Ward, 2007) alors que Bruun et Mefford ont identifié six principes à la base de l'approche Lean dont la réduction des stocks et l'amélioration continue (Bruun et Mefford, 2004). Plus récemment, Liker, chercheur à l'université du Michigan, suggère de mettre en œuvre la démarche Lean selon 14 principes dont les principes de lissage de la charge de travail et de systèmes tirés (Liker, 2004) (Cf. Tableau 1).

Cette volonté d'appropriation de la démarche est également présente dans les entreprises appliquant l'approche Lean (Lyonnet, 2008). Par exemple, l'entreprise Valéo a développé sa propre démarche à partir de 5 Axes : (1) Implication du Personnel, (2) Système de Production Valeo, (3) Intégration des Fournisseurs, (4) Innovation Constante et (5) Qualité Totale. De la même façon, les entreprises Daimler-Chrysler, Delphi et Bosch ont élaboré leur propre système respectivement nommé « Daimler-Chrysler Operation System », « Delphi Production System » et « Bosch Production System » (Liker, 2004).

Bien que ces différents auteurs et entreprises identifient un nombre variable de principes, un consensus existe autour de la définition du système Lean. En effet, l'ensemble de ces principes peut être regroupé en 6 grands concepts Lean communs : (1) l'élimination des gaspillages, (2) le juste à temps, (3) la qualité, (4) l'amélioration continue, (5) le management visuel et (6) le management des hommes (Cf. Tableau 1).

# Chapitre 1 : cadre conceptuel de la recherche

		Les concepts Lean cités par 26 auteurs référents																									
Concepts	Principes Lean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Elimination des gaspillages	Elimination des gaspillages								x								x		x						x	x	x
	Valeur																	x									
	Chaîne de valeur																										
	Analyse de la production										x		x						x					x	x		
	Eliminer les opérations sans valeur ajoutée																										
	Créer des chaînes de valeur																										x
Juste à temps	Utilisez des systèmes « tirés » pour éviter la surproduction																										x
	Flux																										
	Flux tiré																										
	Juste à temps																										x
	Techniques de changements de série rapides	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Systèmes tirés/ kanban	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Réduction de taille de lot	x	x		x	x	x		x	x	x	x	x	x	x												
	Juste à temps/ flux continu	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Cellules de travail en U																										
	Commandes et changements de série rapides																										
	Réduction des stocks																										
	Flexibilité																										
	Lisser la charge de travail																										
	Tirer le flux lorsque la chaîne de valeur doit être interrompue																										
	Flexibiliser les opérations																										
	Introduire les informations sur les besoins client																										
	Standardiser les activités pour créer les bases de la flexibilité																										
	Production lissée																										x
Amélioration continue	Décisions sur une philosophie à long terme																										x
	Programme d'amélioration continue																										
	Programme d'amélioration de la sécurité																										
	Kaizen/amélioration continue																										
	Devenez une entreprise apprenante/ réflexion systématique et l'amélioration continue																										
	Procéder à des améliorations constantes (Kaizen, Continuous improvement process)																										
	La standardisation des tâches est la base de l'amélioration continue et de la responsabilisation des employés																										

## Chapitre 1 : cadre conceptuel de la recherche

		Les concepts Lean cités par 26 auteurs référents																										
Concepts	Principes Lean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Qualité parfaite	Programmes de management de la qualité	x																										
	Réduction des temps de cycles											x	x	x				x	x			x	x					
	Management par la qualité totale	x					x	x	x	x	x	x	x					x	x			x	x					
	Optimisation de la maintenance/ procédés innovants											x	x										x					
	Maintenance préventive		x				x			x	x	x	x	x					x	x			x	x				
	Mesure de la capacité du procédé											x	x						x	x			x					
	Automatisation							x																				x
	Standards							x																				x
	Management de la qualité							x														x						x
	Meilleure qualité																				x							x
	Jidoka (Qualité sur place)																								x			x
	Maintenance de la production totale																											x
	Processus stables et standardisés																											x
	Réseaux de fournisseurs																								x			
	Processus de contrôle																			x								
	Standardisation								x																			
	Flux ininterrompu																										x	
	Détecter et résoudre les dysfonctionnements																										x	
	Flux pièce à pièce																											x
	Culture de résolution immédiate de problèmes																											x
	Aller sur le terrain pour comprendre la situation																											x
	Redéfinir les modes de développement des nouveaux produits..en recherchant la standardisation																									x		
	Mettre en œuvre une nouvelle stratégie d'achat en intégrant les fournisseurs																									x		
	Bien utiliser les équipements goulets pour maîtriser les coûts de fabrication																									x		
	Système d'information vertical																									x		
	Utilisez uniquement des technologies fiables																											x
	Perfection																											x
	Optimisation																											x
	Respect du réseau de partenaires et de fournisseurs																											x
	Former des responsables de la philosophie Lean et l'enseigner aux autres																											x
	Décider en prenant le temps nécessaire, en prenant le temps, par consensus																											x
	Management visuel	Management visuel																										x
Contrôle visuel																											x	
Utilisez des contrôles visuels																											x	
Management des hommes	Multifonctions des équipes																										x	
	Management des ressources humaines																										x	
	Polyvalence de la main d'œuvre		x	x		x	x					x	x	x					x	x				x	x			
	Groupes de travail autonomes		x								x	x	x	x	x					x	x				x			
	Travail en équipe									x															x			x
	Alléger et décloisonner l'organisation notamment par une réduction du nombre de niveaux hiérarchiques																									x		
	Porter une nouvelle considération aux ateliers																									x		
Ensemble des six concepts	Travail en équipe et participation																									x		
	Former des individus et des équipes exceptionnels																										x	
	Utilisation des hommes																										x	
	Chef d'équipe																										x	
Philosophie du modèle Toyota																											x	

**Tableau 1.** Concepts Lean communs

(1) Sugimori et al. (1977); Monden (1981); Pegels (1984); (2) Wantuck (1983); (3) Lee et Ebrahimpour (1984); (4) Suzuki (1985); (5) Finch et Cox (1986); (6) Voss et Robinson (1987); (7) Ohno (1988); (8) Hay (1988); (9) Bicheno (1989); (10) Chan et al. (1990); (11) Piper et McLachlin (1990); (12) White (1993); (13) Richey (1996); (14) Womack et Jones (2005); (15) James-Moore et Gibbon (1997); (16) Sakakibara et al. (1997); (17) Koufteros et al. (1998); (18) Åhlström (1998); (19) Baglin et Capraro (1999); (20) Flynn et al. (1999); (21) White et al. (1999); (22) Bruun et Mefford (2004); (23) Drew et al. (2004); (24) Liker (2004); (25) Fujio Cho (Liker, 2004); (26) Shah et Ward (2003).

## 2.3. Présentation des concepts Lean communs

Cette partie présente ces six concepts Lean communs et leurs principaux outils permettant de répondre à l'objectif d'amélioration de la performance industrielle.

### 2.3.1. L'élimination des gaspillages

Depuis sa création, l'élimination des gaspillages (*muda* en japonais) est au cœur de la démarche Lean. La majorité des auteurs cités précédemment a identifié ce principe dans leur définition du système Lean.

Un gaspillage est défini comme une action ou une situation non créatrice de valeur pour le client (Womack et Jones, 2005). Ohno a identifié sept types de gaspillages (Ohno, 1988) ; un huitième gaspillage a été ajouté plus récemment par Liker reposant sur la créativité inexploitée (Liker, 2004) (Cf. Tableau 2). Parmi ces gaspillages, la surproduction est considérée par Ohno comme le plus problématique, puisqu'elle engendre et dissimule tous les autres types de gaspillages (Ohno, 1988). Ainsi, la surproduction crée nécessairement des stocks excédentaires et cet excédent de stocks nuit inévitablement à l'amélioration continue (Liker, 2004).

Types de gaspillages	Définition	Exemples « type » de gaspillages associés
Surproduction	Produire plus que la demande exigée par le client	Produire des pièces non commandées par le client Réaliser une production plus tôt ou plus rapide que ce qui est requis par la prochaine étape du processus
Temps d'attentes	Attendre inutilement	Attentes de renseignements, d'outils, d'approbations, de contrôle qualité, de reprise
Transports et manutentions inutiles	Transporter sans que le transport ait une réelle utilité	Mauvaise optimisation des flux de matières Longues distances entre les étapes d'un processus
Usinages inutiles ou mal faits	Fabriquer des produits qui ne répondent pas aux caractéristiques exigées par la clientèle	Actions inutilement nombreuses pour parvenir au résultat souhaité Finition au-delà de la spécification
Stocks excédentaires	Stocker des quantités supérieures à la quantité nécessaire pour l'étape suivante du processus de fabrication	Matières premières, encours ou produits finis en excès

## Chapitre 1 : cadre conceptuel de la recherche

Gestes inutiles	Réaliser des mouvements inutiles pour l'exécution du travail	Recherche d'outils, de pièces, d'information Contrôle, mesure, vérification, manipulation supplémentaires pour la fabrication de pièces
Production de pièces défectueuses	Fabriquer des produits défectueux ou devant être rectifiés	Erreurs de conception, de fabrication, de contrôle, défauts répétitifs
Créativité inexploitée	Perdre du temps, des idées, des compétences en ne prenant pas en compte les idées des employés	Réalisation de tâches pouvant être éliminées, attente d'instructions, travailler sans objectifs, erreurs répétitives, manque d'implication, absence, faible productivité

**Tableau 2.** Définitions et exemples de gaspillage ou muda (adapté de Ray et al., 2006)

Notons qu'il existe deux autres formes de gaspillages : l'excès (muri en japonais) et l'irrégularité (mura) (Womack et Jones, 2005). Les gaspillages d'excès sont répartis en deux catégories : l'excès en matériel correspondant aux consommations excessives de matière première ou de pièces dans les ateliers et l'excès de personnel défini comme une main d'œuvre excessive, inefficace ou en attente d'occupation (Imai, 1997). L'irrégularité correspond aux variations de rythmes de flux, de délais et de cycles d'activité conduisant l'entreprise à constituer des réserves de stocks ou des stocks tampons.

Finalement, selon Drew et ses collaborateurs, toute découverte de gaspillage dans une activité opérationnelle signale l'existence de coûts inutiles (Drew et al., 2004). Par son objectif de réduction des coûts, l'élimination des gaspillages constitue un objectif fondamental de la démarche Lean.

Sous le concept général d'élimination des gaspillages, nous avons également regroupé les principes de valeur et de chaîne de valeur.

L'élimination des gaspillages nécessite également au préalable d'analyser la valeur souhaitée par le client. Les entreprises ont des difficultés à définir correctement la notion de valeur (Womack et Jones, 2005). Décider du niveau de qualité du produit avec l'ensemble des personnes impliquées dans son contrôle est nécessaire pour réduire ses coûts de fabrication. Il est possible qu'un client considère comme défectueux des produits jugés satisfaisants par le fabricant (Shingo, 1985).

Au contraire, il est parfois inutile de chercher à réduire certains défauts qui ne seront pas perçus comme tel par le client.

Le principe de chaîne de valeur consiste à distinguer les étapes créatrices de valeur (outil en découpe, fermeture d'une presse) de celles non créatrices de valeur (attente due à une panne, nettoyage supplémentaire). Afin de visualiser ces différentes étapes du flux de production du produit depuis le fournisseur jusqu'au client final, un outil nommé cartographie de chaîne de valeur ou « Value Stream Mapping » est utilisé. Nous reviendrons plus en détail sur la mise en œuvre de cet outil au cours du chapitre 3 (Cf. Chapitre 3, partie 3).

### 2.3.2. Le juste à temps

Pour éliminer les encours superflus de production et assurer un flux continu des produits, l'entreprise Lean s'appuie sur un concept essentiel : le juste à temps développé au début des années 1950 par Ohno (Ohno, 1988). Sa source d'inspiration fut l'observation du fonctionnement d'un supermarché américain. Dans un supermarché, le client peut obtenir ce dont il a besoin au moment souhaité et dans les quantités voulues. A l'image de ce fonctionnement, le juste à temps vise à fabriquer le produit en quantité juste nécessaire, au moment voulu et disponible à l'endroit voulu. Le concept de juste à temps est défini à partir des notions principales suivantes : le lissage de la charge de travail, le flux tiré, l'utilisation de systèmes Kanban et la réduction des temps de changement de série (Shingo, 1983; Ohno, 1988).

Il n'est possible de mettre en œuvre des systèmes tirés que si l'entreprise a procédé au préalable à un lissage de sa production. Cette méthode aussi appelé heijunka en japonais désigne le lissage de la production à la fois par le volume et par le mix de produits. Cette approche consiste à fabriquer les produits selon le volume total des commandes pendant une période et de les organiser afin de produire chaque jour la même quantité et le même assortiment de produits (Liker, 2004). Pour ce faire, le lissage du programme peut nécessiter d'anticiper ou de reporter des expéditions. En effet, dans le cas où les commandes subissent une hausse de variation, l'entreprise serait contrainte d'avoir recours à des heures supplémentaires

ou d'utiliser ses ressources (matérielles et humaines) à la limite de leurs capacités. A l'inverse, dans le cas où les commandes seraient moins importantes le personnel de l'entreprise serait sous-utilisé. Une fois le programme de production lissé, l'entreprise peut introduire le principe de flux tiré.

Les prémices du principe de flux tiré ont été introduites en 1948 par Ohno au sein de l'usine *Honsha* du groupe Toyota. A cette époque le principe n'était appliqué que pour le processus d'approvisionnement (Shimizu, 1999). Par opposition au terme *flux poussé* utilisé lorsque la production est décidée sur la base d'une anticipation de la demande, le terme *flux tiré* est utilisé lorsque la production d'un processus *A* est déclenchée par la commande d'un processus-client *B* ; le processus-fournisseur *A* s'interdisant de produire en l'absence de commande (Giard et Mendy, 2007). Après le grand conflit de 1950, les ateliers de montage et d'usinage de l'usine *Honsha* du groupe Toyota furent synchronisés par ce principe. Cette méthode ambitieuse, alors, essentiellement quatre résultats :

1. une diminution des stocks de toute nature, mais particulièrement de ceux situés entre les postes de travail (les encours), tel que le stock de matière première,
2. une diminution des coûts globaux résultant des réglages, des manutentions et des stocks,
3. une diminution du cycle de fabrication réduisant le délai de livraison d'une commande,
4. une augmentation de la flexibilité conduisant la production à s'adapter aux variations de la demande.

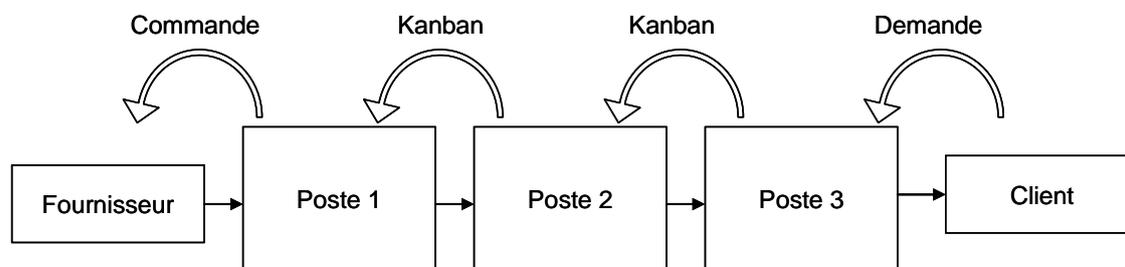
L'outil Kanban (étiquette qui accompagne chaque lot de pièces) a été introduit en 1953 dans les ateliers de montage et d'usinage de l'usine *Honsha* pour gérer le système tiré. Le Kanban est un outil de prévention de surproduction, de manutentions inutiles, permettant de mettre en évidence les problèmes latents et de contribuer à l'assurance qualité. Il s'agit à la fois d'une indication de fabrication et d'un ordre de transport. En effet, deux types de Kanban existent :

- le Kanban de production correspondant à la fiche d'instruction concernant l'opération,
- le Kanban de transfert correspondant à la fiche d'identification et de transport.

Les fonctions de l'outil Kanban sont définies selon six règles d'utilisation fondamentales (Ohno, 1988) :

1. Le poste aval se rend en amont afin d'y retirer la quantité exacte mentionnée sur le Kanban
2. L'amont fabrique la quantité retirée telle qu'elle est portée sur la fiche Kanban et dans l'ordre des retraits
3. Ne rien produire ni transférer sans un Kanban
4. Un Kanban doit obligatoirement accompagner le produit
5. Stopper immédiatement la production lorsqu'une pièce défectueuse apparaît
6. Exiger la perfection absolue à chaque poste de travail, s'efforcer de réduire le nombre de Kanban en circulation

Le fonctionnement de l'outil Kanban est résumé sur la figure 2.



**Figure 2.** Fonctionnement de l'outil Kanban

- le poste 3 consomme les produits provenant du poste 2. Chaque fois qu'il utilise un container de pièces, il détache de celui-ci une carte Kanban qu'il renvoie au poste 2. Cette carte Kanban constitue pour le poste 2 un ordre de fabrication.
- quand le poste 2 a terminé la fabrication du container, il attache à celui-ci un Kanban. Le container est alors acheminé vers le poste 3.

Le système Kanban permet ainsi de contrôler et de maîtriser les encours en circulation entre le fournisseur et le client garantissant une production à flux tiré. Cependant, l'application de ce système nécessite un changement d'état d'esprit de l'encadrement et implique une remise en cause du système de production existant (Ohno, 1988).

La mise en œuvre de systèmes tirés sollicite également une plus grande flexibilité et des changements de séries plus fréquents. Pour contribuer au changement rapide de production, Shingo a développé la méthode SMED (Single Minute Exchange of Die ou changement de fabrication en moins de 10 minutes) (Shingo, 1985). Cette méthode consiste à identifier les étapes de réglage dites « internes » - qui sont nécessairement réalisées lorsque la machine est arrêtée et celles dites « externes » - pouvant être réalisées lorsque la machine est encore en fonctionnement. Pour souligner les avantages de cet outil, Shingo prend pour exemple l'arrêt d'une formule 1 à son stand où si tout est parfaitement planifié, un gain de temps considérable est obtenu (Shingo, 1985). Le SMED s'élabore suivant quatre étapes principales :

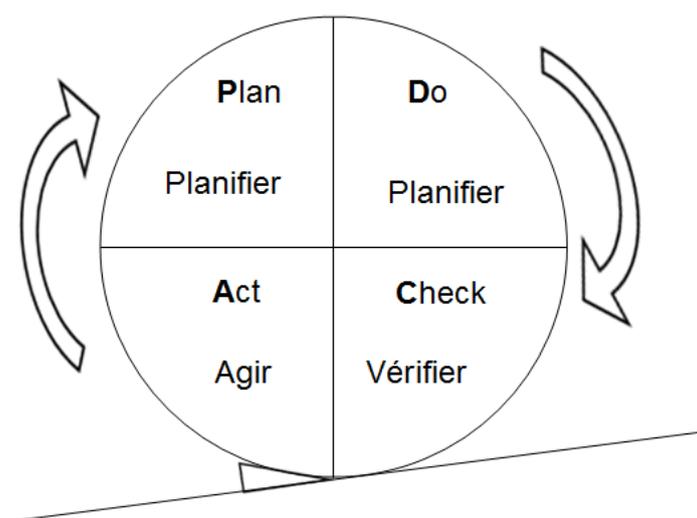
1. la distinction entre les réglages internes et externes qui nécessite de lister toutes les étapes nécessaires au changement de série (contrôle des instruments de mesure, montage et démontage de l'outillage, etc.),
2. la séparation de réglages internes et externes et l'identification de ceux pouvant être réalisés en temps externe,
3. la transformation de réglages internes en réglages externes,
4. la rationalisation de tous les aspects de l'opération de réglage avec l'objectif de diminuer le temps total de changement de série.

Cette méthode permet ainsi d'optimiser les délais de fabrication de manière considérable. Shingo affirme que l'objectif d'un changement de série d'une durée inférieure à dix minutes peut être atteint dans la plupart des cas (Shingo, 1985).

Cependant, plusieurs dysfonctionnements peuvent nuire à la mise en œuvre du juste à temps. Le juste à temps intègre un processus d'amélioration permanente induisant une remise en cause constante des éléments établis (Molet, 2006). Les rebuts, les ruptures d'approvisionnement, les pannes machines, l'absentéisme sont autant d'aléas générateurs de stocks, à l'encontre de l'objectif même du juste à temps d'une production en quantité juste nécessaire. La maîtrise du management, de l'amélioration continue et de la qualité sont par conséquent d'autres facteurs participant au succès de mise en œuvre du juste à temps.

### 2.3.3. Le Kaizen ou l'amélioration continue

Le terme Kaizen introduit en 1986, correspond à l'association de deux termes, « Kai » signifiant Changement et « Zen » signifiant Bien (au sens de Mieux) (Imai, 1997). Le Kaizen se traduit par « amélioration continue » reposant sur « la responsabilisation de chacun pour le culte du mieux » (Imai, 1997). Selon Imai et Shingo, l'amélioration continue a été le facteur clef de succès le plus important dans les usines du Japon (Shingo, 1985; Imai, 1997). C'est une démarche graduelle et douce qui s'oppose aux réformes brutales. Ainsi, l'approche Kaizen repose tout d'abord sur la roue de Deming ou approche PDCA (**P**lan : Planifier, **D**o : Faire, **C**heck : Vérifier, **A**ct : Agir) (Cf. Figure 3).



**Figure 3.** La roue de Deming ou approche PDCA

La roue symbolique de Deming est ainsi répartie en quatre phases :

- Plan : prévoir les actions à entreprendre, définir les objectifs à atteindre et l'échéancier,
- Do : faire, mettre en œuvre la solution retenue,
- Check : Vérifier que les objectifs visés sont atteints, que le problème est résolu,
- Act : étudier une nouvelle amélioration, réagir en cas de problème et retourner à la phase « Plan ».

De plus, les dix principes de l'approche Kaizen sont les suivants (Cf. Tableau 3):

## Chapitre 1 : cadre conceptuel de la recherche

N°	Principe	Définition
1	Casser les paradigmes	La culture, les habitudes et les façons de faire forment dans l'entreprise des paradigmes qui peuvent sembler immuables. Avec Kaizen, il s'agit de penser différemment, et cela quitte parfois à remettre en cause des évidences, en évitant de penser systématiquement que tout problème récurrent n'a pas de solution.
2	Travailler les processus autant que les résultats	Traditionnellement, les acteurs d'un processus focalisent davantage sur les résultats à atteindre que sur la manière d'y parvenir. L'approche Kaizen recommande donc à ces acteurs de travailler sur leurs processus de manière à améliorer le niveau de qualité et d'homogénéité des résultats.
3	Évoluer dans un cadre global	Avec Kaizen, les capacités individuelles des acteurs doivent être exploitées dans le but d'améliorer la productivité globale de l'organisation. Les objectifs d'efficacité définis pour les acteurs d'un même processus doivent donc être mis en cohérence, et ces acteurs doivent prendre conscience de leur rôle dans la réalisation de l'objectif global du processus.
4	Ne pas juger, ne pas blâmer	Le respect mutuel des acteurs est un des principes clés de la philosophie Kaizen. La recherche des causes du problème doit se substituer progressivement à celle des acteurs à l'origine du problème. L'idée est de faire émerger une analyse positive des problèmes en voyant ceux-ci comme des opportunités d'amélioration.
5	Considérer l'étape suivante comme un client	Kaizen introduit la notion de client interne dans la chaîne de réalisation d'un processus. En terme de fonctionnement, cela implique que les problèmes doivent désormais être traités et remédiés là où ils apparaissent et non plus en phase terminale de réalisation du processus.
6	Faire de la qualité une priorité	La qualité doit être intégrée aux objectifs de performance du processus au même titre que le sont classiquement délais et coûts.
7	Donner une orientation du marché au changement	L'organisation doit comprendre les besoins des clients, explicitement ou implicitement exprimés, de manière à les traduire en termes d'activités à réaliser.
8	Gérer les problèmes en amont	Il s'agit d'introduire le management de la qualité le plus possible en amont du processus d'élaboration du produit, de manière à éviter l'apparition tardive de problèmes plus difficiles et plus coûteux à remédier.
9	Baser les décisions sur des données tangibles	La résolution des problèmes doit se baser sur des faits et des données, et non sur des intuitions ou des opinions, qu'il s'agit de collecter et d'en vérifier la validité.
10	Identifier les véritables causes du problème	Ce principe rappelle la nécessité de ne pas s'arrêter à la première cause visible du problème constaté (recours à l'outil "5 pourquoi"). Cela implique aussi de vérifier que la résolution d'un problème ne cause pas l'apparition de nouveaux problèmes.

**Tableau 3.** Principes clés de l'approche Kaizen (Siebenborn, 2005)

La mise en œuvre du principe d'amélioration continue fait appel à toutes les méthodes de résolution de problèmes mais aussi aux concepts de juste à temps, de gestion de la qualité totale et de zéro défaut (Imai, 1997). Pour que la logique d'amélioration continue devienne un réel état d'esprit, il est nécessaire que l'ensemble des acteurs de l'entreprise collabore et participe activement à la démarche Lean au travers de multiples actions d'améliorations.

### 2.3.4. La qualité parfaite

Le troisième concept Lean commun identifié est celui de recherche de qualité parfaite. Les auteurs référents citent de nombreuses pratiques Lean liées à la notion de qualité (Cf. Tableau 1). Quatre d'entre eux se réfèrent à des principes très généraux tels que l'optimisation, la perfection et le principe de « meilleure qualité » (James-Moore et Gibbon, 1997; Åhlström, 1998; Liker, 2004; Womack et Jones, 2005). La plupart des autres auteurs s'appuient quant à eux sur des principes orientés vers la recherche de dysfonctionnements, tels les principes de culture de résolution immédiate de problèmes, de standards, de flux pièce à pièce pour mettre au jour les problèmes, de maintenance, d'utilisation de technologie fiable, de détection et de résolution des dysfonctionnements (Lee et Ebrahimpour, 1984; Voss et Robinson, 1987; Ohno, 1988; Bicheno, 1989; Chan et al., 1990; Piper et McLachlin, 1990; White, 1993; James-Moore et Gibbon, 1997; Drew et al., 2004; Liker, 2004; Womack et Jones, 2005; Shah et Ward, 2007). Prolongeant la même logique de recherche de dysfonctionnement, plusieurs auteurs proposent une approche plus générale : le management par la qualité totale.

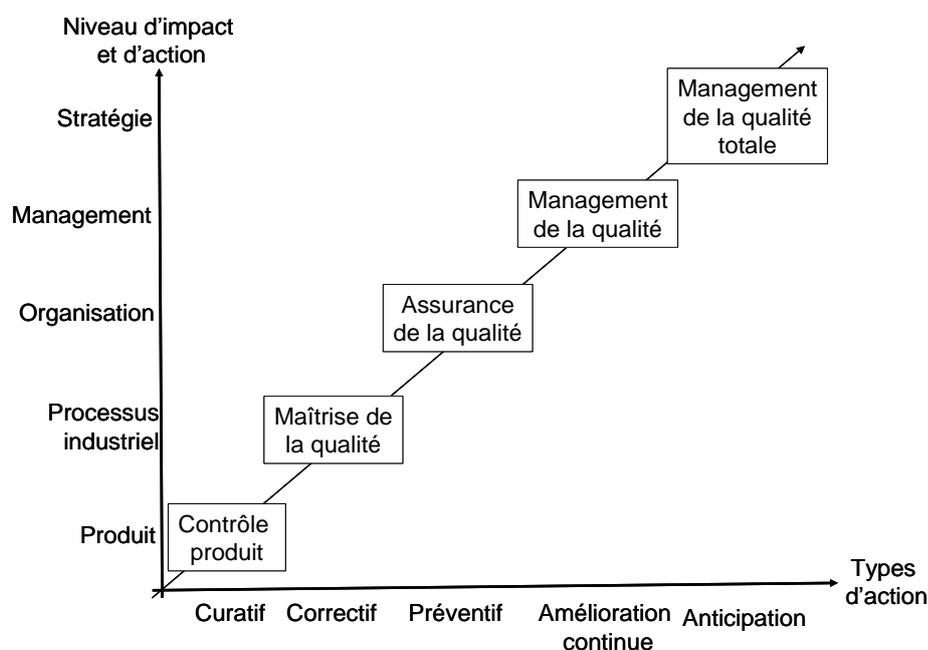
Nous présentons dans ce paragraphe ces trois notions que sont le management par la qualité totale, la culture de résolution de problèmes et la recherche de la perfection.

#### **Le management par la qualité Totale**

La notion de qualité a connu de nombreuses évolutions au cours du temps, marquées par les transformations socio-économiques auxquelles les entreprises ont dû s'adapter (Lerat-Pytlak, 2002). Comme remarquait Molet (Molet, 2006), ce sont paradoxalement des consultants américains qui ont facilité l'émergence du

mouvement qualité au Japon. Ce mouvement a été ensuite repris par des spécialistes japonais.

Rappelons, tout d'abord, les grandes évolutions de la notion de qualité, allant du simple contrôle du produit à un management par la qualité totale (cf. Figure 4).



**Figure 4.** Evolution des approches qualité vers le management de la qualité totale (Molet, 2006)

De 1900 à 1930, la période durant laquelle le système taylorien et la production de masse prédominaient, la qualité se résumait à l'inspection du travail et à la maîtrise des caractéristiques dimensionnelles des produits fabriqués. Le principe de « prime à la quantité » développé par Taylor avait conduit les ouvriers à privilégier la quantité au détriment de la qualité des pièces produites. Ainsi, la forte augmentation de la production a induit une augmentation du nombre de défauts et, par conséquent, du nombre de produits à inspecter.

Par la suite, de nombreux producteurs étaient désireux de réduire les coûts des inspections multiples nécessaires pour évaluer la conformité (Reeves et Bednar, 1994) mais ne parvenaient pas à comprendre les variations des caractéristiques dimensionnelles des produits fabriqués en série. C'est au début des années 1920, au sein de l'American Bell Telephone Company et de sa filiale la Western Electric Company, où coopéraient des praticiens et des chercheurs industriels américains tels

que W.A. Shewart, J. Juran puis plus tard W.E. Deming, que le contrôle statistique de la qualité puis la notion de maîtrise de la qualité se sont développés.

Une nouvelle évolution de la notion de qualité a eu lieu dans les années 1950 conduisant à la naissance de l'assurance qualité, démarche préventive ayant pour objectif d'identifier, de plus en plus en amont du processus, les éléments et causes de non qualité. Pour ce faire, plusieurs méthodes ont été développées dont notamment la méthode d'Analyse des Modes de Défaillance, de leur Effet et de leur Criticité (AMDEC) et la roue de Deming. A partir de cette époque, la recherche de qualité a pris une ampleur plus importante. Par exemple, en 1951, au Japon est créé le prix de Deming récompensant les entreprises ayant réalisé des améliorations considérables dans le domaine de la qualité.

Au cours des années 1960, les premiers cercles de qualité sont organisés au Japon pour prendre en compte les idées des opérateurs dans l'amélioration du contrôle qualité. Parallèlement, le concept de maîtrise de la qualité totale ou Total Quality Control (TQC) élaboré par Juran en 1950 et Feigenbaum en 1956, est introduit. La qualité est alors associée à d'autres notions telles que la performance, les procédures, les délais, la maintenance, la fiabilité et la sécurité. Au milieu des années 1970, l'objectif des cercles de qualité s'est élargi. Le sujet des améliorations intègre également les notions de maintenance, du prix de revient et de sécurité. Durant ces deux décennies, la qualité est devenue un dispositif de développement économique.

Dans les années 1980, une grande étape est franchie avec le développement du concept de management de la qualité puis du management de la qualité totale. La qualité totale regroupe un ensemble de principes et de méthodes ayant comme stratégie globale la mobilisation de toute l'entreprise pour obtenir une meilleure satisfaction du client au moindre coût. Ce mode de management vise un succès à long terme par la satisfaction du client. Il induit un élargissement des avantages socio-économiques dont les conditions de travail et les rémunérations. Les pratiques et techniques associées au management par la qualité totale reposent sur trois axes : la focalisation sur le client, l'amélioration continue et le travail en équipe (Dean et Bowen, 1994) (Cf. Tableau 4).

## Chapitre 1 : cadre conceptuel de la recherche

	Focalisation client	Amélioration continue	Travail en équipe
Principes	<p>Importance primordiale de la fourniture de produits et services qui répondent aux besoins des clients</p> <p>Ceci nécessite une focalisation sur le client de l'ensemble de l'organisation</p>	<p>La satisfaction permanente des clients ne peut être obtenue que par une amélioration sans relâche des processus concourant à la réalisation des produits et services</p>	<p>Le meilleur moyen pour mettre en œuvre la focalisation client et l'amélioration continue est de développer la coopération au sein de l'organisation toute entière, ainsi qu'avec les clients et les fournisseurs</p>
Pratiques	<p>Contact direct avec les clients</p> <p>Collecte des informations sur les besoins des clients</p> <p>Utilisation de l'information collectée pour concevoir et réaliser les produits et services</p>	<p>Analyse des processus et résolution des problèmes</p> <p>Reengineering</p> <p>Application de la méthode Deming (Plan/Do/Check/Act)</p>	<p>Création de différents types d'équipes de travail</p> <p>Développement de l'apprentissage en équipes</p> <p>Mise en place de pratiques bénéfiques à l'ensemble des acteurs des processus</p>
Techniques	<p>Enquêtes clients</p> <p>Groupes de travail avec les clients</p> <p>Techniques d'analyse des besoins (type analyse fonctionnelle)</p>	<p>Cartes de contrôle et Maîtrise Statistique des Processus</p> <p>Analyses Pareto</p> <p>Diagramme d'Ishikawa</p>	<p>Techniques de communication en groupe</p> <p>Clarification des rôles</p>

**Tableau 4.** Principes, pratiques et techniques du Management par la Qualité Totale (Dean et Bowen, 1994)

L'objectif d'une démarche de qualité totale est la pérennité de l'entreprise garantie par la satisfaction et la fidélisation de ses clients. Cette démarche recherche également la satisfaction de tous les acteurs de l'entreprise : clients, fournisseurs, personnel, collectivité et actionnaires. Récemment, en Europe, le laboratoire SYMME a proposé une rupture dans le domaine de la qualité avec le tolérancement inertiel et le pilotage inertiel des procédés (Denimal, 2010). Cette proposition améliore à moindre coût la qualité des produits livrés au client.

Finalement, il convient de remarquer que dans les travaux plus récents (Bruun et Mefford, 2004; Drew et al, 2004; Liker, 2004; Womack et Jones, 2005), le terme de management par la qualité totale a été progressivement abandonné pour définir l'approche Lean au profit des notions de base du TPS liées à l'identification rapide des dysfonctionnements détaillées ci-dessous.

### **Culture de résolution et détection rapide des problèmes**

A l'inverse de la production de masse dans laquelle l'arrêt de la production était absolument interdit, l'approche Lean préconise une rapide détection et résolution des dysfonctionnements. Plusieurs principes visent cet objectif fondamental, par exemple le principe du flux pièce à pièce permet de faire apparaître les problèmes pouvant ainsi être corrigés rapidement.

Pour détecter et résoudre les problèmes dès leur apparition, l'entreprise Lean s'appuie sur les trois instructions suivantes (Liker, 2004) :

- a. aller voir sur le terrain ce qui se passe et analyser la situation,
- b. utiliser le flux pièce à pièce et le système andon pour mettre au jour les problèmes,
- c. poser cinq fois la question « pourquoi ? ».

#### a) Aller voir sur le terrain et analyser la situation

De nombreuses méthodes permettent aux dirigeants de visualiser et analyser rapidement la situation de leur entreprise. Nous présentons ici quelques exemples de méthodes dont les standards, l'autonomation, le rapport A3, l'utilisation des ressources goulots, les dispositifs anti-erreurs ou poka-yoke et la méthode 5S.

##### *Le standard de travail*

Le standard décrit une règle fixe pour définir un produit, une méthode de travail ou une quantité à produire. Sa mise en œuvre est un élément majeur pour construire la qualité puisqu'aucune amélioration n'est possible sans standard. Le standard est également un outil de management : « chaque fois qu'un défaut est découvert la première question est de savoir si le standard est respecté » (Liker, 2004). Pour être un guide utile, ils doivent être conçus et améliorés par ceux qui exécutent le travail. Ce type de démarche d'implication dans la formalisation des standards vise à améliorer l'efficacité du travail en équipe.

##### *Le principe d'autonomation ou d'auto-activation*

Le concept d'autonomation ou d'auto-activation contribue à l'élimination des gaspillages en évitant la fabrication de produits de mauvaise qualité en fin de chaîne. Selon Ohno, ce concept est le deuxième pilier fondamental sur lequel repose le TPS.

La première machine « auto-activée » à l'origine du concept d'autonomation était une machine à tisser inventée par Toyota (Ohno, 1988). Cette machine était conçue pour s'arrêter instantanément en cas de pièce défectueuse. Ce concept a été conçu dans le cas où un opérateur travaillant simultanément sur plusieurs machines ne s'apercevrait pas d'une anomalie. Cette technique permet ainsi d'identifier rapidement les défauts pouvant survenir au cours de la production. L'arrêt de la machine en cas d'anomalie favorise la recherche des causes de dysfonctionnements.

### *Le rapport A3*

Le « rapport A3 » ou « A3 report » sur une feuille de format A3 (297 x 420 mm) est un outil conçu par Toyota Motor Corporation permettant de guider l'utilisateur dans sa démarche de résolution de problèmes. Cet outil est un processus de collecte et d'analyse des informations précédant la réalisation d'un plan d'actions d'amélioration (Liker, 2004) permettant :

- de faire apparaître tous les éléments pouvant entraîner des difficultés et des retards dans le flux de fabrication,
- d'inclure toutes les personnes impliquées dans la fabrication du produit,
- d'identifier les premiers dysfonctionnements pour faciliter l'élaboration d'un plan d'actions d'amélioration.

### *Bien utiliser les équipements goulots*

Une bonne utilisation des ressources goulots du flux de fabrication, ressources dont la capacité est inférieure aux besoins (Goldratt et Cox, 2006), contribue à la réduction des pertes de production et donc à l'amélioration du rendement. La chasse aux dysfonctionnements doit être privilégiée sur ces ressources puisqu'étant saturées elles limitent l'ensemble du flux (Baglin et Capraro, 1999).

### *Les dispositifs anti-erreurs ou poka-yoke*

La méthode poka-yoke est un détrompeur permettant d'éviter ou de signaler les erreurs en rendant celles-ci évidentes. Cette méthode a été mise en œuvre pour la première fois au début des années 1960. Couronnée de succès, elle fut ensuite reprise par des entreprises japonaises mondialement connue comme Kubota, Matsushita ou Toyota pour ne citer que celles-ci (Shingo, 1985). Le but de cette méthode est de réduire le contrôle statistique. En effet, le contrôle statistique peut entraîner une mise

au rebut des produits appartenant à un lot entraînant une vérification de tous les produits un par un pour ne pas tout mettre au rebut, il s'en suit par conséquent une perte d'argent non négligeable.

Un autre point important de Shingo est de constater que le contrôle statistique à un coût relativement élevé sans apporter nécessairement d'améliorations sur les résultats de la production. Le fait d'utiliser des systèmes poka-yoke, ayant un prix dérisoire, permet un contrôle de la production de tous les produits fabriqués de manière simple et efficace et une réduction des défauts. Le système poka-yoke permet ainsi d'éviter les erreurs (d'origine souvent humaine) ou de les repérer dès qu'elles ont été commises.

### *La méthode 5 S*

La méthode 5 S fait partie des pratiques fondamentales que doivent maîtriser les entreprises. Le principe des 5 S est facile à comprendre et sa mise en œuvre ne requiert ni savoir-faire particulier ni investissement financier important. Le 5 S est l'abréviation de cinq mots japonais commençant par un S : Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke. La définition de chacun des termes est présentée ci-après (Cf. Tableau 5).

<b>5 S</b>	<b>Définition</b>	<b>Objectif</b>
<b>SEIRI</b>	Débarras	Lutter contre l'accumulation, enlever les éléments inutiles
<b>SEITON</b>	Rangement	Aménager pour éviter les pertes de temps et d'énergie. Une place pour chaque chose et chaque chose à sa place
<b>SEISO</b>	Nettoyage	Respecter la propreté. Le non respect de la propreté peut provoquer des anomalies
<b>SEIKETSU</b>	Ordre	Prévenir l'apparition de la saleté et du désordre
<b>SHITSUKE</b>	Rigueur	Pérenniser l'effort accompli. Nécessite la prise d'habitude et encourage la création d'un état d'esprit

**Tableau 5.** Méthode 5 S

### b) Le flux pièce à pièce et le système andon

#### *Le flux pièce à pièce*

Le flux pièce à pièce consiste à réaliser une production par lot d'une seule unité. La cadence de production est déterminée à l'aide d'un régulateur appelé takt time. Takt est un mot allemand qui signifie rythme ou compteur. Il permet de synchroniser le rythme de la production sur celui des ventes. Le calcul du takt time est réalisé de la façon suivante :

$$\text{Takt time} = \frac{\text{temps de travail effectif par jour}}{\text{demande du client par jour}}$$

Quelques exemples d'avantages relatifs à la mise en œuvre du flux pièce à pièce sont présentés dans le tableau 6.

Avantages	Exemples
Construit la qualité	Chaque opérateur est son propre contrôleur qualité et s'efforce de résoudre tout problème éventuel à son niveau avant de le transmettre au processus suivant. Le problème peut être diagnostiqué et corrigé immédiatement
Amélioration de la flexibilité	Plus grande flexibilité liée à une réduction des temps d'écoulement des pièces et des temps de changements de séries
Réduction des coûts d'immobilisation des stocks	La mise en œuvre du flux pièce à pièce engendre une diminution des coûts de stockage et des risques relatifs à l'obsolescence
Réduction de l'espace utilisé	La réduction des stocks générée par la mise en place du flux pièce à pièce engendre une diminution de l'espace utilisé pour la production
Amélioration du moral	Dans le flux pièce à pièce, les opérateurs exécutent plus d'opérations à valeur ajoutée et voient immédiatement le résultat de leur travail induisant un sentiment de devoir accompli et de fierté

**Tableau 6.** Exemples d'avantages liés à la mise en œuvre du flux pièce à pièce  
(adapté de Liker, 2004)

#### *Le système andon*

Le système andon est un signal d'alarme qui s'allume lorsque l'opérateur appuie sur un bouton ou tire sur une corde d'alerte. Ce système permet à l'opérateur d'avertir rapidement les superviseurs de la présence d'un problème sur la chaîne de production (Ohno, 1988). Cet outil de signalement du problème est au cœur de la

démarche de résolution de problèmes, conduisant à l'intervention et la rectification immédiate des dysfonctionnements.

### c) La méthode « 5 pourquoi »

Cette méthode de résolution de problèmes, très utilisée chez Toyota, est un outil efficace pour que chacun reste concentré sur le résultat des problèmes plutôt que sur la recherche du « fautif ». Cela consiste à répéter « cinq fois pourquoi » pour identifier la cause racine du problème. Un exemple d'analyse des « 5 pourquoi » extrait de l'usine Toyota est présenté dans le Tableau 7.

Quel est le problème?	
Arrêt de la machine	
Pourquoi ?	Parce qu'il s'est produit une surcharge, les fusibles ont sauté.
Pourquoi ?	Parce que la lubrification des coussinets était insuffisante.
Pourquoi ?	Parce que la pompe de graissage ne pompait pas suffisamment.
Pourquoi ?	Parce que l'arbre de la pompe était endommagé et vibrait.
Pourquoi ?	Parce qu'il n'y a pas de filtre, ce qui a entraîné l'inclusion de déchets métalliques.

**Tableau 7.** Exemple d'analyse « 5 pourquoi » (Liker, 2004)

### **La recherche de la perfection par des améliorations radicales et progressives**

Pour atteindre la perfection, chaque entreprise doit suivre simultanément des démarches d'amélioration radicales et progressives (Womack et al., 2005). Par opposition à l'approche Kaizen, démarche lente, progressive et continue, les approches de déploiement de politique (appelé hoshin kanri au Japon) et de reengineering sont des démarches d'amélioration radicale.

#### *Management Hoshin kanri : politique de modifications profondes*

Hoshin Kanri, également désignée par *management par percée*, met l'accent sur une politique de modifications profondes et radicales. Généralement utilisé pour la conduite stratégique de percée ou conduite proche du terrain, cette forme de management permet de gérer les changements profonds concernant, notamment,

l'aménagement des ateliers ou l'organisation des lignes de fabrication. Cette démarche organisationnelle se base notamment sur les principes suivants (Shiba, 1995; Siebenborn, 2005) :

**- Principe 1 : l'intégration verticale**

Les objectifs du changement sont partagés par l'ensemble des niveaux hiérarchiques de l'organisation, et cela de manière à faire en sorte que les efforts qui seront menés individuellement concourent à la réalisation des objectifs clés de l'entreprise.

**- Principe 2 : la coordination transversale**

A chaque niveau hiérarchique, les collaborateurs, toutes disciplines confondues, définissent ensemble leurs propres objectifs et les moyens de les atteindre.

**- Principe 3 : l'optimisation des niveaux**

Chaque niveau se voit assigner des objectifs par le niveau supérieur, et ses résultats sont périodiquement contrôlés de façon à orienter du mieux possible les actions vers les objectifs clés de l'entreprise.

Cette approche facilite les changements rapides pouvant être nécessaire pour réagir à un environnement évolutif et permet de faire partager une vision stratégique commune.

*Le re-engineering : remise en cause fondamentale*

Le Reengineering, aussi appelé BPR (Business Process Reengineering) est défini comme « une remise en cause fondamentale et une redéfinition radicale des processus opérationnels pour obtenir des gains spectaculaires dans les performances critiques que constituent aujourd'hui les coûts, la qualité, le service et la réactivité » (Hammer et Champy, 1993). Cette approche consiste à renoncer aux procédures établies et porter un regard nouveau sur le travail nécessaire pour créer un produit. Les principes essentiels de cette approche sont les suivants :

- une réorganisation complète du processus,
- une division des tâches afin d'en réduire le temps et les efforts,
- une approche fondée sur les processus,
- l'utilisation de technologies de l'information pour intégrer ces processus.

Le BPR est un processus reposant sur des améliorations radicales de performance à court terme qui s'appuie également sur une orientation client.

Ces deux types de démarches, amélioration progressive et amélioration radicale, apparemment opposées, comportent néanmoins des similitudes. Ainsi une focalisation sur le client, une vision par processus et la mise en œuvre d'organisation globale sont présentes dans ces deux approches (Molet, 2006). Ces deux approches sont complémentaires dans la recherche de la perfection.

### 2.3.5. Le management visuel

Le concept Lean commun de management visuel repose sur l'utilisation d'indications visuelles pour garantir le bon déroulement des activités. Ainsi, regarder le processus, une pièce, une pile de stock, des informations ou un opérateur en train d'exécuter une tâche permettent d'identifier immédiatement le standard utilisé et l'existence possible d'un écart (Liker, 2004). Les praticiens de la démarche Lean préconisent l'emploi d'informations immédiatement visibles et connues de tous. Ces derniers laissent peu de place aux systèmes informatisés et aux analyses chiffrées (Houy, 2008).

Au sein des entreprises Lean, les outils de communication visuelle sont nombreux. Par exemple, utilisée de manière pertinente, la méthode 5 S peut faire partie du processus de contrôle visuel (Hirano, 1995). De la même façon, la méthode Kanban qui permet d'identifier les quantités à produire pour gérer au mieux les stocks et la production repose sur l'utilisation d'étiquettes ou bacs. Un autre outil participant au management visuel est le système *andon*, signal visuel ou sonore ayant pour but d'avertir le superviseur en cas de dysfonctionnement sur la ligne de production. Par ailleurs, les panneaux d'affichage sur lesquels sont visualisés un ensemble d'indicateurs (indicateurs de performance, objectifs de production, suggestions d'amélioration ou rapport A3) sont autant d'exemples de moyens de communication visuelle. Il est important de garder à l'esprit que le contrôle visuel ne se limite pas à l'identification des écarts par rapport aux objectifs mais fait partie intégrante du processus de travail.

### 2.3.6. Le management des hommes

Le dernier concept Lean commun identifié est le management des hommes regroupant notamment les principes de travail en équipe et de multifonction des équipes. Ohno souligne l'importance du travail d'équipe en se référant au sport d'équipe, dans lequel chaque joueur a un poste et une responsabilité associée mais participe au jeu du groupe pour pouvoir gagner. Le jeu individuel prend tout son intérêt lorsqu'il participe au jeu de groupe. Il en est de même dans l'entreprise où chaque personne ne doit pas rester cantonnée à sa tâche mais doit également s'intéresser à l'ensemble de l'entreprise. Les différents types de management sont répartis en quatre catégories (Cf. Figure 5).

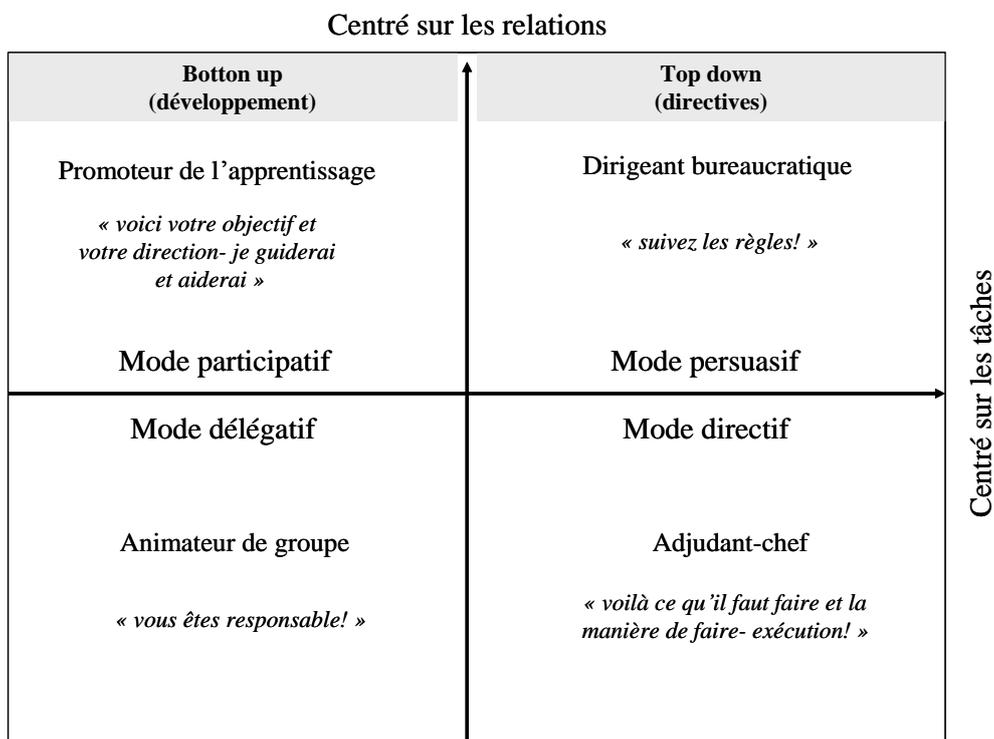


Figure 5. Types de management (adapté de Liker, 2004)

Le promoteur de l'apprentissage qui associe une connaissance approfondie du travail et la capacité à développer, guider et motiver les gens est respecté pour ses compétences techniques et suivi pour sa capacité de leadership. Ce mode de management de type participatif sera préféré pour la réussite d'une approche Lean (Liker, 2004).

Finalement, un des fondements de la réussite de l'approche Lean est l'existence d'une culture d'entreprise Lean qui régit les comportements de chacun. Le système Lean est une philosophie qui doit être partagée par tous (Liker, 2004; Womack et Jones, 2005). Sans une implication du personnel aucun des principes Lean ne peut être correctement appliqué.

Pour conclure, l'ensemble des concepts Lean (élimination des gaspillages, juste à temps, qualité, amélioration continue, management visuel et management des hommes) sont étroitement liés. Tous ces concepts coopèrent vers l'atteinte d'un double objectif : amélioration de la performance industrielle et réduction des coûts.

### **3. Déploiement du Lean : enjeux et limites**

Au cours de ces dix dernières années, un nombre croissant d'entreprises a mis en place le système Lean. Cette approche est ainsi devenue un objectif stratégique majeur des dirigeants d'entreprises. Dans la littérature, différentes démarches de la mise en œuvre du Lean sont proposées pour améliorer le plus rapidement possible la performance.

La relation entre l'application des concepts Lean et la performance des entreprises a également fait l'objet de nombreux travaux dont nous présentons les principales conclusions.

#### **3.1. Comment mettre en œuvre le Lean ?**

Toute entreprise désireuse de mettre en place une démarche Lean est, tout d'abord, confrontée au dilemme suivant : faut-il mettre en place les différents concepts phares du Lean de façon séquentielle ou simultanée ?

Plusieurs auteurs se sont intéressés à l'ordre de mise en place des concepts Lean pour optimiser l'application de cette démarche, mais les résultats sont parfois contradictoires (Åhlström, 1998; Melton, 2005; Womack et Jones., 2005; Rivera et Chen, 2007; Alarçon et al., 2008). Ainsi, il a été proposé de débiter la mise en œuvre du Lean soit par une phase de collecte des données (Melton, 2005), soit par une phase d'analyse avec le développement d'une cartographie de chaîne de valeur (Alarçon et al., 2008), soit par le principe de zéro défaut (Åhlström, 1998).

Par ailleurs, la mise en place de la démarche Lean n'est pas toujours aisée selon l'entreprise concernée. Pendant la phase de déploiement de la démarche, une réticence des employés peut être rencontrée au sein de l'entreprise (Baglin et Capraro, 1999; Alarçon et al., 2008; Houy, 2008). En effet, toute démarche de progrès initiée tend naturellement à susciter la méfiance du personnel. Pour palier à ces résistances, il est important de faire participer l'ensemble du personnel dès le début de la mise en œuvre (Baglin et Capraro, 1999). Ainsi, il a été conseillé d'initier la démarche par une phase de changement des attitudes des employés (Roos, 1990).

De plus, la mise en œuvre de l'approche Lean ne doit pas être considérée comme un ensemble d'outils ou de principes indépendants mais comme un système. Ainsi, Womack et Jones, suggèrent une mise en place en parallèle de certains principes (Womack et Jones, 2005). La démarche Lean se définit comme une approche globale, dont les principaux éléments qui la composent sont en interaction. Par exemple, le diagnostic n'est rien sans un plan d'action réalisable qui, lui-même, n'aurait aucun impact sans une formation appropriée du personnel (Baglin et Capraro, 1999). Cette vision de l'implémentation du Lean est partagée par d'autres auteurs (Koskela, 2004; Doolen et Hacker, 2005; Hicks, 2007).

Face à ces différents résultats sur lesquels nous reviendrons plus en détail (Cf. Chapitre 3, partie 1), il est difficile d'identifier un standard de la mise en œuvre du Lean.

### 3.2. Impact de la démarche Lean sur la performance industrielle

Les études traitant de l'impact du Lean sur la performance sont nombreuses (Saaty, 1996; Baglin et Capraro, 1999; Cua et al., 2001; Cagliano et al, 2004; De Treville et Antonakis, 2006; Abdulmalek et Rajgopol, 2007; Rivera et Chen, 2007; Shah et Ward, 2007). Nous présentons dans cette partie les impacts positifs et négatifs évoqués par ces différents auteurs.

#### 3.2.1. Impacts positifs de la démarche Lean

Les bénéfices du Lean conduisant à l'amélioration de la performance sont multiples. Ces bénéfices peuvent être classés en trois catégories : opérationnelle, administrative et stratégique (Kilpatrick, 2003).

Comme espéré, d'un point de vue opérationnel, les impacts les plus importants de l'approche Lean sont la réduction des stocks, l'augmentation de la productivité et la réduction des coûts de fabrication (Baglin et Capraro, 1999; Arbos, 2002; Kilpatrick, 2003; Shah et Ward, 2003; Melton, 2005; Dickson et al., 2009; Demeter et Matyusz, 2010). Ainsi, une étude menée dans 40 entreprises a mis en

évidence une augmentation moyenne de la productivité de 50% et une réduction moyenne des stocks de 80% (Kilpatrick, 2003; Cf. Tableaux 6 et 7). D'autres impacts opérationnels ont été rapportés tels qu'une réduction du temps de cycle (Kilpatrick, 2003; Shah et Ward, 2003; Melton, 2005; Demeter et Matyusz, 2010) une amélioration de la rotation des stocks (Demeter et Matyusz, 2010), une réduction de l'espace utilisé (Kilpatrick, 2003) et une réduction des temps de changements de série pouvant atteindre 70% (Baglin et Capraro, 1999) (Cf. Tableaux 6 et 7). Ces bénéfices ont été observés tant dans des grandes entreprises (GE) que dans des petites et moyennes entreprises (PME) (Baglin et Caprao, 1999; Kilpatrick, 2003; Shah et Ward, 2003; Demeter et Matyusz, 2010), ainsi que dans de nombreux secteurs d'activités jusque dans les services (Dickson et al., 2009).

La démarche Lean engendre également des gains au niveau administratif. Une réduction des erreurs de commande ainsi que du nombre de documents administratifs ont été soulignés (Kilpatrick, 2003). De la même façon, une augmentation de 25% de la précision des commandes clients en terme de qualité et de livraison a été notée (Melton, 2005).

D'un point de vue stratégique, une augmentation du volume des ventes pouvant atteindre plus de 20% a été observée suite à la mise en œuvre du Lean (Baglin et Capraro, 1999; Kilpatrick, 2003). De manière similaire, dans le secteur particulier d'un service hospitalier, Dickson a montré une augmentation du nombre de patients vus grâce à la réduction du temps de séjour moyen des patients (Dickson et al., 2009). Une amélioration du taux de service a également été soulignée suite au déploiement du Lean dans des PME françaises (Baglin et Capraro, 1999).

Par ailleurs, il faut également remarquer que les bénéfices générés par le Lean ne se limitent pas à l'amélioration de la performance opérationnelle, stratégique et administrative. En effet, plusieurs études ont identifié des impacts positifs du système Lean sur le personnel. Par exemple, la mise en œuvre du Lean génère une amélioration de la motivation du personnel (Baglin et Capraro, 1999; De Treville et Antonakis, 2006). Saurin et Ferreira ont également observé une amélioration des conditions de travail après la mise en place de la démarche Lean dans un grand groupe américain du secteur automobile (Saurin et Ferreira, 2009). De plus, la

## Chapitre 1 : cadre conceptuel de la recherche

production Lean peut induire une augmentation des compétences puisque, par exemple, le personnel participant à la résolution de problèmes, reçoit une formation, et dans une moindre mesure varie ses activités (De Treville et Antonakis, 2006). La mise en œuvre du Lean dans les PME Rhônealpines a également permis d'améliorer la polyvalence du personnel (Baglin et Capraro, 1999).

Enfin, le déploiement de la démarche Lean dans un service hospitalier a permis d'améliorer la satisfaction des patients (Dickson et al., 2009). Celle-ci s'apparente à la satisfaction des clients dans le secteur privé (Cf. Tableaux 8 et 9).

Auteurs	1	2	3	4	5	6	7
Champ d'étude	66 entreprises	40 entreprises	1748 entreprises	Revue de littérature	1 hôpital	1 entreprise	330 entreprises
Taille des entreprises	PME	PME et GE	PME et GE	Non Traité	Service accueillant 37 000 patients	GE (2200 salariés)	159 PME et 171 GE
Secteur d'activité	Secteurs d'activités divers (Chimie, ameublement, métallurgie, textile, etc.)	Multiples secteurs d'activité	Multiples secteurs d'activité	Production	Secteur hospitalier public	Automobile	Multiples secteurs d'activité
Secteur géographique	France	Etats-Unis	Etats-Unis	Non Traité	Etats-Unis	Etats-Unis	Multiples secteurs géographiques
Méthodologie	Evaluation des gains après la mise en place d'un programme collectif centré sur le Lean nommé PPJ (Production au plus Plus Juste)	Evaluation des gains après la mise en place du Lean	Evaluation de l'impact de 22 pratiques Lean sur la performance opérationnelle (5 ans d'observation)	Etude de la relation théorique entre les caractéristiques des emplois et la motivation dans la production Lean	Application d'une cartographie de chaîne de valeur	Entretiens semi-directifs, questionnaires et observations	330 entreprises "Lean" comparées à 280 entreprises "non Lean"

**Tableau 8.** Exemples d'études traitant de l'impact du Lean sur la performance  
 (1) Baglin et Capraro, 1999 ; (2) Kilpatrick, 2003 ; (3) Shah et Ward, 2003 ; (4) De Treville et Antonakis, 2006 ; (5) Dickson et al., 2009 ; (6) Saurin et Ferreira, 2009 ; (7) Demeter et Matyusz, 2010

Auteurs	1	2	3	4	5	6	7
Amélioration de la rotation des stocks							x
Réduction des stocks d'encours	x						x
Réduction des coûts de retouche/ reprise			x				

## Chapitre 1 : cadre conceptuel de la recherche

Réduction des temps de cycle		x	x				
Amélioration du rendement de la production	x		x				
Amélioration de la productivité de la main d'œuvre	x	x	x				
Réduction des coûts unitaires de fabrication			x				
Réduction des délais de fabrication			x				
Amélioration des conditions de travail/ ergonomie	x					x	
Amélioration de la motivation du personnel	x			x			
Amélioration de la circulation des patients					x		
Réduction de la longueur de séjour des patients					x		
Amélioration de la satisfaction des patients					x		
Amélioration de la qualité		x					
Réduction de l'espace utilisé		x					
Réduction des erreurs de commande		x					
Réduction des formalités administratives		x					
Réduction des temps de changements de série	x						
Augmentation du Chiffre d'Affaires	x						
Accroissement de la polyvalence du personnel	x						
Amélioration du taux de service	x						
Amélioration de la relation client-fournisseur	x						

**Tableau 9.** Exemples d'impacts du système Lean sur la performance

(1) Baglin et Capraro, 1999 ; (2) Kilpatrick, 2003 ; (3) Shah et Ward, 2003 ; (4) De Treville et Antonakis, 2006 ; (5) Dickson et al., 2009 ; (6) Saurin et Ferreira, 2009 ; (7) Demeter et Matyusz, 2010

### 3.2.2. Impacts négatifs de la démarche Lean

A contrario, certains travaux ont relevé des impacts négatifs générés par les pratiques Lean tels que l'augmentation du stress du personnel (Cusumano, 1994; Baglin et Capraro, 1999; Landsbergis et al, 1999). Cependant, ces résultats doivent être nuancés. En effet, une étude multi-site réalisée auprès de 1300 personnes n'a mis en évidence aucune relation entre le niveau d'application des pratiques Lean et le niveau de stress du personnel (Conti et al., 2006) ; l'augmentation du stress constatée dans les entreprises engagées dans une démarche Lean serait plus le reflet de l'impact des choix managériaux que de l'application du Lean proprement dit (Conti et al., 2006).

Néanmoins, une augmentation de la charge de travail générée par la mise en œuvre de la démarche a été soulignée à plusieurs reprises (Cusumano, 1994; Baglin

et Caprao, 1999; Landsbergis et al, 1999). Dans certains cas, la démarche Lean perçue négativement dans un premier temps s'était révélée à terme positive, car son déroulement a prouvé que l'entreprise était capable de s'organiser différemment, sans moyen supplémentaire (Baglin et Capraro, 1999).

### 3.2.3. La démarche Lean fournit-elle toujours les résultats espérés ?

Les objectifs majeurs de la démarche Lean, c'est-à-dire une réduction des coûts et une élimination des gaspillages, sont généralement atteints. Des bénéfices humains sont également observés.

Cependant, les entreprises n'obtiennent pas toujours les résultats espérés. Tout d'abord, plusieurs échecs de mise en œuvre de la démarche Lean ont été évoqués. De plus, il existe une variabilité importante des impacts du Lean d'une entreprise à l'autre. Ainsi, une étude menée auprès de 77 entreprises du Chili ayant participé à la mise en place d'un même programme Lean a permis d'identifier les principales difficultés rencontrées ainsi que les causes pouvant expliquer ces différences (Alarçon et al., 2008). Selon les participants à ce projet, la principale barrière au déploiement de la démarche Lean a été le manque de temps alloué pour l'implémentation du nouveau projet, ainsi qu'un manque de formation et des problèmes d'organisation. Le manque d'autocritique du personnel, nécessaire à la recherche d'actions d'amélioration, a également été souligné (Alarçon et al., 2008). Enfin, ces disparités pourraient également être liées aux spécificités du contexte dans lequel l'approche Lean est déployée.

En dernier lieu, des difficultés de pérennisation ont également été évoquées dans plusieurs études (Baglin et Capraro, 1999; Real et al., 2010). C'est pourquoi il est nécessaire de préconiser une logique d'obligation de résultat et de pérennisation dès le début du déploiement de la démarche Lean (Baglin et Capraro, 1999). Nous reviendrons plus en détail sur cet aspect (Cf. Chapitre 1. partie. 4.2.2).

## **4. Le pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc : un système productif localisé**

Dans cette thèse, nous nous sommes particulièrement intéressés aux entreprises du pôle de compétitivité « Arve Industries Haute-Savoie Mont-blanc » situées dans la vallée de l'Arve<sup>2</sup>. De nombreuses entreprises du pôle ont tenté d'appliquer la démarche Lean. Nous présentons le système productif particulier de cette région puis les retours d'expérience issus de l'application des pratiques Lean au sein des entreprises membres du pôle.

### **4.1 Présentation du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc**

Le pôle de compétitivité Arve Industries est situé dans la Vallée de l'Arve, vallée composée d'entreprises de sous-traitance constituant un système productif localisé (Technic Valley) (Cf. [www. Arve-industries.fr](http://www.Arve-industries.fr)). Pour la Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale Française, un système productif localisé correspond à « une organisation productive particulière, localisée sur un territoire correspondant généralement à un bassin d'emploi. Cette organisation fonctionne comme un réseau d'interdépendances constituées d'unités productives ayant des activités similaires ou complémentaires qui se divisent le travail » (Guizzi, 2005).

Le système productif localisé de la Vallée de l'Arve est né d'une tradition artisanale datant du début du 18ème siècle. Jusqu'en 1948, son secteur d'activité principal était l'horlogerie. Cependant, dès 1914, la vallée de l'Arve s'est progressivement reconvertie en un centre mondial du décolletage c'est-à-dire de l'usinage des pièces mécaniques de tout type à partir de matériaux essentiellement métalliques. Aujourd'hui, avec un chiffre d'affaires d'environ 1600 millions d'euros,

---

<sup>2</sup> Les termes pôle, pôle de compétitivité ou pôle de compétitivité Arve Industries seront également utilisés au cours de la thèse.

## Chapitre 1 : cadre conceptuel de la recherche

le décolletage français représente près de 5 % du chiffre d'affaires de la sous-traitance française. Cette concentration géographique est une des caractéristiques de ce secteur. En effet, la Vallée de l'Arve représente plus de 60% du chiffre d'affaires du décolletage français et est considérée comme la capitale mondiale du décolletage.

Pour maintenir l'attractivité de ce réseau, un pôle de compétitivité nommé Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc a été créé en 2006. La majorité des entreprises le composant est située dans la zone géographique du système productif localisé de la Vallée de l'Arve (Bocquet et Mothe, 2009). Aujourd'hui, Arve Industries regroupe des centres de recherche, des centres de formations, des associations et 225 entreprises dont 90% d'entre-elles sont des PME (Cf. Tableau 10). La plupart de ces entreprises sont des sous-traitants spécialisés dans le décolletage et la mécanique de précision.

Secteurs d'activité dominant	Décolletage et mécanique de précision
Nombre total d'entreprises	225
Proportion de PME	90% (185 sur 225)
Nature du pôle	National
Présence d'un système productif localisé	Technic Valley
Rang dans la chaîne logistique (pour la majorité)	Sous-traitance
Performance collective	120 projets et actions collectives
Nature de la gouvernance	Gouvernance territoriale
Centres de recherche	<b>10 centres de recherche</b> dont l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, le CERN (Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire), le CETIM (Centre Technique des Industries Mécanique) et le CTDEC (Centre Technique de l'industrie de Décolletage)
Centres de formation	<b>12 centres de formation</b> dont le Centre Technique de l'industrie de Décolletage, l'Université de Savoie, le Centre de Formation des Apprentis de l'Industrie (CFAI)
Autres partenaires	<b>32 partenaires</b> dont l'association THESAME (centre européen d'entreprises et d'innovation), le Syndicat National du Décolletage (SNDEC), l'Agence Economique de développement (AED), la Chambre de Commerce et d'Industries de Haute-Savoie, le Conseil Général, la Région Rhône-Alpes et l'état

**Tableau 10.** Composition du pôle de compétitivité Arve Industries  
(adapté de Bocquet et Mothe, 2009)

Les entreprises du pôle produisent pour divers secteurs d'activités dont l'automobile, l'aéronautique, la téléphonie et le secteur médical. Le label « Pôle de compétitivité » constitue une opportunité de développement de stratégie commune et de partenariats approfondis entre ses multiples acteurs.

### 4.2 Le Lean dans les entreprises de la vallée de l'Arve : retours d'expériences sur sept années de pratiques

La démarche Lean a suscité un vif intérêt au sein des entreprises de la vallée de l'Arve. Des programmes d'accompagnement collectifs centrés sur le Lean (Baglin et Capraro, 1999) ont ainsi été développés et mis en œuvre dans la région Rhône-Alpes, programmes nommés PPJ/ALP (Production au Plus Juste/Amélioration de La Performance) ou « Lean production ». Dans la vallée de l'Arve, près de 80 PME ont été accompagnées pour la mise en œuvre de ce dispositif dont nous présentons ci-dessous les principaux retours d'expériences.

#### 4.2.1. Présentation des programmes PPJ/ALP

Les programmes PPJ/ALP ont été initiés conjointement en 1996 par CEFORALP, organisme spécialisé dans le pilotage et l'accompagnement de projet en région Rhône Alpes, AMMA (union des entreprises métallurgiques) en Piémont et UDIMEC (union des entreprises métallurgiques, mécaniques et connexes) dans l'Isère. Ces programmes ont fourni aux entreprises une méthodologie de travail structurante et rigoureuse centrée sur les principes de la démarche Lean. Avec l'aide de consultants et d'experts délégués dans chaque entreprise, des plans d'actions ont été mis en œuvre. Ces programmes s'appuient sur les concepts fondamentaux de la démarche Lean, dont l'application des principes du juste à temps et des flux tendus non seulement à l'intérieur mais aussi en amont et en aval de l'entreprise, l'application du management de la qualité totale en allouant aux opérateurs la responsabilité de l'assurance qualité et de la résolution de problèmes, et l'élimination des opérations sans valeur ajoutée (Baglin et Capraro, 1999).

Ces plans d'actions d'une durée de douze mois se sont répartis en cinq étapes successives (Baglin et Capraro, 1999) :

- le diagnostic général permettant d'identifier le contexte dans lequel s'inscrit la stratégie industrielle de l'entreprise,
- le diagnostic détaillé qui porte sur une fonction de l'entreprise (exemple : l'entretien), ou sur un facteur de coût (exemple : les achats) ou sur un type d'activité (exemple : les temps de changement de série),
- la synthèse de diagnostic qui a pour objectif de structurer, hiérarchiser et choisir les plans d'actions les plus appropriés,
- l'élaboration des plans d'actions et leur mise en œuvre qui représentent la matérialisation de la démarche nécessaire à l'atteinte des résultats souhaités,
- le bilan.

Pour déployer ce programme, 14 demi-journées de conseil en entreprise, 30 journées-hommes de formation et 3 séminaires interentreprises sont proposés.

L'identification des problématiques des entreprises accompagnées a permis de mettre en évidence deux profils distincts (Real et al., 2010) :

- les entreprises dont les problématiques relèvent de préoccupations de type Lean illustrées par des carences en termes de délais, de stocks, de flux, de changement de série et de qualité,

- les entreprises dont les problématiques sont principalement relatives aux relations humaines et à la circulation de l'information.

Pour répondre à ces problématiques, les principaux plans d'actions des programmes PPJ/ALP, reprenant les valeurs fondamentales du Lean, ont engagé ces entreprises dans des actions de type : réduction des stocks, SMED, 5S, lissage de la production ou planification.

Les programmes PPJ/ALP sont ainsi apparus comme une porte d'entrée de la démarche Lean pour les PME.

### 4.2.2. Retours d'expériences des programmes PPJ/ALP

Une étude récente s'est intéressée aux atouts et faiblesses des programmes PPJ/ALP menés dans des PME de la vallée de l'Arve (Real et al., 2010).

Cette enquête a tout d'abord mis en avant les facteurs clefs de réussite des actions mises en œuvre. Des entretiens semi-directifs menés auprès d'experts Lean du programme PPJ/ALP ont permis de montrer que l'implication forte de la direction était une condition essentielle à leur réussite. Comme souligné précédemment dans l'étude d'Alarçon, une des conditions de réussite à la mise en place et à la pérennisation du Lean serait la disponibilité des pilotes Lean et des équipes concernées par les plans d'action (Alarçon et al., 2008; Real et al., 2010). « Un objectif bien fixé en termes de résultats attendus » et un « bon point de départ » sont également considérés comme des préalables nécessaires au succès des programmes PPJ/ALP (Baglin et Caprato, 1999; Real et al., 2010).

Lorsque ces conditions de réussite sont remplies, des résultats positifs suite au déploiement des concepts Lean dans des PME de la sous-traitance mécanique ont été observés. De plus, le système Lean semble être une démarche adaptée aux problématiques de compétitivité des entreprises ciblées.

Cependant, des difficultés de mise en place des programmes PPJ/ALP ont été montrées. La difficulté majeure rapportée par cette enquête est le manque de pérennisation des actions mises en œuvre. En effet, il est difficile pour une PME, de disposer d'une ressource interne dédiée à la mise en place du Lean et à son maintien. D'après les consultants interrogés, les dirigeants ne sont pas assez exigeants et abandonnent le suivi sur le terrain des actions une fois que les ressources délivrées par le dispositif PPJ/ALP (consultants) ne sont plus présentes (Real et al., 2010).

Certains consultants ont également souligné que la complexité du vocabulaire Lean employé pouvait être un frein à la mise en place du programme. Une clarification de chaque terme Lean doit être réalisée au préalable auprès de l'ensemble du personnel.

Une autre difficulté constatée lors de la mise en œuvre des pratiques Lean concernait la pression et la tension que le déploiement d'une nouvelle démarche faisait peser sur les ressources humaines. Ce résultat est en accord avec d'autres

auteurs ayant étudié les conséquences d'un rythme de travail plus intense et du stress sur la santé des travailleurs dans le cadre du déploiement de la démarche Lean (Landsbergis et al., 1999). Néanmoins, comme précédemment expliqué, il est difficile d'affirmer catégoriquement que l'augmentation du stress est la conséquence unique du Lean et non des choix managériaux (Conti et al., 2006).

### 4.2.3. Résultats mitigés des programmes PPJ/ALP

Les PME participants aux programmes PPJ/ALP ont bénéficié d'un accompagnement important dans leur démarche et tout au cours de chacun des changements engendrés pendant un an. Malgré cet accompagnement particulier, des résultats mitigés ont été montrés sept années après la mise en place de cette démarche (Real et al., 2010).

Ces résultats nous amènent à réfléchir à leurs causes possibles. Pourquoi un même programme d'implémentation de la démarche Lean conduit-il soit à l'obtention de résultats spectaculaires, soit à l'abandon des actions mises en place ? L'origine de ces différences est très certainement multiple, tout d'abord elle pourrait être culturelle. Comment mettre en place une culture industrielle forte ? Est-ce plus difficile à réaliser suivant le secteur d'activité ?

La plupart des experts du Lean font l'hypothèse d'une mauvaise compréhension des pratiques Lean par les entreprises (Ballé, 2004). Ce constat peut être, en partie, expliqué par l'existence de définitions du Lean variées selon les auteurs. En effet, les retours d'expériences des programmes PPJ/ALP avaient mis en exergue le fait que chaque consultant possédait sa propre représentation du Lean et insistait sur des leviers d'action différents (Real et al., 2010). Cette disparité pourrait également être expliquée par des difficultés de mise en œuvre de la démarche. Un exemple de concept Lean difficile à mettre en œuvre dans les PME est celui relatif à l'amélioration continue. Le déploiement de ce concept induit une remise en cause constante des éléments établis.

Des difficultés de transfert de la démarche peuvent également freiner la réussite du Lean. Ainsi, il a d'ores et déjà été montré que les entreprises occidentales

avaient des difficultés à adopter la culture organisationnelle et la mentalité nécessaire à la mise en œuvre du Lean (Herron et Hicks, 2008). Le transfert de la démarche devrait prendre en compte les différences de cultures, de société et d'histoire (Lillrank, 1995).

Enfin, une difficulté majeure concerne la pérennisation des actions mises en œuvre (Real et al., 2010). Un manque d'implication de l'encadrement intermédiaire et du top management pourrait être à l'origine de ces échecs (Real et al., 2010).

## **5. Objectifs de travail et thématiques de recherche**

Dans ce travail de thèse, nous avons souhaité approfondir l'application de la démarche Lean dans les entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc où les PME occupent une place prépondérante.

Les grandes mutations industrielles ont conduit les entreprises à rechercher une démarche de production répondant aux nouveaux objectifs de compétitivité. A l'heure actuelle, l'approche Lean semble être la solution idéale à l'amélioration de la performance. En effet, les résultats impressionnants de cette démarche en termes d'augmentation de la productivité, de réduction des coûts et des délais ont suscité un vif intérêt des PME.

Depuis la fin des années 1990, les entreprises du pôle de compétitivité désireuses d'accroître leur performance se sont tournées vers le système Lean. Ainsi, ces PME ont participé à des programmes collectifs centrés sur le Lean : les dispositifs PPJ et ALP (Production au Plus Juste/ Amélioration de La Performance) (Baglin et Capraro, 1999; Real et al., 2010). Cependant, comme précédemment remarqué, les entreprises mettant en œuvre la démarche Lean n'obtiennent pas toujours les résultats escomptés (Houy, 2008). Plusieurs freins ont été évoqués soulignant notamment des difficultés de transferts de la démarche (Herron et Hicks, 2008). Les spécificités locales relatives à l'histoire, la situation géographique et les aspects techniques et organisationnels des entreprises du pôle pourraient jouer un rôle prépondérant dans les échecs de l'application du Lean.

Tout d'abord, nous avons souhaité établir le profil Lean de ces entreprises afin d'identifier les écarts entre leur fonctionnement réel et les valeurs fondamentales du système Lean.

Les écarts jugés pertinents nous ont ensuite amenés à proposer de nouvelles méthodes adaptées aux spécificités locales. En effet, l'approche Lean doit nécessiter des adaptations, une appropriation voire même des ajustements de ses concepts au sein des PME du pôle de compétitivité.

Le faible nombre d'entreprises atteignant un niveau Lean élevé nous a conduits, en premier lieu, à rechercher un standard de déploiement de la démarche

Lean favorisant la réussite de mise en œuvre des pratiques Lean. Cette étude vise l'identification des antériorités existantes entre les pratiques.

Une faible application des méthodes de résolution de problèmes a été constatée. Compte tenu de la simplicité apparente des méthodes de résolution de problèmes, notre hypothèse est que leur faible application serait le reflet d'un manque de sollicitation de la structure managériale. Pour répondre à cette lacune, nous avons proposé une démarche de management favorisant la mise en œuvre des méthodes de résolution de problèmes et de façon plus générale la mise en mouvement de l'entreprise et de son organisation.

Des difficultés d'application de l'outil VSM dans le cadre d'une démarche d'optimisation des flux de production ont également été observées au sein des entreprises du pôle. Ce résultat nous a amené à étudier une application réussie d'optimisation des flux de production dans une PME du pôle. Cette étude vise l'identification des facteurs clefs de succès et des potentiels freins pouvant exister.

De plus, la première question que pose le déploiement d'une VSM est celle du choix du flux de production à optimiser. Pour répondre à cette problématique, nous proposons d'identifier les ressources prioritaires impactant le plus la performance à partir d'une approche multicritères. Cette démarche devrait permettre d'aider les entreprises à prioriser les actions d'améliorations.

Finalement, face à la faible application des principes relatifs au juste à temps dans les PME du pôle de compétitivité, nous avons désiré développer un modèle d'aide à la décision. Ce modèle a pour objectif d'identifier la pertinence de la faible application des principes relatifs au juste à temps.

Ce travail s'inscrit dans les thématiques d'optimisation de la performance industrielle (optimisation de la quantité optimale à produire, des flux de production et du management de progrès), de la prise en considération de spécificités locales (PME, sous-traitance, secteur du décolletage, forte concurrence) et de la compréhension des difficultés d'organisation de la production.

# **CHAPITRE 2. NIVEAU DE MATURITE LEAN**

## 1. Introduction

Après avoir montré dans le premier chapitre l'intérêt de la démarche Lean et les limites que suscitent ses applications, nous nous sommes intéressés, de façon plus formelle, à l'évaluation du profil Lean des entreprises du pôle. L'objectif de ce chapitre est tout d'abord d'établir une cartographie de l'application des différentes pratiques Lean.

Pour ce faire, la démarche que nous avons retenue est l'élaboration d'un questionnaire d'auto-évaluation du niveau d'intégration de la démarche Lean. L'interrogation de 44 entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc est représentative, en termes de taille et de chiffre d'affaires, des 300 entreprises constituant le pôle. Cette étude a fait l'objet d'une publication dans le « International Journal of Rapid manufacturing » dans un numéro spécial consacré au Lean (Lyonnet et al., 2010a).

Le profil Lean observé dans les entreprises du pôle correspond essentiellement à celui de PME de dernier rang dans la chaîne logistique. Les grandes entreprises, non membres du pôle, « donneuses d'ordre » et sous-traitants de rang 1, ont-elles le même profil Lean ? Pour répondre à cette problématique, nous avons ainsi établi le profil Lean de 50 entreprises supplémentaires non membres du pôle puis nous avons comparé leur profil à celui des entreprises du pôle.

Compte tenu des spécificités locales des entreprises du pôle de compétitivité Arve Industrie et des différences de résultats pouvant exister suite au déploiement de la démarche Lean (Alarçon et al., 2008; Real et al., 2010), nous cherchons à vérifier qu'il existe :

- une application de certaines pratiques Lean qui reste faible pouvant être expliquée par la typologie des entreprises
- différents profils d'intégration de la démarche Lean parmi les entreprises du pôle. Ceci serait susceptible de se traduire par l'existence de sous-groupes d'entreprises présentant le même niveau de maturité Lean.

## Chapitre 2 : niveau de maturité Lean

---

- une synergie entre plusieurs pratiques Lean. Nous attendons la mise en évidence de corrélations positives entre l'application des différentes pratiques.
- une différence de niveau d'intégration des pratiques Lean selon la typologie de l'entreprise. Ceci devrait se refléter dans l'existence de disparités du niveau de maturité Lean entre le groupe majoritairement constitué de PME et de sous-traitants de dernier rang (entreprises du pôle de compétitivité) et celui composé principalement de donneurs d'ordres ou de sous-traitant de rang 1.

## 2. Méthode d'évaluation du niveau de maturité Lean des entreprises

### 2.1. Questionnaire d'évaluation

Pour évaluer le niveau d'intégration de la démarche Lean dans une entreprise, nous avons élaboré un questionnaire autour des six concepts Lean communs identifiés précédemment (Cf. Chapitre 1, partie 2.2). Au total, 20 pratiques Lean regroupées parmi les six concepts Lean communs sont évaluées (Cf. Tableau 1).

Concepts Lean	N°	Pratiques
Juste à temps	1	Flux tiré
	2	Gestion des stocks en fonction de la demande
	3	Equilibrage de la charge
	4	Flux pièce à pièce
	5	Réduction des temps de changement de série
Amélioration continue	6	Amélioration continue ou Kaizen
	7	Mesure de la performance
Qualité	8	Standards
	9	Ecarts de fonctionnement
	10	Causes racines
	11	Dispositif anti-erreur ou poka-yoké
	12	Maintenance
	13	Résolution de problème
Elimination des gaspillages	14	Cartographie de chaîne de valeur (VSM)
	15	Définition de la valeur
Management des hommes	16	Engagement de la direction
	17	Polyvalence
Management visuel	18	Affichage visuel
	19	Organisation visuelle
	20	Indicateurs visuels

**Tableau 1.** Pratiques Lean évaluées

## Chapitre 2 : niveau de maturité Lean

Le questionnaire d'évaluation repose sur l'utilisation de la méthode IEMSE qui consiste à répondre à la question posée à l'aide d'une des 5 réponses suivantes :

**I : Inexistant** - Ce point n'est pas traité au sein de l'entreprise

**E : Existant** - Il existe une réponse montrant que l'entreprise a pris en compte le point

**M : Méthode** – La pratique Lean est traitée selon une méthode susceptible d'être généralisée

**S : Systématique** - La pratique est traitée avec méthode, et l'application terrain est effective et systématique (pérennité dans le temps)

**E : Exemplarité** - La méthode, son application et ses résultats méritent d'être communiqués à l'extérieur parce qu'efficaces, efficaces et simples.

Un score est attribué pour chacune des réponses. La valeur 1 est attribuée lorsque le point n'est pas traité au sein de l'entreprise (Inexistant) et la valeur 5 est donnée lorsque l'application de la méthode est exemplaire. Pour chaque pratique, nous avons déterminé les réponses détaillées à partir de cette méthode.

Le tableau 2 présente un exemple de grille d'évaluation réalisée à partir de cette méthode pour cinq pratiques Lean.

Engagement de la direction		
I	Inexistant	Aucun engagement de la direction à la mise en place des pratiques Lean
E	Existant	La direction s'intéresse à la démarche Lean mais doute de l'application de cette démarche au sein de son entreprise
M	Méthode	La direction a une bonne connaissance de la démarche Lean, mais n'a pas mis en place de démarche globale
S	Systématique	La direction est formée à la démarche Lean, a identifié une personne en charge de l'implémentation de la démarche
E	Exemplarité	La direction est formée à la démarche Lean, a identifié une personne en charge de l'implémentation de la démarche et participe activement aux actions entreprises
Standards		
I	Inexistant	Il n'existe pas ou peu de procédures normalisées (étape par étape, organigrammes, fiches de poste...)
E	Existant	Quelques activités sont normalisées

## Chapitre 2 : niveau de maturité Lean

M	Méthode	Des standards sont élaborés par l'ensemble du personnel, certains standards ne sont pas mis à jour
S	Systématique	Des standards sont élaborés et mis à jour régulièrement par le personnel de l'entreprise
E	Exemplarité	Des standards sont mis à jour régulièrement, des audits internes réguliers sont élaborés pour vérifier les écarts aux standards, les standards sont utilisés pour les formations
Dispositif anti-erreur ou poka-yoké		
I	Inexistant	Aucun dispositif anti-erreur n'existe
E	Existant	Des formations sont réalisées pour expliquer l'intérêt des poka-yoké
M	Méthode	L'entreprise utilise parfois ce dispositif pour améliorer l'auto-contrôle
S	Systématique	L'entreprise utilise souvent les dispositifs anti-erreurs
E	Exemplarité	Les poka-yoké sont couramment utilisés
Cartographie de chaîne de valeur		
I	Inexistant	Aucune analyse des flux n'est réalisée
E	Existant	Les flux sont parfois analysés (cas d'un nouveau produit)
M	Méthode	Les flux sont analysés selon un standard lorsqu'ils freinent la performance de l'entreprise
S	Systématique	Des cartographies de chaîne de valeur sont mises en œuvre, un plan d'action est en cours de réalisation
E	Exemplarité	Des cartographies de chaîne de valeur sont mises en œuvre, des actions sont entreprises régulièrement pour réduire les opérations non créatrices de valeur ajoutée
Causes racines		
I	Inexistant	Aucune analyse des causes racines. L'entreprise traite uniquement les symptômes des problèmes
E	Existant	Un standard existe pour traiter les causes racines des problèmes, ce standard est peu appliqué
M	Méthode	Un standard existe pour traiter les causes racines des problèmes, ce standard est souvent appliqué
S	Systématique	Un standard existe pour traiter les causes racines des problèmes, ce standard est souvent appliqué et des formations régulières sont mises en place
E	Exemplarité	Un standard existe pour traiter les causes racines des problèmes, ce standard est toujours appliqué, des audits internes et externes sont mis en place

**Tableau 2.** Grille d'évaluation pour cinq pratiques Lean

De plus, trois questions supplémentaires sur la taille de l'entreprise en nombre de salariés, le chiffre d'affaires et le rang dans la chaîne logistique ont permis d'identifier la typologie des entreprises interrogées.

### 2.2. Choix des techniques d'analyse des résultats

Dans cette étude, plusieurs techniques d'analyse de résultats ont été choisies pour répondre aux trois problématiques suivantes :

- existe-t-il des différences de niveaux d'application du Lean par pratique ? Par groupe d'entreprise ?
- existe-t-il différents profils d'intégration du Lean selon les entreprises ?
- existe-t-il des corrélations entre les pratiques Lean ?

Pour rechercher s'il existe différents niveaux d'application entre les pratiques de la démarche Lean, nous avons calculé la moyenne générale obtenue pour l'ensemble des entreprises par pratiques Lean. Une analyse statistique à l'aide d'un test t de Student nous permettra de comparer les moyennes par pratique afin d'identifier les plus et les moins appliquées par les entreprises.

Pour rechercher s'il existe différents profils d'intégration du Lean selon les entreprises, nous avons choisi d'utiliser la méthode de classification hiérarchique. En effet, cette approche présente l'avantage d'utiliser une variété d'analyses statistiques pour grouper des individus, des concepts ou des stimuli dans des groupes homogènes (Scheibler et Shneider, 1985; Vachon et al., 2005). La classification hiérarchique est particulièrement utile dans le cadre d'investigations exploratoires afin de dégager des tendances générales au sein des données et de suggérer des pistes d'analyses futures (Kos et Psenicka, 2000). Pour réaliser une classification hiérarchique, il faut utiliser une méthode d'agrégation. La méthode d'agrégation est employée pour regrouper les entités (variables ou observation) les unes avec les autres (Vachon et al., 2005). Il existe plusieurs types de méthodes d'agrégation, présentant chacune des avantages et des inconvénients. Nous avons choisi la méthode de Ward largement utilisée dans de nombreuses études (Morey et al., 1983; Blashfield et Aldenderfer, 1988; Vachon et

al., 2005). L'utilisation de la méthode de Ward est propice à la création de classes relativement égales (Blashfield et Aldenderfer, 1988).

Pour réaliser cette méthode de classification, il faut également calculer l'espace métrique qui permet d'évaluer le degré pour lequel les entités sont considérées comme similaires. Il existe plusieurs mesures pour évaluer la distance métrique (Blashfield et Aldenderfer, 1988), les plus couramment employées sont la distance euclidienne, la distance de Manhattan et la distance de Mahalanobis (Rapkin et Luke, 1993; Vachon, 2005). Combinée à la méthode d'agrégation de Ward, la distance euclidienne est la mesure de similarité la plus performante (Vachon, 2005). Cette approche permet de mesurer la distance entre différents points pour ensuite former des groupes avec les points les plus rapprochés.

Pour rechercher s'il existe des corrélations positives ou négatives de mise en œuvre entre les pratiques Lean, nous avons utilisé une analyse en composante principale. L'analyse en composante principale permet de visualiser de manière synthétique les corrélations entre les pratiques Lean. Cette approche est particulièrement intéressante pour répondre à cette problématique. Cette méthode permet d'identifier des relations entre les variables sans avoir d'hypothèses préalables. L'intérêt majeur de l'analyse en composante principale est d'offrir la meilleure visualisation possible des données multi variées, en identifiant les plans dans lesquels la dispersion est maximale, mettant ainsi en évidence avec le maximum de précision les relations de proximité et d'éloignement entre les variables (Buisine et Martin, 2006).

### **3. Evaluation du niveau de maturité Lean des entreprises du pôle de compétitivité**

L'évaluation du niveau d'intégration de la démarche Lean des entreprises est réalisée auprès de 44 entreprises de mécanique localisées au cœur de la vallée de l'Arve. Rappelons que la vallée de l'Arve constitue un terrain d'application particulièrement intéressant puisque les entreprises qui la composent fournissent plus de 60% du chiffre d'affaires français de l'activité du décolletage, considérée comme l'un des principaux systèmes productifs locaux français (Guizzi, 2005).

L'analyse générale des résultats nous a permis de mettre en évidence le profil d'intégration de la démarche Lean dans ces entreprises. Une analyse plus approfondie des données par typologie d'entreprise a ensuite été réalisée, nous permettant notamment de déterminer si cette typologie pouvait expliquer le niveau d'application de la démarche Lean.

Finalement, à partir des résultats de cette première enquête, nous avons identifié quelles pratiques de la démarche Lean nécessiteraient une appropriation ou un ajustement.

#### **3.1. Résultats obtenus**

Les données recueillies dans les 44 entreprises du pôle de compétitivité sont analysées à l'aide d'une classification hiérarchique des observations et d'une analyse en composantes principales.

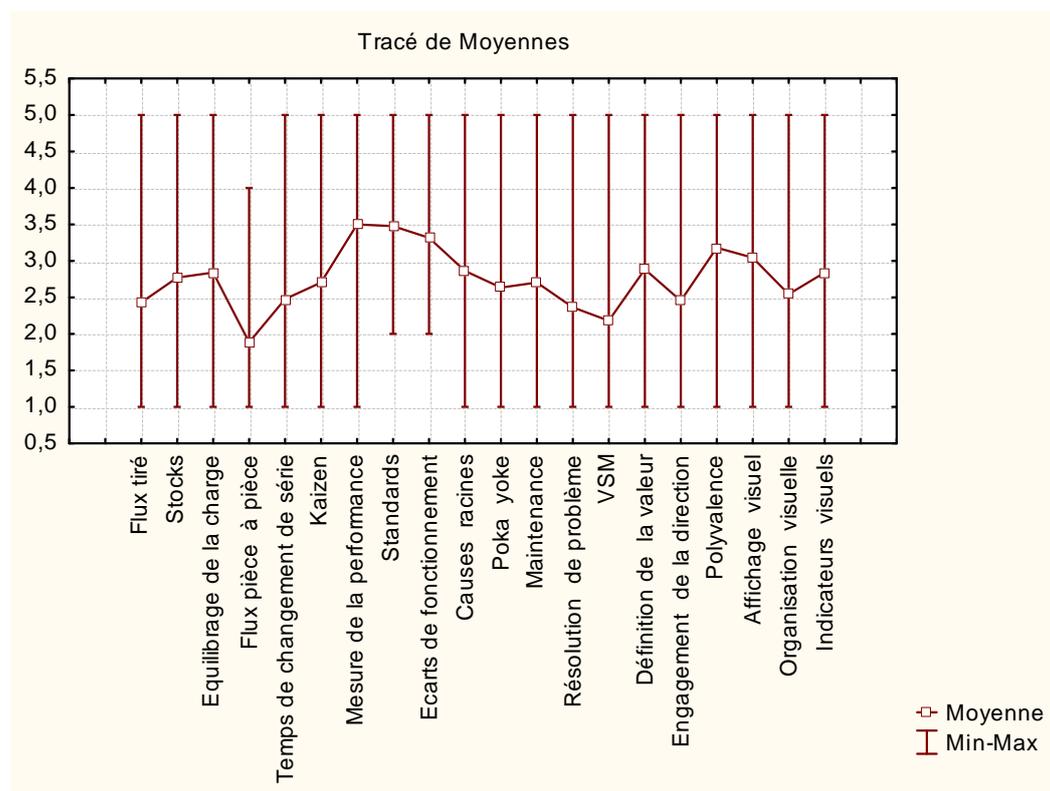
##### **3.1.1. Identification du niveau d'intégration Lean par pratique**

Tout d'abord, nous avons cherché à dresser le profil d'intégration Lean des entreprises étudiées. Le niveau moyen d'application par pratique Lean est présenté sur la figure 1 et sur le tableau 3.

## Chapitre 2 : niveau de maturité Lean

Concepts	N°	Pratiques	Moyenne générale	Moyenne par concepts
Juste à temps	1	Flux tiré	2,43	2,48
	2	Stocks	2,77	
	3	Equilibrage de la charge	2,84	
	4	Flux pièce à pièce	1,89	
	5	Temps de changement de série	2,48	
Amélioration continue	6	Kaizen	2,70	3,10
	7	Mesure de la performance	3,50	
Qualité	8	Standards	3,48	2,89
	9	Ecart de fonctionnement	3,32	
	10	Causes racines	2,86	
	11	Poka-yoké	2,64	
	12	Maintenance	2,70	
	13	Résolution de problème	2,36	
Elimination des gaspillages	14	VSM	2,18	2,53
	15	Définition de la valeur	2,89	
Management des hommes	16	Engagement de la direction	2,45	2,82
	17	Polyvalence	3,18	
Management visuel	18	Affichage visuel	3,05	2,81
	19	Organisation visuelle	2,55	
	20	Indicateurs visuels	2,84	

**Tableau 3.** Niveau de maturité Lean par pratiques



**Figure 1.** Moyenne générale par pratique

Dans les 44 entreprises étudiées, les pratiques Lean les moins appliquées sont celles du flux pièce à pièce, du flux tiré, de la résolution de problèmes et de la cartographie de chaîne de valeur ou Value Stream Mapping (VSM) (moyennes inférieures à 2,45). L'élimination des gaspillages de surproduction et de stocks excédentaires, fondement de l'approche Lean, est au cœur du flux pièce à pièce et du flux tiré. Le faible niveau de ces pratiques pourrait s'expliquer par la spécificité des entreprises de la vallée de l'Arve. En effet, ces entreprises dont les temps de changement de série sont élevés, cherchent instinctivement à produire plus que la demande exigée par le client. Cette stratégie leur permet d'une part, de répondre à des demandes prévisionnelles et d'autre part, de réduire le coût de revient de leur produit lorsque la durée d'immobilisation des produits est suffisamment faible (Lyonnet et al, 2009a).

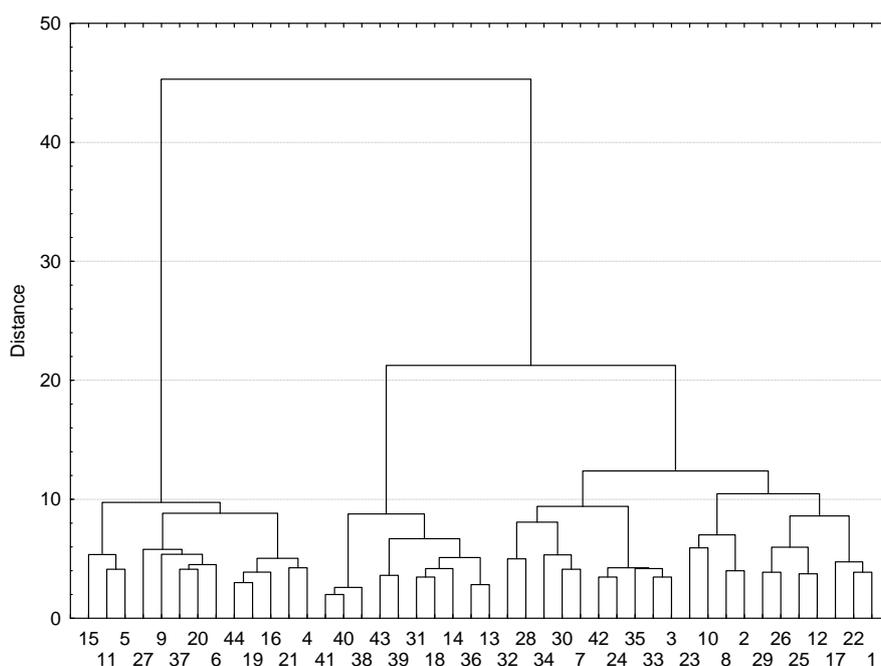
La faible application de la pratique liée à la VSM pourrait être, quant à elle, le résultat d'un manque de formation à cet outil complexe.

Le faible niveau d'intégration des outils de résolution de problèmes est certainement lié à leur application occasionnelle (tendance à leur unique utilisation en cas de problème important).

Les pratiques présentant le niveau d'application le plus élevé sont la mesure de la performance, les standards et les écarts de fonctionnement (moyennes comprises entre 3 et 3,5). Leur niveau est significativement différent de celui des pratiques les plus faiblement intégrées citées précédemment (à  $p < 0,05$ ). Il est intéressant de remarquer qu'aucune des 44 entreprises interrogées ne présente un niveau d'intégration « inexistant » de ces pratiques relatives aux standards et aux écarts de fonctionnement. Ce résultat n'est pas surprenant, puisque la plupart des entreprises interrogées est certifiée ISO 9001 V 2000 et que ces pratiques font parties intégrantes de cette norme.

### 3.1.2. Classification des entreprises selon un niveau d'intégration du Lean

Afin d'identifier les différents profils d'intégration du Lean selon les entreprises, nous avons utilisé la méthode de classification hiérarchique (Cf. Figure 2).



**Figure 2.** Classification hiérarchique des entreprises  
(En abscisse, les entreprises représentées par leur numéro)

## Chapitre 2 : niveau de maturité Lean

La classification hiérarchique nous permet donc de regrouper les entreprises (numérotées de 1 à 44) ayant des profils similaires d'application du Lean. Ainsi, trois classes significativement distinctes les unes des autres ( $p < 0,05$ ) sont identifiées à une distance d'agrégation d'une valeur de 21. Nous utiliserons ces trois classes dans la suite de nos analyses.

Concepts Lean	N°	Pratiques	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Juste à temps	1	Flux tiré	3,00	2,57	1,40
	2	Stocks	3,46	3,10	1,20
	3	Equilibrage de la charge	3,54	3,00	1,60
	4	Flux pièce à pièce	2,54	1,76	1,30
	5	Temps de changement de série	3,38	2,29	1,70
Amélioration continue	6	Kaizen	3,77	2,52	1,70
	7	Mesure de la performance	4,23	3,57	2,40
Qualité	8	Standards	4,08	3,38	2,90
	9	Ecart de fonctionnement	4,15	3,00	2,90
	10	Causes racines	4,08	2,67	1,70
	11	Poka yoke	3,77	2,19	2,10
	12	Maintenance	3,46	2,57	2,00
	13	Résolution de problème	3,23	2,05	1,90
Elimination des gaspillages	14	Cartographie de chaîne de valeur (VSM)	3,38	1,86	1,30
	15	Définition de la valeur	3,85	3,00	1,40
Management des hommes	16	Engagement de la direction	4,08	1,86	1,60
	17	Polyvalence	3,77	3,05	2,70
Management visuel	18	Affichage visuel	3,92	2,62	2,80
	19	Organisation visuelle	3,08	2,62	1,70
	20	Indicateurs visuels	3,54	2,67	2,30
<b>Moyenne</b>			<b>3,62</b>	<b>2,62</b>	<b>1,93</b>

**Tableau 4.** Niveau Lean par classe et par pratique

Les moyennes du niveau d'intégration Lean de chacune des 20 pratiques selon les trois classes identifiées sont présentées dans le Tableau 4. Ces trois classes se distinguent tout d'abord par leur niveau général d'intégration Lean. La classe 1 possède le niveau d'application Lean le plus élevé (moyenne = 3,62), la classe 2

présente un niveau intermédiaire (moyenne = 2,62) et la classe 3 un faible niveau d'application Lean (moyenne = 1,93). Le niveau d'intégration Lean de cette dernière classe est inférieur à 3 pour chacune des 20 pratiques.

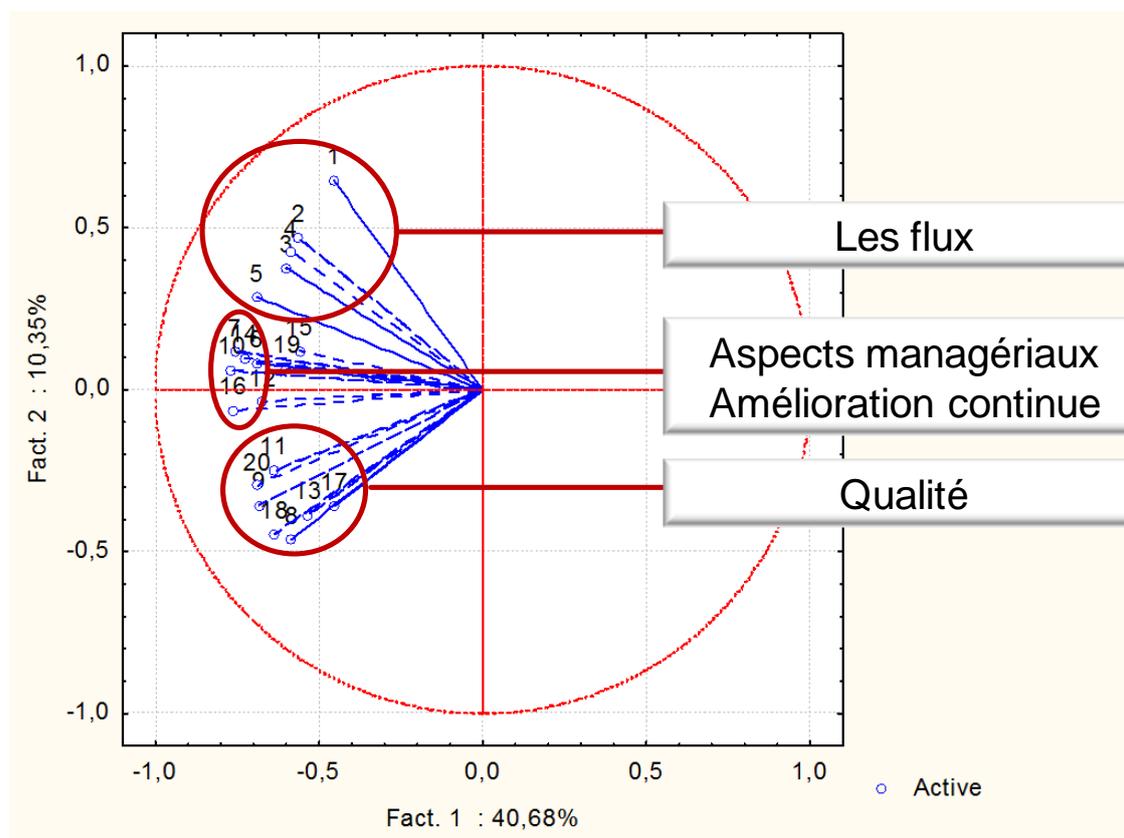
Il est important de souligner quelques différences d'application de certaines pratiques Lean entre ces classes. Ainsi, la classe 1 « fort niveau Lean » se différencie particulièrement des deux autres classes par son niveau élevé d'engagement de la direction (moyenne = 4,08). Un engagement fort de la direction pourrait être un facteur clef de succès dans l'obtention d'un niveau élevé d'intégration Lean.

La classe 3 « faible niveau Lean » se distingue, quant à elle, des deux autres classes par son bas niveau d'intégration de la gestion des stocks en fonction de la demande réelle du client (moyenne = 1,20 versus 3,46 et 3,10 pour les classes 1 et 2). Concernant les pratiques associées au management visuel et celle du poka-yoké, les classes 2 « niveau intermédiaire Lean » et 3 « faible niveau Lean » présentent des niveaux d'application quasiment similaires.

### 3.1.3. Analyse factorielle par pratique

Au vu des résultats précédents, nous nous sommes demandé dans quelle mesure le fort niveau d'application d'une pratique, par exemple la mesure de la performance pourrait se refléter sur le niveau de maturité des autres pratiques ?

Pour répondre à cette question, nous avons réalisé une analyse factorielle en fonction des pratiques chez les 44 entreprises (Cf. Figure 3).



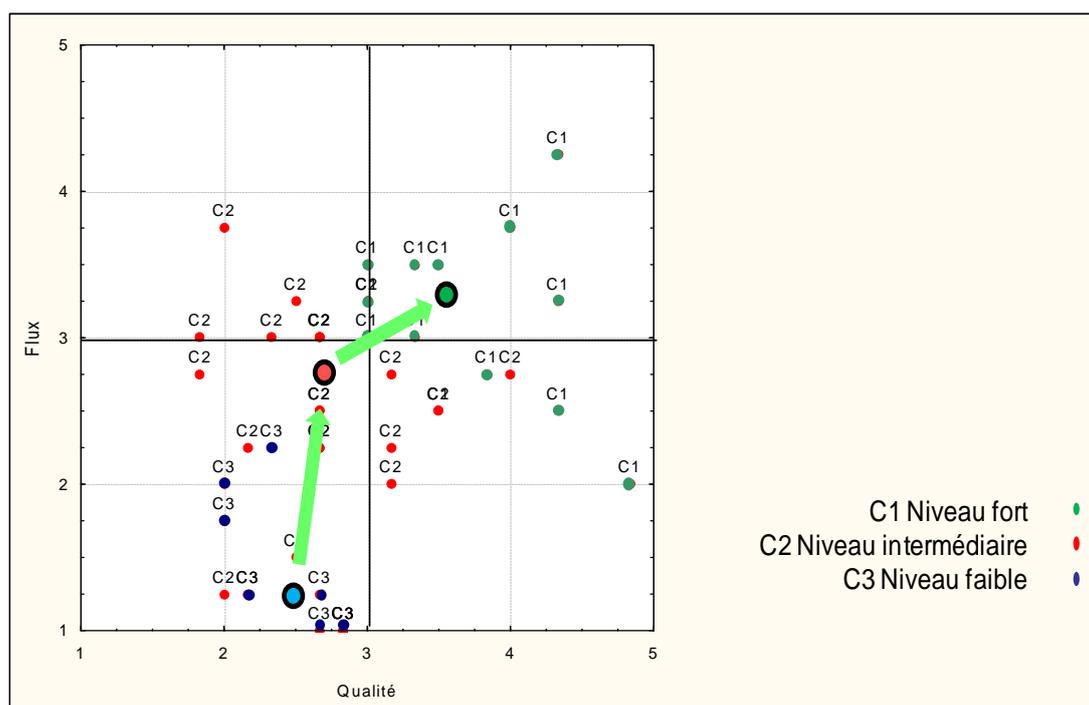
**Figure 3.** Projection des variables sur le plan factoriel 1 et 2. Les numéros de 1 à 20 correspondent aux pratiques Lean listées dans le Tableau 4.

Le premier constat de cette projection des variables est la similitude des directions des 20 pratiques Lean. Ce résultat pourrait traduire le lien étroit existant entre les six concepts Lean communs ; le Lean étant considéré comme un système et non comme une simple addition de principes (Drew et al., 2004; Womack et al., 2005). Les corrélations positives qui apparaissent dans cette projection sur les deux axes principaux traduisent bien la synergie existante entre l'ensemble des pratiques du Lean. Le niveau d'intégration d'une pratique semblerait impacter de manière positive les autres pratiques.

Dans cette projection le premier axe principal est expliqué essentiellement par les aspects managériaux tels que l'engagement de la direction (pratique n° 16), la cartographie de chaîne de valeur (pratique n°14) et par les pratiques relatives à la qualité telles que la mesure de la performance (pratique n° 7) et les causes racines (pratique n° 10). La forte représentation de l'engagement de la direction s'explique par le fait que le Lean est considéré comme un système centré avant tout sur l'homme (Drew et al., 2004). La mise en place du Lean est plus efficace lorsqu'elle

correspond à un engagement de la ligne managériale, plutôt qu'à la seule action d'un groupe d'experts organisé en projet transversal (Womack et Jones, 2005). Très récemment une analyse comparative de deux programmes d'implémentation de la démarche Lean dans une même entreprise conclut que la réussite d'une approche ne peut être effective que dans le cas d'une implication active de la direction (Scherrer-Rathje et al., 2009). La représentativité de la VSM (pratique n°14) sur cet axe pourrait être expliquée par la difficulté d'application de cet outil.

Le deuxième axe principal révèle l'existence d'une opposition entre les pratiques relatives aux flux (pratiques n°1 à 5) et celles relatives à la qualité (pratiques n°8, n°9, n°11, n°13, n°20). Pour comprendre ces oppositions, nous nous proposons d'étudier les interactions entre les niveaux d'application des pratiques liées aux flux et celles liées à la qualité (Cf. Figure 4).



Ainsi, sur cette figure, l'axe des abscisses correspond au niveau d'application des pratiques relatives à la qualité et l'axe des ordonnées correspond au niveau d'application des pratiques relatives aux flux. Chaque point représente une entreprise parmi les 44 étudiées. Les entreprises sont réparties en fonction des trois classes

identifiées précédemment à l'aide d'une classification hiérarchique. La médiane de la classe 1 (niveau Lean élevé) est de 3,25 pour les flux et de 3,5 pour la qualité sur une échelle de 5, alors que celle de la classe 2 (niveau Lean intermédiaire) est de 2,75 pour les flux et de 2,66 pour la qualité. La classe 3, dont le niveau d'application des pratiques Lean est le plus faible, dispose d'une médiane de 1,25 pour les flux et de 2,5 pour la qualité. Le niveau médian d'application des pratiques liées à la qualité et aux flux est représenté sur la figure 5 par un point (de plus grand diamètre) pour chacune des classes.

Cette représentation semble dessiner un ordre de mise en place des pratiques. En effet, nous constatons que, dans un premier temps, le niveau d'application des pratiques liées à la qualité est plus élevé que celui relatif aux flux pour les entreprises disposant d'un niveau d'application Lean faible. Ce résultat est peu surprenant. En effet, l'essor de la normalisation (règlements assurances qualité, normes ISO) a conduit l'ensemble des entreprises à mettre en œuvre un minimum de méthodes et d'outils de la qualité pour répondre aux exigences des donneurs d'ordre. Pour atteindre un niveau d'application Lean intermédiaire ces entreprises vont ensuite essentiellement améliorer leur niveau d'application des pratiques relatives aux flux. Enfin, pour atteindre un niveau d'application Lean élevé, ces entreprises vont principalement augmenter leur niveau d'application de la qualité.

Finalement, ces résultats suggèrent l'existence d'un ordre de mise en place des pratiques Lean. Comme explicité au cours du chapitre 1 traitant du cadre conceptuel de la recherche (cf. Chapitre 1, partie 3.1), cette problématique de l'ordre du déploiement des pratiques Lean fait toujours l'objet de controverses.

### 3.1.4. Analyse des résultats par typologie d'entreprise

Est-ce que la typologie de ces entreprises pourrait expliquer leur niveau d'intégration Lean ? Pour répondre à cette question, nous avons donc analysé nos données en fonction du chiffre d'affaires, de la taille, et du rang dans la chaîne logistique des entreprises.

La répartition du chiffre d'affaires des entreprises par classe est présentée sur la figure 5.

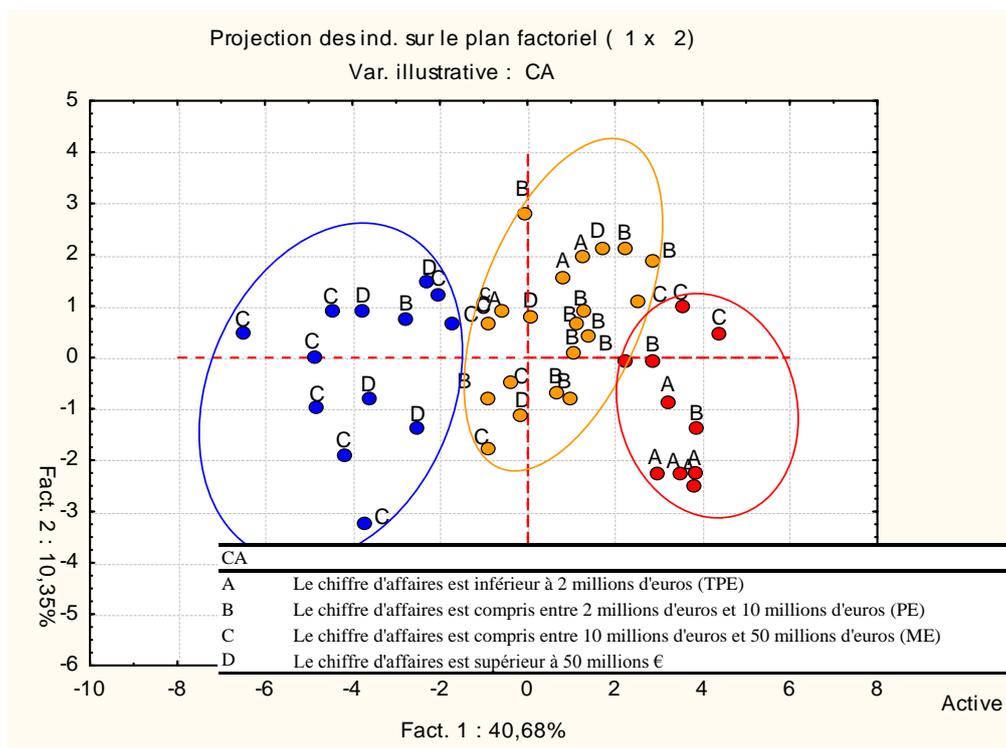


Figure 5. Répartition par chiffre d'affaires sur le plan factoriel 1 et 2

Sur la figure 5, les entreprises appartenant à la classe 1 « fort niveau Lean » (classe située la plus à gauche) possèdent les chiffres d'affaires les plus élevés (supérieur à 10M d'euros) alors que les entreprises de la classe 3 « faible niveau Lean » (classe située le plus à droite) détiennent des chiffres d'affaires plus faibles. Un écart significatif de chiffre d'affaires au seuil de 5% a pu être montré entre les trois classes (Cf. Tableau 5).

Test d'indépendance					
Classe	Chiffre d'affaires				Total
	A	B	C	D	
1	0	1	8	4	13
2	2	11	5	3	21
3	5	3	2	0	10
$\chi^2$ théorique :	15,51	$\chi^2$ observé :	22,22	Risque $\alpha$	0,45%
ddl	8,00	Conclusion : écart significatif			

Tableau 5. Test d'indépendance du Khi-deux par classe en fonction du chiffre d'affaires

De la même façon, nous nous sommes intéressés au potentiel lien pouvant exister entre la taille des entreprises et le niveau d'application Lean. La répartition

par taille des entreprises en fonction des trois classes de niveau Lean est présentée sur la figure 6.

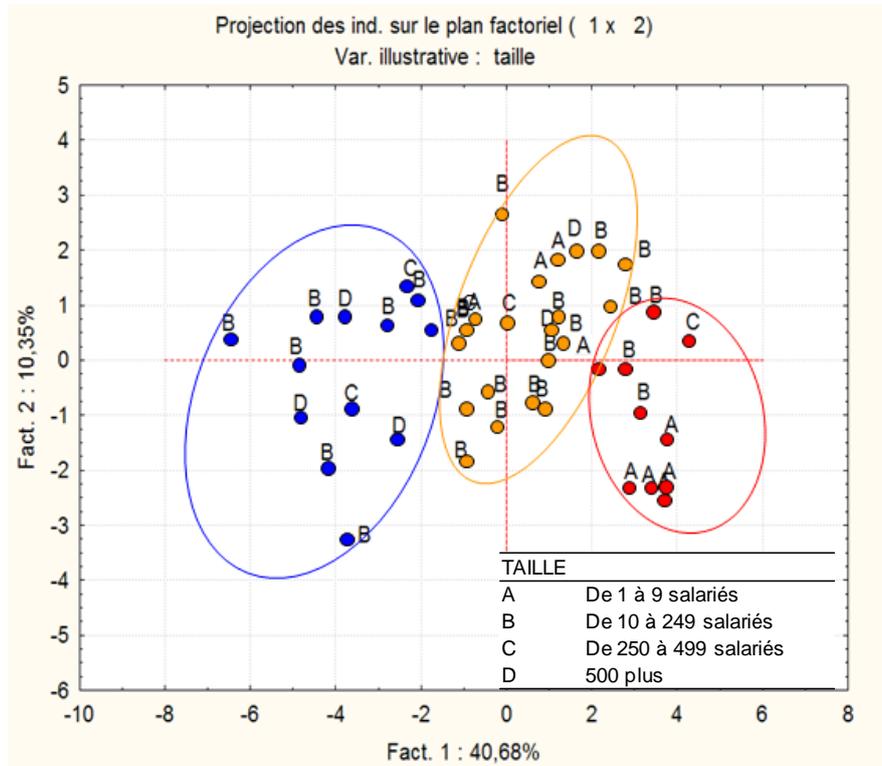


Figure 6. Répartition de la taille par classe sur le plan factoriel 1 et 2

La taille des entreprises semble a priori liée au niveau d'intégration de la démarche Lean au sein des trois classes. Ceci est confirmé par le test d'indépendance du Khi-deux (Cf. Tableau 6) réalisé entre le niveau moyen de la taille des entreprises des trois classes (significatif au seuil de 5%). Ce dernier résultat est en accord avec le précédent, en effet le chiffre d'affaires et la taille des entreprises sont généralement corrélés positivement.

Test d'indépendance					
Classe	Taille				Total
	A	B	C	D	
1	0	8	2	3	13
2	3	15	1	2	21
3	6	3	1	0	10
$\chi^2$ théorique :	15,51	$\chi^2$ observé:	16,46	Risque $\alpha$	3,63%
ddl	8,00	Conclusion : écart significatif			

Tableau 6. Test d'indépendance du Khi-deux par classe en fonction de la taille

Enfin, nous avons cherché la possible relation existante entre le rang dans la chaîne logistique des entreprises et leur niveau d'intégration Lean (Cf. Figure 7).

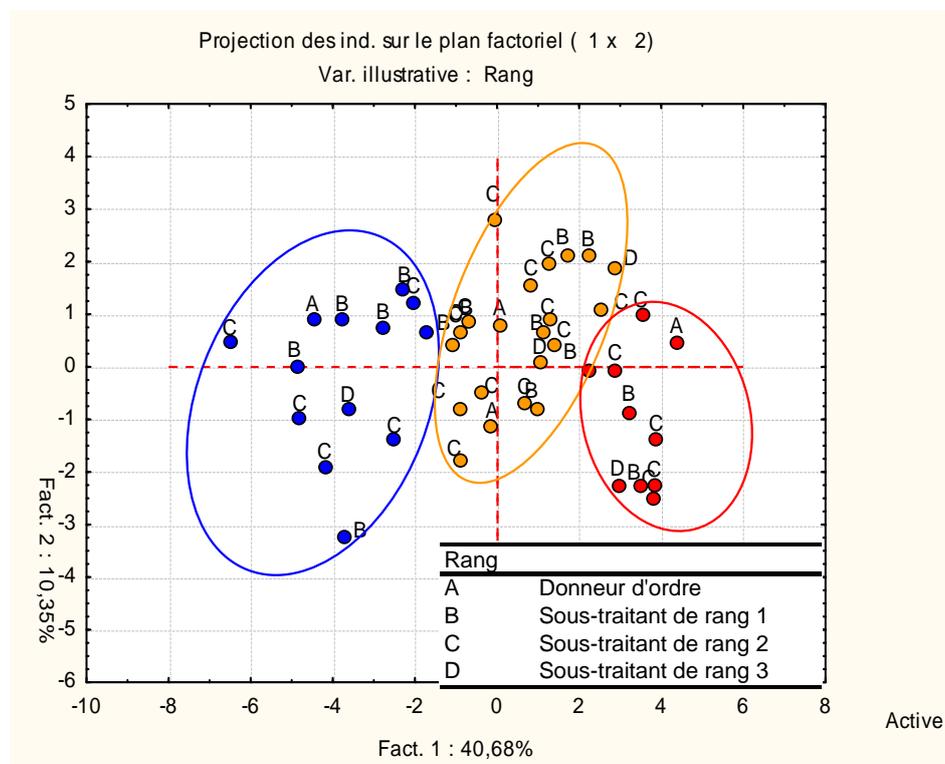


Figure 7. Répartition du rang dans la chaîne logistique par classe

Test d'indépendance					
Classe	Rang dans la chaîne logistique				Total
	A	B	C	D	
1	1	6	5	1	13
2	2	5	12	2	21
3	1	3	5	1	10
$\chi^2$ théorique	15,51	$\chi^2$ observé	1,92	Risque $\alpha$	98,346%
ddl	8,00	Conclusion	Ecart non significatif		

Tableau 7. Test d'indépendance du Khi-deux par classe en fonction du rang dans la chaîne logistique

Aucune différence significative de rang dans la chaîne logistique entre les trois classes n'a pu être mise en évidence au seuil de 5% (Cf. Tableau 7). Cependant, ce résultat est à nuancer compte tenu du fait que l'échantillon interrogé ne comporte que 4 donneurs d'ordre sur 44 entreprises interrogées.

Finalement, la taille et le chiffre d'affaires, deux variables très liées, pourraient avoir un impact sur le niveau de maturité Lean des entreprises du pôle.

Ainsi les entreprises à fort niveau Lean sont celles possédant une taille et un chiffre d'affaires plus importants.

Le faible niveau Lean pourrait être le reflet du manque d'engagement de la direction observé au sein de la classe 3 « faible niveau Lean ». L'application de la démarche Lean repose sur une implication importante du personnel. Les petites entreprises n'ont, dans la plupart des cas, pas de personnes dédiées à l'implémentation et au maintien des pratiques Lean mises en place. Ce résultat soulève d'autres questions. Tout d'abord, est-il donc plus complexe pour une TPE d'accéder à un fort niveau de maturité Lean ? Est-ce que la démarche Lean est difficilement transposable aux TPE ? Il serait intéressant d'identifier les freins potentiels existants à l'intégration du Lean dans les TPE, notamment à l'aide d'entretiens structurés avec le personnel de ces entreprises. Comme souligné précédemment par l'étude d'Alarçon, un des freins majeur à la mise en place et à la pérennisation du Lean serait le manque de temps et de ressources en entreprise (Alarçon et al., 2008). Un axe de travail serait de développer des démarches communes adaptées aux entreprises de même typologie.

### 3.1.5. Identification des questions discriminantes

Les corrélations positives soulignées précédemment entre les pratiques (Cf. Figure 3) nous conduisent à penser qu'il est possible de simplifier notre questionnaire. Dans un objectif de gain de temps, nous nous sommes interrogés sur l'existence de questions discriminantes permettant, avec un nombre réduit de questions, d'identifier le niveau de maturité Lean d'une entreprise. Pour identifier les questions les plus discriminantes nous nous sommes appuyés sur le calcul des écarts-types par pratiques Lean (Cf. Tableau 8).

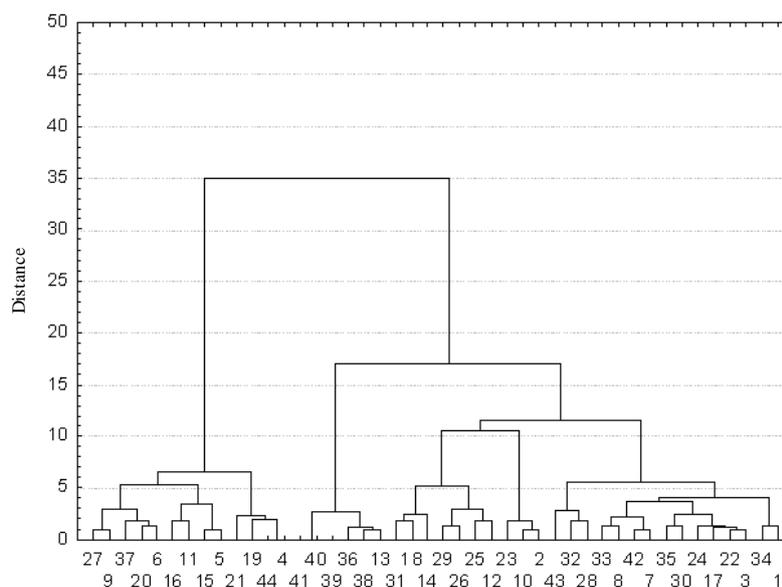
Les pratiques disposant d'un écart-type entre les trois classes le plus important sont considérées comme discriminantes. Cinq questions discriminantes sont recensées : l'engagement de la direction (1), la définition de la valeur (2), les stocks (3), les causes racines (4) et la cartographie de chaîne de valeur (5).

## Chapitre 2 : niveau de maturité Lean

Concepts Lean	Pratiques	Ecart-type par pratique	Moyenne par concept
Juste à temps	Flux tiré	0,83	0,90
	Stocks	1,21	
	Equilibrage de la charge	1,00	
	Flux pièce à pièce	0,63	
	Temps de changement de série	0,86	
Amélioration continue	Kaizen	1,04	0,98
	Mesure de la performance	0,93	
Qualité	Standards	0,59	0,81
	Ecart de fonctionnement	0,70	
	Causes racines	1,20	
	Poka yoke	0,94	
	Maintenance	0,74	
	Résolution de problème	0,73	
Elimination des gaspillages	VSM	1,08	1,16
	Définition de la valeur	1,24	
Management des hommes	Engagement de la direction	1,36	0,95
	Polyvalence	0,55	
Management visuel	Affichage visuel	0,71	0,68
	Organisation visuelle	0,70	
	Indicateurs visuels	0,64	

**Tableau 8.** Ecart-type entre les classes par pratiques

Afin de valider cette version simplifiée de notre questionnaire, nous avons réitéré notre analyse de classification hiérarchique uniquement à partir de ces cinq questions puis comparé ce résultat à la classification obtenue initialement (à partir des 20 questions). Nous observons pour la classe 1 une compatibilité de 100% (Cf. Figure 8), pour les classes 2 et 3 une compatibilité respective de 67% et 84%.



**Figure 8.** Classification hiérarchique obtenue à partir des cinq questions discriminantes. La classification hiérarchique des entreprises obtenue à partir des cinq questions discriminantes est quasiment identique à celle obtenue à partir de l'ensemble des 20 questions (Cf. Figure 6).

Notons que sur les six concepts Lean communs seuls quatre sont représentés : le management des hommes, l'élimination des gaspillages, le juste à temps et la qualité. Le concept d'élimination des gaspillages est représenté à deux reprises par les pratiques relatives à la définition de la valeur et à la cartographie de chaîne de valeur. Ce résultat peut être expliqué par l'importance de ce concept, considéré comme le cœur de la démarche Lean (Liker, 2004).

### 3.2. Conclusion

Pour déterminer le profil du niveau d'application Lean dans le secteur du décolletage en France, nous avons défini le Lean à partir de six concepts Lean communs regroupant l'ensemble des pratiques Lean identifiées dans la littérature (le juste à temps, l'amélioration continue, la qualité parfaite, le management visuel, l'élimination des gaspillages et le management des hommes).

Nous avons mis en évidence une faible application des pratiques liées au flux tiré, à la résolution de problèmes et à la cartographie de la chaîne de valeur chez 44 entreprises de décolletage. Les spécificités locales relatives à l'histoire, la situation géographique, les aspects techniques et organisationnels des entreprises étudiées du

pôle de compétitivité pourraient expliquer ce résultat. Ceci suggère que l'implémentation de la démarche Lean devrait prendre en compte les spécificités du secteur concerné.

Par ailleurs, la possible simplification de notre questionnaire à cinq questions discriminantes pourrait permettre d'obtenir un diagnostic rapide du niveau de maturité Lean. Un tel diagnostic aiderait alors une action plus efficace et plus ciblée pour améliorer le niveau d'application Lean d'une entreprise.

## **4. Evaluation du niveau de maturité Lean des entreprises non membres du pôle de compétitivité**

Le profil Lean observé dans les entreprises du pôle de compétitivité correspond essentiellement à celui de PME de dernier rang dans la chaîne logistique. Au vu de ce profil Lean particulier, nous nous sommes interrogés sur sa spécificité. Les grandes entreprises, non membres du pôle, « donneuses d'ordre » et sous-traitants de rang 1, ont-elles le même profil Lean ?

Ainsi, nous avons évalué le niveau d'intégration de la démarche Lean auprès de 50 entreprises non membres du pôle de compétitivité. Ces entreprises sont essentiellement des grandes entreprises contrairement aux entreprises précédemment étudiées. L'analyse générale des résultats nous a permis d'identifier les pratiques Lean les moins appliquées et celles disposant d'un niveau d'application plus élevé.

Le profil Lean observé dans ces entreprises a ensuite été comparé avec celui des 44 entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries.

### **4.1. Typologie de l'échantillon interrogé**

#### **4.1.1. Secteur d'activité**

Les 50 entreprises interrogées se répartissent selon 12 secteurs d'activité différents (Cf. Figure 9).

Les secteurs d'activité les plus représentés sont ceux de la fabrication d'équipements pour le secteur automobile (28%) et d'équipements industriels (20%), ainsi que ceux issus de l'électronique, de la connectique et de l'électromécanique (12%).

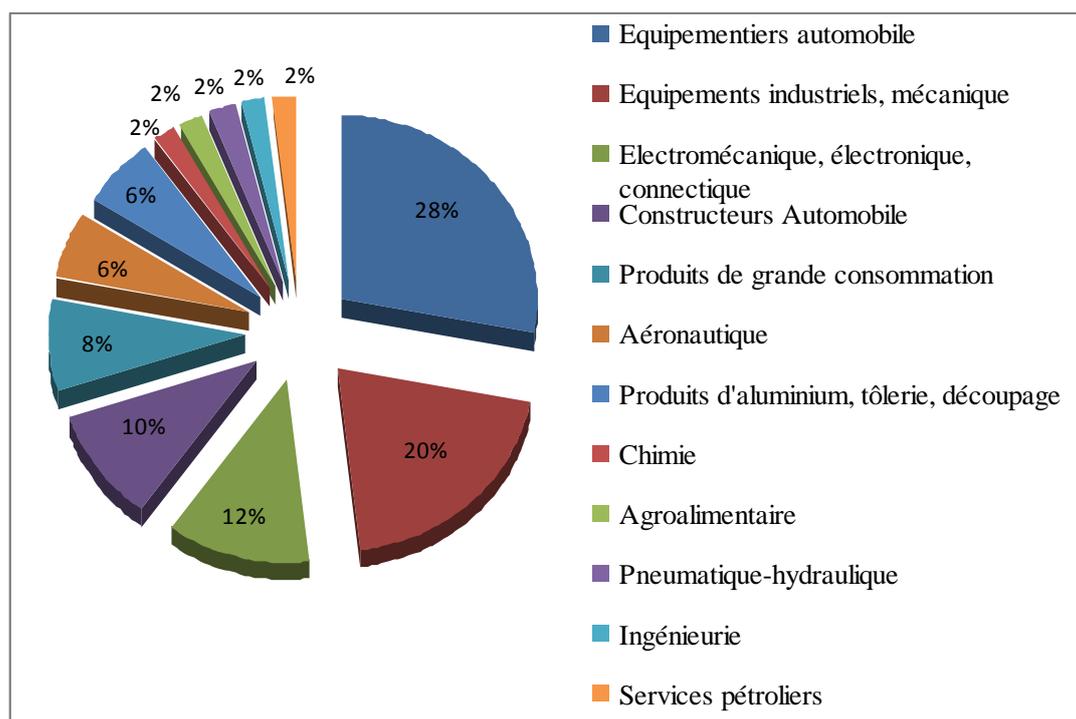


Figure 9. Répartition du secteur d'activité des entreprises interrogées

#### 4.1.2. Répartition des entreprises par taille, chiffre d'affaires et rang dans la chaîne logistique

L'échantillon interrogé est essentiellement constitué de grandes entreprises (Cf. Figure 10). Ainsi, 68% d'entre-elles disposent d'un nombre de salariés supérieur ou égal à 250 employés. Seul 8% de notre échantillon correspond à des entreprises de taille inférieure à 50 salariés. Dans cette même logique, le niveau moyen du chiffre d'affaires de cet échantillon est élevé, soit supérieur à 10 millions d'euros pour 66% d'entre-elles (Cf. Figure 11). De plus, la majorité de ces entreprises est donneur d'ordre ou sous-traitant de rang 1, correspondant respectivement à 36% et 54% (Cf. Figure 12).

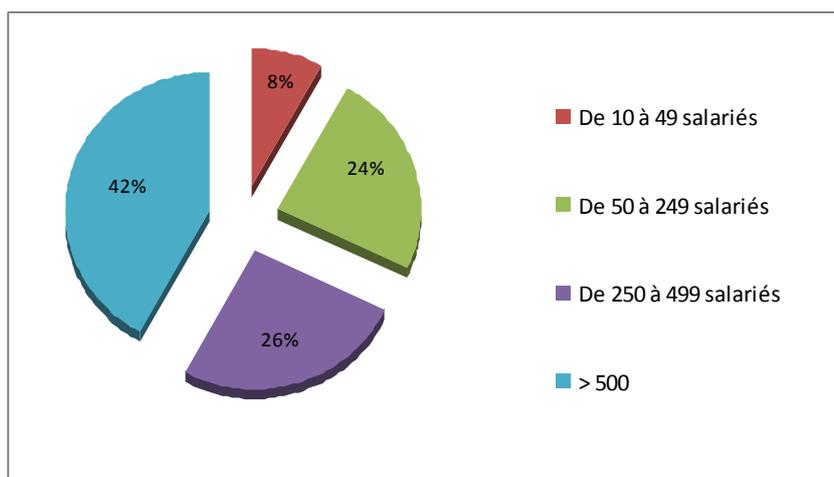


Figure 10. Répartition des entreprises en fonction de la taille

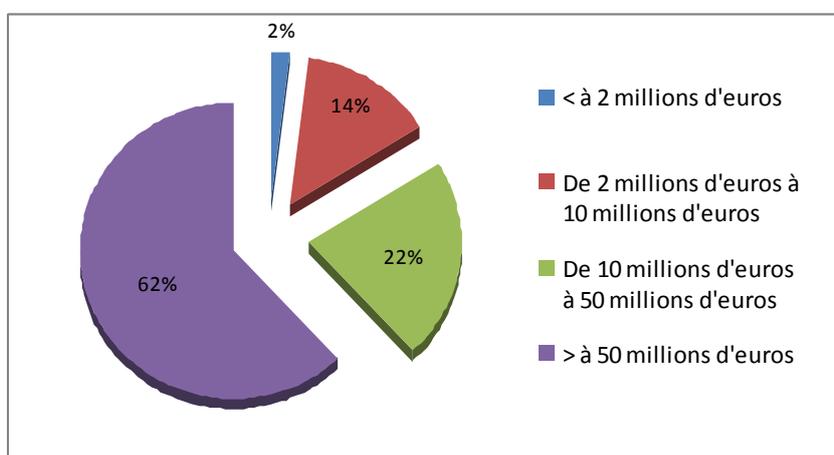


Figure 11. Répartition des entreprises en fonction du chiffre d'affaires

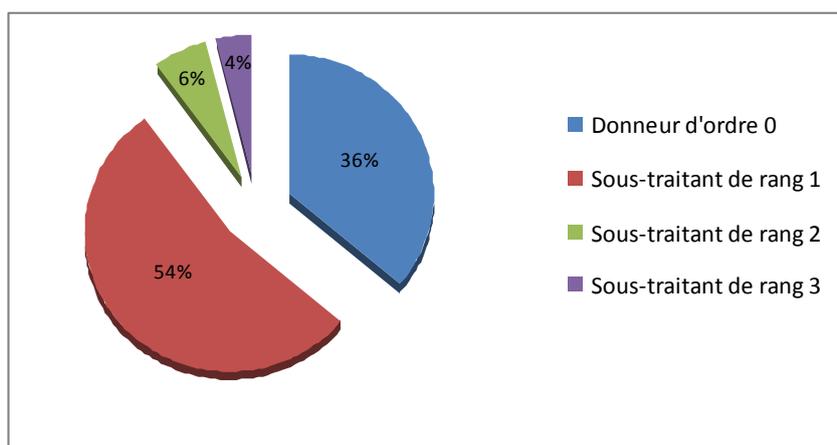


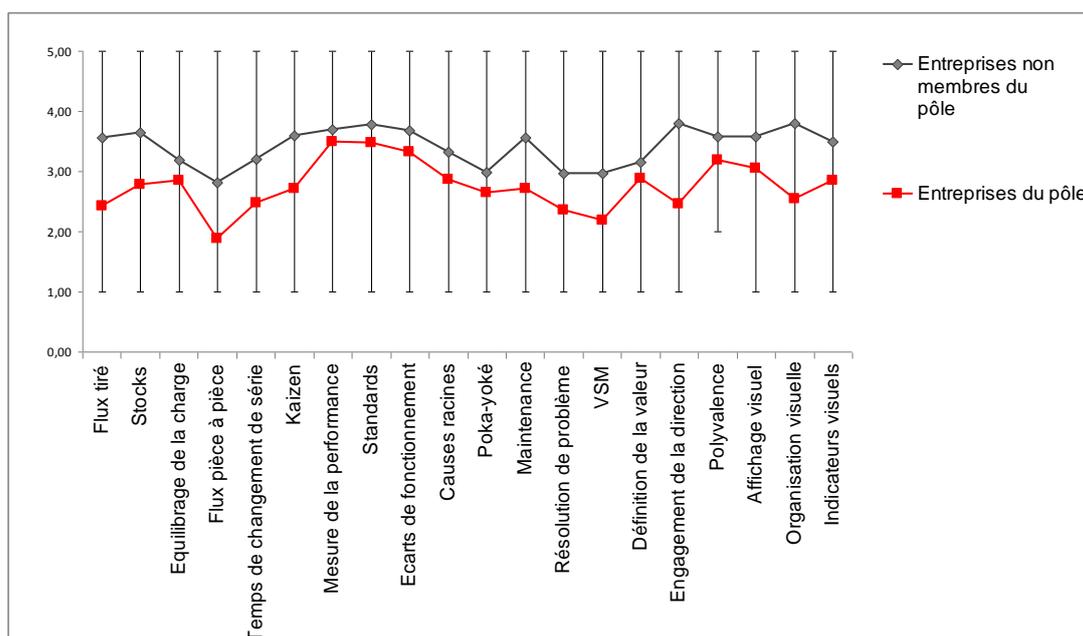
Figure 12. Répartition des entreprises en fonction du rang dans la chaîne logistique

## 4.2. Identification du niveau d'intégration Lean par pratique

Le tableau 9 présente la moyenne du niveau d'application des six concepts Lean, ainsi que la moyenne obtenue pour chacune des pratiques Lean. Une représentation graphique du niveau d'intégration de ces pratiques est présentée sur la figure 13.

Moyenne par concepts	N°	Pratiques	Moyenne générale	Moyenne par concepts
Juste à temps	1	Flux tiré	3,56	3,28
	2	Stocks	3,64	
	3	Equilibrage de la charge	3,18	
	4	Flux pièce à pièce	2,82	
	5	Temps de changement de série	3,20	
Amélioration continue	6	Kaizen	3,60	3,45
	7	Mesure de la performance	3,70	
Qualité	8	Standards	3,78	3,38
	9	Ecart de fonctionnement	3,68	
	10	Causes racines	3,32	
	11	Poka-yoké	2,98	
	12	Maintenance	3,56	
	13	Résolution de problème	2,96	
Elimination des gaspillages	14	VSM	2,96	3,06
	15	Définition de la valeur	3,16	
Management des hommes	16	Engagement de la direction	3,80	3,69
	17	Polyvalence	3,58	
Management visuel	18	Affichage visuel	3,58	3,63
	19	Organisation visuelle	3,80	
	20	Indicateurs visuels	3,50	

**Tableau 9.** Niveau de maturité Lean par pratique



**Figure 13.** Représentation graphique du niveau de maturité Lean par pratique

Chez ces 50 entreprises non membres du pôle, majoritairement représentées par des grandes entreprises et des donneurs d'ordre, le niveau d'application des concepts de la démarche Lean est compris entre 3,06 et 3,69 (Cf. Tableau 9). Ce résultat peut être expliqué par le fort engagement de la direction de l'ensemble de ces entreprises. Ce dernier atteint un niveau de 3,8 (Cf. Tableau 9 et Figure 13).

Les pratiques Lean relatives au flux pièce à pièce, à la résolution de problèmes et à l'utilisation de la VSM sont faiblement mises en œuvre (moyennes inférieures à 3). Leur niveau est significativement différent ( $p < 0,05$ ) de celui des pratiques Lean les plus intégrées telles que la mesure de la performance, les standards, l'engagement de la direction et l'organisation visuelle (moyennes supérieures ou égales à 3,7).

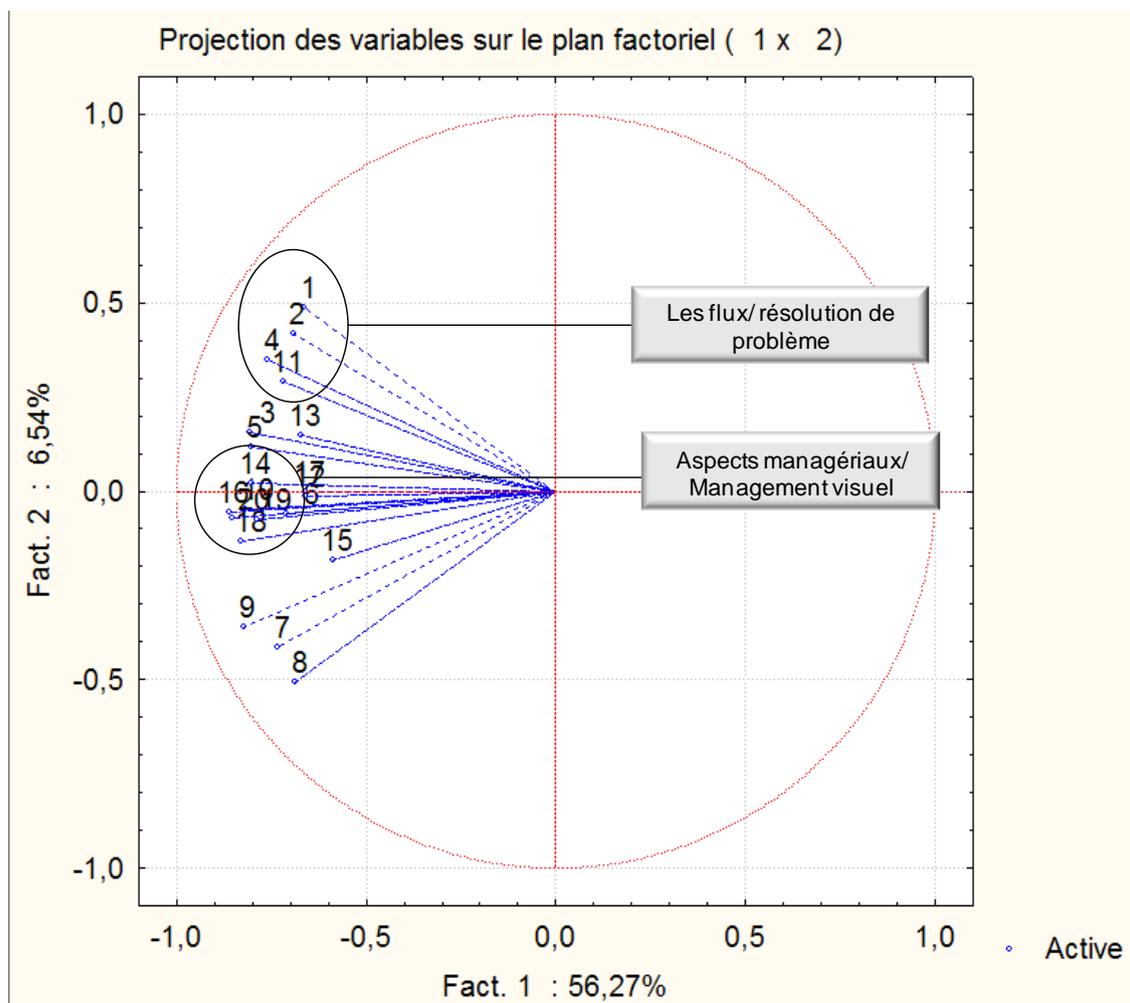
### 4.2.1. Analyse factorielle par pratique

Comme précédemment, afin d'étudier les impacts de l'application des pratiques Lean entre elles, nous avons ensuite réalisé une analyse factorielle en fonction des pratiques Lean dans ces 50 entreprises (Cf. Figure 14).

En accord avec les résultats observés dans les entreprises du pôle, la projection des variables met en évidence l'existence d'une même direction des 20 pratiques Lean, soulignant ainsi une synergie entre ces pratiques.

Le premier axe principal de cette projection est expliqué essentiellement par les aspects managériaux tels que l'engagement de la direction (pratique n° 16), les causes racines (pratique n° 10) et la cartographie de chaîne de valeur (pratique n°14).

L'axe secondaire est expliqué essentiellement par les pratiques relatives aux flux et à la résolution de problèmes. Les pratiques relatives aux flux sont celles du flux tiré (pratique n° 1), de la gestion des stocks en fonction de la demande réelle du client (pratique n° 2) et de l'équilibrage de la charge (pratique n° 4).



**Figure 14.** Projection des variables sur le plan factoriel 1 et 2. Les numéros de 1 à 20 correspondent aux pratiques Lean listées dans le Tableau 9

### 4.3. Comparaison des profils Lean

Le profil Lean observé dans les entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries présente plusieurs divergences avec celui des entreprises non membres du pôle.

Tout d'abord, de façon globale, le niveau de maturité Lean des 50 entreprises non membres du pôle est plus élevé que celui des 44 entreprises du pôle. En effet, ces entreprises disposent d'un niveau de maturité Lean par concept compris entre 3,06 et 3,69 (Cf. Tableau 9) alors que celui des entreprises du pôle est compris entre 2,48 et 2,95 (Cf. Tableau 4). De plus, dans les entreprises du pôle, les concepts Lean les plus appliqués sont l'amélioration continue et la qualité alors que pour les entreprises non membres du pôle, ce sont l'engagement de la direction et le management visuel. Cette différence de niveau d'intégration de la démarche Lean pourrait être expliquée par la forte disparité du niveau d'engagement de la direction entre ces deux groupes. Le niveau d'engagement de la direction dans les entreprises non membres du pôle atteint une moyenne de 3,8 alors que celui des entreprises du pôle n'est que de 2,45. L'analyse factorielle des données des deux échantillons a également mis en évidence que le niveau de maturité de la démarche Lean était étroitement dépendant de l'implication de la direction (Cf. Figure 4 et 15). En accord avec cette hypothèse, une analyse comparative de deux programmes d'implémentation de la démarche Lean dans une même entreprise conclut que la réussite d'une approche Lean ne peut être effective que dans le cas d'une implication active de la direction (Scherrer-Rathje et al., 2009).

De plus, une autre hypothèse serait liée au type de management des PME du pôle de compétitivité Arve Industries. En effet, le management de la direction des PME de la vallée de l'Arve est majoritairement de type familial (Guizzi, 2005). Ce type de management a une tendance à reproduire les modèles de management précédents alors que les entreprises de grands groupes sont sollicitées pour faire évoluer leurs pratiques de management.

Par ailleurs, les éléments du flux expliquant l'axe secondaire sont présents dans les deux groupes d'entreprises. L'analyse factorielle a montré dans les deux échantillons une opposition sur l'axe secondaire entre les flux et la qualité.

Cependant, dans les entreprises non membres du pôle, moins de pratiques Lean sont en opposition avec celles relatives aux flux. Ce résultat serait lié au fait que ces entreprises disposent d'un niveau de maturité Lean plus élevé que celui des entreprises du pôle. Lorsque l'entreprise est plus « mature » d'un point de vue Lean, la synergie entre les pratiques Lean serait meilleure.

Par ailleurs, la typologie des deux échantillons observés pourrait également influencer le profil Lean. Le premier échantillon représentant les entreprises du pôle de compétitivité est composé de 44 entreprises dont la majorité d'entre-elles sont des PME et des sous-traitants de dernier rang dans la chaîne logistique. Le deuxième échantillon de 50 entreprises non membres du pôle est, quant-à-lui, essentiellement composé de grandes entreprises donneuses d'ordre ou sous-traitantes de rang 1. Les donneurs d'ordre sont privilégiés pour mettre en place des démarches d'amélioration. Ces entreprises possèdent et attribuent plus de ressources humaines et financières pour le maintien des actions mises en place. Le niveau de maturité Lean est ainsi plus élevé dans les grandes entreprises que dans les PME. Dans une PME, le personnel est amené à occuper différentes fonctions dans l'entreprise (commercial, administratif, gestion financière, etc.). Par exemple, le responsable qualité peut être amené à s'occuper à la fois de la relation client, du contrôle des produits et de la métrologie. Dans ces conditions, comment, un responsable qualité peut-il prendre le recul suffisant pour maintenir les actions Lean mises en place ? De plus, la mise en œuvre de la démarche Lean représente une charge de travail supplémentaire pour le personnel. Par conséquent, le dirigeant doit dégager du temps au personnel pour pérenniser les actions Lean. La multiplicité des fonctions ne favorise pas leur maintien. Face à ces difficultés, le développement d'actions collectives telles que les programmes PPJ/ALP peut être une solution pour favoriser l'implémentation de la démarche Lean dans les PME. Cependant, les échecs de pérennisation soulignés précédemment nous amène à proposer des solutions complémentaires telles que la mise à disposition d'un expert Lean à temps partagés ou la création d'un poste de responsable Lean pour maintenir et faire progresser les plans d'action menés.

En dernier lieu, les pratiques Lean les moins appliquées par ces deux groupes d'entreprises concernent les pratiques relatives au flux pièce à pièce, à la

cartographie de chaîne de valeur et à la résolution de problèmes. Un tel constat nous conduit à nous poser les questions suivantes :

- ces pratiques sont-elles plus difficiles à mettre en œuvre que les autres ?
- nécessitent-elles d'avoir mis en place d'autres pratiques au préalable ?

A côté de ces similitudes d'application, une disparité est cependant relevée. En effet, contrairement aux entreprises non membres du pôle, celles membres du pôle adoptent très faiblement la pratique liée au flux tiré. Ce résultat pourrait être le reflet des spécificités locales de ces entreprises.

## 5. Conclusion

Dans ce chapitre, notre contribution a consisté à identifier le niveau de maturité Lean des entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries à l'aide d'un questionnaire d'auto-évaluation basé sur les six concepts Lean communs aux auteurs référents (Cf. Chapitre 1).

Cette enquête nous a permis d'identifier, d'une part, l'existence d'un niveau de qualité plus élevé que celui des pratiques relatives aux flux. D'autre part, cette étude a soulevé les questions suivantes :

- les entreprises du pôle de compétitivité ont tendance à commencer la mise en œuvre de la démarche Lean par les pratiques relatives aux flux tirés avant les pratiques relatives à la qualité. Cette approche est-elle adéquate ?
- le faible niveau de maturité Lean de certaines pratiques dans les entreprises du pôle de compétitivité est-il justifié par l'existence de spécificités particulières ? Dans ce cas, est-il pertinent de proposer des outils et des pratiques mieux adaptés à l'environnement ?

Les chapitres 3 et 4 auront pour objectif d'apporter des éléments de réponses à ces questions.

# **CHAPITRE 3. STANDARD DE DEPLOIEMENT DE LA DEMARCHE LEAN**

### 1. Introduction

L'étude du profil de maturité Lean a montré qu'aucune entreprise (membre et non membre du pôle de compétitivité) n'atteignait un niveau de maturité Lean exemplaire ou proche de l'exemplarité. De plus, l'analyse des résultats a suggéré l'existence d'un ordre entre la mise en œuvre des pratiques Lean (Cf. Chapitre 2, partie 3.1.3). Ce résultat nous amène, naturellement à nous interroger sur la méthodologie utilisée pour mettre en œuvre l'approche Lean.

En effet, comme nous l'avons précédemment évoqué (Cf. Chapitre 1, partie 3.1), toute entreprise désirant s'engager dans une démarche Lean est confrontée aux problématiques suivantes : faut-il mettre en place la démarche Lean de façon séquentielle ou simultanée ? Par quelle pratique doit-on débiter la mise en œuvre du Lean ?

Jusqu'à présent, aucun consensus autour d'une méthode de mise en œuvre du Lean n'a été établi. Les différences de niveaux de maturité Lean observés précédemment (Cf. Chapitre 2) pourraient être, en partie, le résultat d'un manque de standard de mise en œuvre des pratiques Lean. En effet, un ordre de mise en place des pratiques non approprié pourrait contribuer à un faible niveau de maturité de certaines pratiques et dans un cas extrême à l'échec de l'implémentation du Lean.

Bien que la démarche Lean soit définie comme une approche globale (Koskela, 2004; Doolen et Hacker, 2005; Womack et Jones, 2005; Hicks, 2007), dont les principaux éléments qui la composent sont en interaction, sa mise en œuvre fait toujours débat. Par exemple, il est difficile d'aboutir à une culture d'amélioration continue partagée par l'ensemble de l'entreprise sans mise en œuvre de standards au préalable. Cependant, les résultats concernant l'ordre de mise en place des concepts Lean sont contradictoires (Åhlström, 1998; Melton, 2005; Womack et Jones., 2005; Rivera et Chen, 2007; Alarçon et al., 2008). Ces études suggèrent de commencer la mise en place du Lean par différentes phases, telles que par exemple, une phase de collecte des données (Melton, 2005), une phase d'analyse avec le développement d'une cartographie de chaîne de valeur (Alarçon et al., 2008), le principe de zéro défaut (Åhlström, 1998) ou encore une phase de changement des attitudes des employés (Roos, 1990).

Par ailleurs, une étude intéressante a montré une relation entre la typologie de l'entreprise et la séquence de mise en œuvre d'actions d'amélioration dans 125 entreprises localisées en Italie, au Japon et aux Etats-Unis (Filippini et al., 1998). Ces entreprises peuvent être regroupées en deux types : celles avec un haut niveau de variabilité des volumes des ventes, mais moins exposées à la concurrence internationale, concentrées sur des initiatives technologiques et celles produisant dans des conditions stables (haut niveau de standardisation des produits et des cycles de vie des produits longs). De plus, un lien entre le pays d'origine et la séquence d'initiatives d'amélioration a été également souligné. Ainsi, les entreprises américaines implémentent en priorité des actions d'amélioration orientées sur les aspects technologiques avant celles liées au management. En revanche, les entreprises japonaises implémentent en premier les initiatives visant l'organisation et le management (Filippini et al., 1998).

La contradiction de ces données concernant la démarche de mise en œuvre du Lean nous a conduits à nous interroger sur l'ordre de mise en place le plus approprié pour favoriser la réussite d'une démarche Lean. Pour ce faire, nous avons interrogé 25 experts Lean français. Cette étude a pour objectif d'identifier d'une part, les incontournables au déploiement d'une démarche Lean et d'autre part, les antériorités existantes entre les différentes pratiques.

## 2. Méthode

### 2.1. Questionnaire utilisé

Pour rechercher l'existence d'antériorité entre les différentes pratiques Lean, nous avons élaboré un questionnaire autour des six concepts Lean communs identifiés précédemment : l'amélioration continue, la qualité, le management des hommes, l'élimination des gaspillages, le management visuel et le juste à temps (Cf. Chapitre 1, partie 2.2).

Pour identifier ces antériorités les questions posées sont les suivantes :

- existe-t-il des antériorités nécessaires à la mise en place de certaines pratiques Lean ?
- dans ce cas, quelles sont les pratiques Lean devant être mise en place au préalable ?

Par exemple, pour la pratique relative à l'amélioration continue, nous questionnons les experts de la façon suivante : pour réussir la mise en œuvre d'une démarche d'amélioration continue, l'élaboration des standards est-elle indispensable ou inutile ? Les experts Lean sont interrogés de la même manière pour chacune des pratiques Lean (Cf. Tableau 1).

25 « experts » Lean ont été sélectionnés. Ces experts appartiennent aux catégories professionnelles suivantes : 25% d'industriels, 50% d'enseignants chercheurs et 25% de consultants.

N°	Pratiques LEAN
N°1	Flux/ systèmes tirés/ équilibrage
N°2	SMED
N°3	Amélioration continue/ kaizen
N°4	Mesure de la performance
N°5	Standards
N°6	Résolution de problèmes Causes racines
N°7	Maintenance
N°8	Value Stream Mapping (VSM)
N°9	Value Stream Design (VSD)

N°10	Définition de la valeur
N°11	Engagement de la direction
N°12	Engagement du personnel
N°13	Polyvalence
N°14	Affichage/organisation visuels
N°15	Indicateurs visuels (Andon)
N°16	Diagnostic / Rapport A3
N°17	5S

**Tableau 1.** Pratiques Lean

Afin d’approfondir nos résultats, deux questions supplémentaires ont été posées :

- quelles sont selon vous les principaux vecteurs de réussite d’une démarche Lean ?
- quelles sont les principales causes d’échecs de cette démarche ?

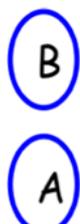
### 2.2. Méthode des antériorités

Afin d’identifier l’ordre de mise en place des différentes pratiques Lean, l’analyse des réponses obtenues est réalisée à partir de la méthode des antériorités. Cette méthode est généralement employée pour identifier la mise en ligne idéale d’un atelier de fabrication (Courtois et al., 2007). Un exemple d’application de la méthode des antériorités, à partir des gammes de fabrication d’un produit, est présenté (Cf. Tableau 2). Dans cet exemple, les différentes étapes de fabrication sont réalisées sur les machines A à I. L’ensemble des machines qui interviennent dans une gamme de fabrication avant la machine considérée est, tout d’abord, listé (Cf. Tableau 2).

Machines	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Antériorités			A	B E C A	C A	G D B F E C A	D B F E C A	F G D B E C A	H F G D B E C A

**Tableau 2.** Antériorités existantes pour la fabrication d’un produit

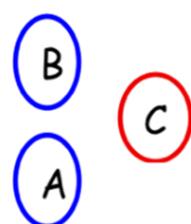
L'étape suivante de la méthode consiste à placer les machines qui n'ont pas d'antériorité et à les rayer de la liste du tableau. Dans le cas présenté, A et B ne disposent pas d'antériorité (Cf. Tableau 3).



Machines	<del>A</del>	<del>B</del>	C	D	E	F	G	H	I
Antériorités			<del>A</del>	<del>B</del> E <del>C</del>	<del>C</del> <del>A</del>	G <del>D</del> <del>B</del> E C <del>A</del>	D <del>B</del> F E C <del>A</del>	F G <del>D</del> <del>B</del> E C <del>A</del>	H F G D <del>B</del> E C <del>A</del>

Tableau 3. Deuxième étape de la méthode d'antériorité

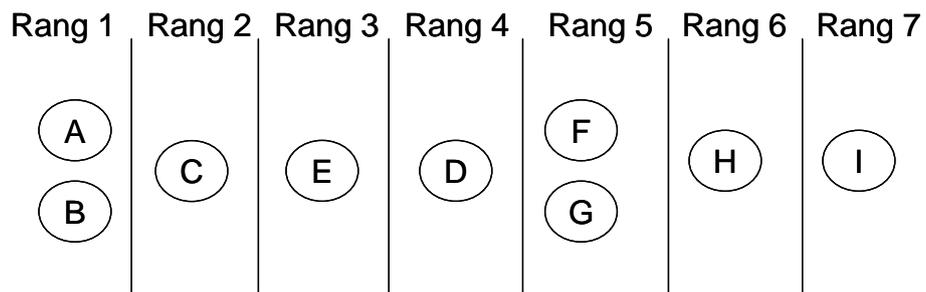
Après les avoir rayés de la liste nous constatons que C n'a plus d'antériorité. Donc la machine C est placée après les machines A et B et est ensuite rayée (Cf. Tableau 4).



Machines	<del>A</del>	<del>B</del>	<del>C</del>	D	E	F	G	H	I
Antériorités			<del>A</del>	<del>B</del> E <del>C</del>	<del>C</del> <del>A</del>	G <del>D</del> <del>B</del> E <del>C</del> <del>A</del>	D <del>B</del> F E <del>C</del> <del>A</del>	F G <del>D</del> <del>B</del> E <del>C</del> <del>A</del>	H F G D <del>B</del> E <del>C</del> <del>A</del>

Tableau 4. Troisième étape de la méthode d'antériorité

Ces étapes sont répétées jusqu'à ce que toutes les machines soient rayées. L'exemple choisi fait apparaître une symétrie entre F et G. En effet, F est l'antériorité de G et G est l'antériorité de F. Dans ce cas, les deux machines doivent être rayées et placées en même temps. Après avoir réalisé plusieurs itérations de cette procédure, le résultat suivant est obtenu (Cf. Figure 1):



**Figure 1.** Mise en ligne idéale des machines

Adaptée à notre cas d'étude, la méthode des antériorités va nous permettre d'identifier l'ordre de mise en place optimale des pratiques Lean pour la réussite d'une démarche Lean.

### 3. Résultats

#### 3.1. Données recueillies

Le tableau 5 résume les antériorités incontournables énoncées par l'ensemble des personnes interrogées (Cf. Tableau 14). Pour une meilleure robustesse et de représentativité de nos résultats, nous avons choisi de considérer uniquement les réponses lorsque plus de 50% du panel interrogé (au moins 13 experts Lean) a énoncé la même antériorité (Cf. Tableau 5).

Pratiques LEAN	n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6	n°7	n°8	n°9	n°10	n°11	n°12	n°13	n°14	n°15	n°16	n°17
n°1	0	2	3	1	1	3	3	2	3	1	0	0	6	1	2	1	2
n°2	15	0	3	2	1	1	1	2	3	0	0	0	3	1	2	1	2
n°3	9	4	1	2	8	9	5	5	6	4	0	5	5	6	8	7	6
n°4	17	18	17	0	5	12	13	12	10	3	0	2	6	19	16	9	2
n°5	14	9	11	10	0	14	6	5	5	2	0	2	14	12	14	8	6
n°6	5	5	11	1	1	0	10	1	4	0	0	0	1	3	8	9	1
n°7	9	9	4	0	0	0	0	4	4	0	0	1	1	1	6	2	0
n°8	16	12	3	2	0	0	4	0	17	1	0	0	3	3	2	3	0
n°9	8	5	2	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	1	3	1
n°10	19	8	12	14	9	6	7	16	15	0	0	4	5	5	8	11	2
n°11	25	15	24	18	19	16	17	24	24	17	0	24	23	21	19	18	20
n°12	18	20	16	14	19	15	12	8	12	7	0	0	23	10	15	11	13
n°13	10	4	5	0	4	0	1	0	1	0	0	2	0	1	4	1	0
n°14	7	7	5	7	2	5	0	4	2	0	0	5	6	0	4	4	3
n°15	7	3	3	3	1	2	5	3	1	0	0	1	0	1	0	2	0
n°16	8	7	8	4	1	9	3	3	7	1	0	1	2	2	5	0	3
n°17	10	9	10	2	6	4	6	0	1	0	0	4	2	5	9	7	0

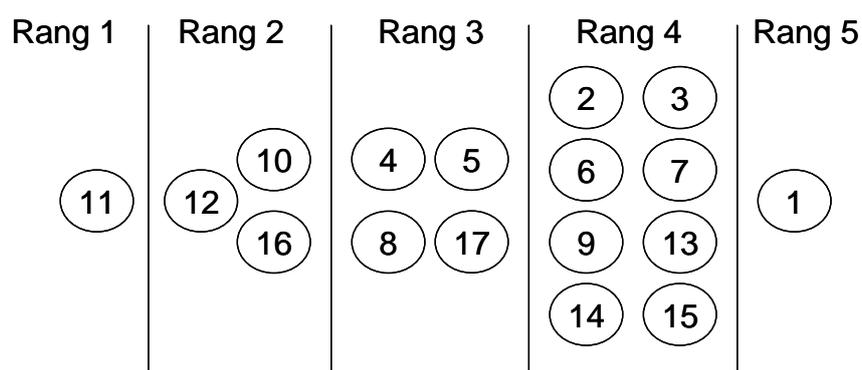
**Tableau 5.** Antériorités énoncées par l'ensemble du panel interrogé  
(Les chiffres correspondent au nombre de personnes ayant énoncé l'antériorité concernée ; les numéros de pratiques numérotées de 1 à 17 correspondent aux pratiques listées dans le tableau 1)

Pratiques LEAN	n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6	n°7	n°8	n°9	n°10	n°11	n°12	n°13	n°14	n°15	n°16	n°17
n°1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n°2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n°3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n°4	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
n°5	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
n°6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n°7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n°8	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
n°9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n°10	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
n°11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
n°12	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
n°13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n°14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n°15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n°16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n°17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tableau 6.** Antériorités énoncées par plus de 50% des personnes interrogées (Valeur 1 : si antériorité ; valeur 0 : si pas d'antériorité ; les numéros de pratiques numérotées de 1 à 17 correspondent aux pratiques listées dans le tableau 1)

### 3.2. Méthode des antériorités : résultats obtenus

A partir des données du tableau 6, et de la méthode des antériorités, nous avons obtenus cinq rangs de mise en œuvre des pratiques Lean (Cf. Figure 2).

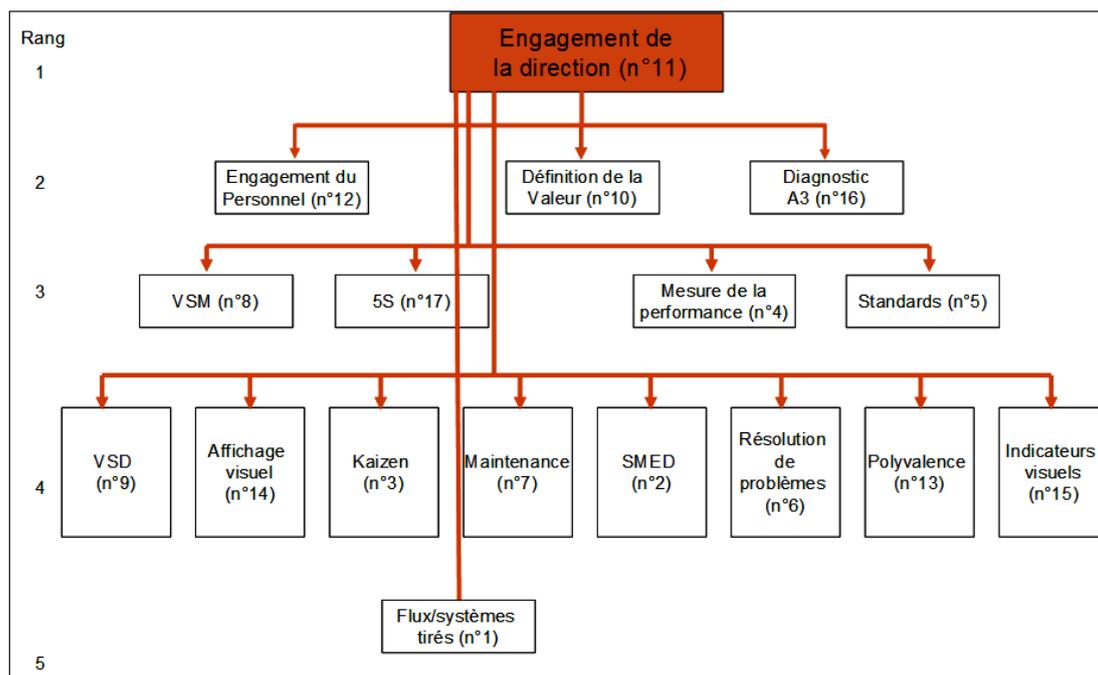


**Figure 2.** Ordre de mise en place des pratiques Lean par la méthode des antériorités. Le rang 1 correspond à la pratique n°11, engagement de la direction. Les chiffres correspondent aux numéros attribués aux pratiques Lean du tableau 6

Nous exposons ci-dessous les antériorités existantes pour chacun des niveaux dans des figures distinctes afin de faciliter la présentation des liens hiérarchiques

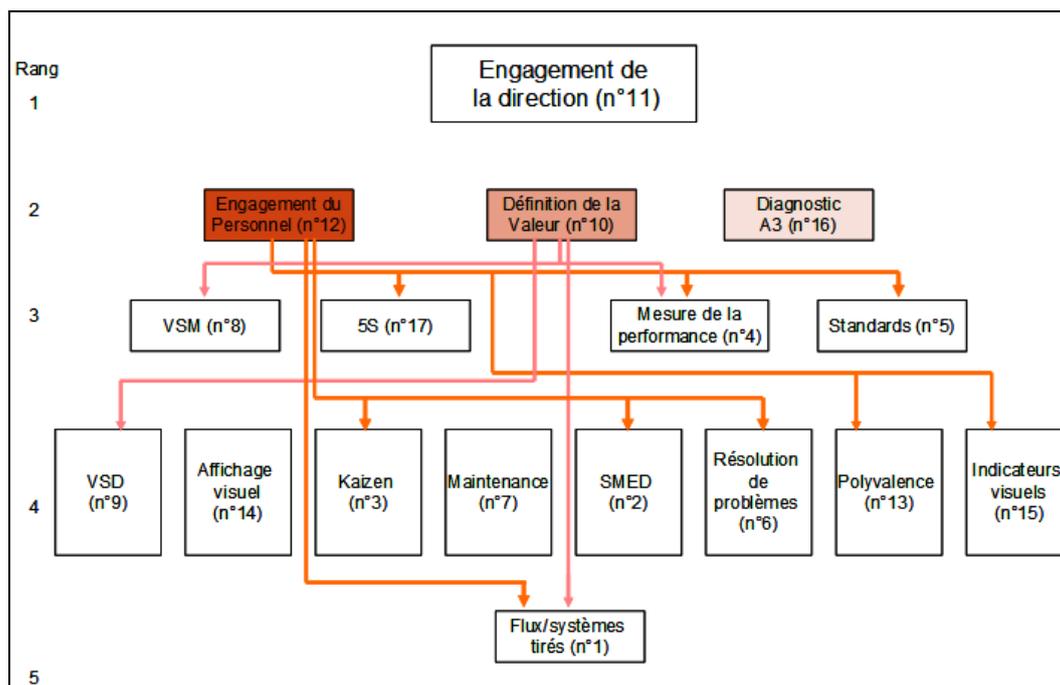
unissant les différentes pratiques Lean. Ces représentations graphiques ont été obtenues à partir des données du tableau 6. L'analyse des résultats sera ensuite réalisée pour chacun des 5 rangs.

Tout d'abord, la représentation graphique des liens existants entre la pratique du premier rang et les autres pratiques est présentée sur la figure 3.



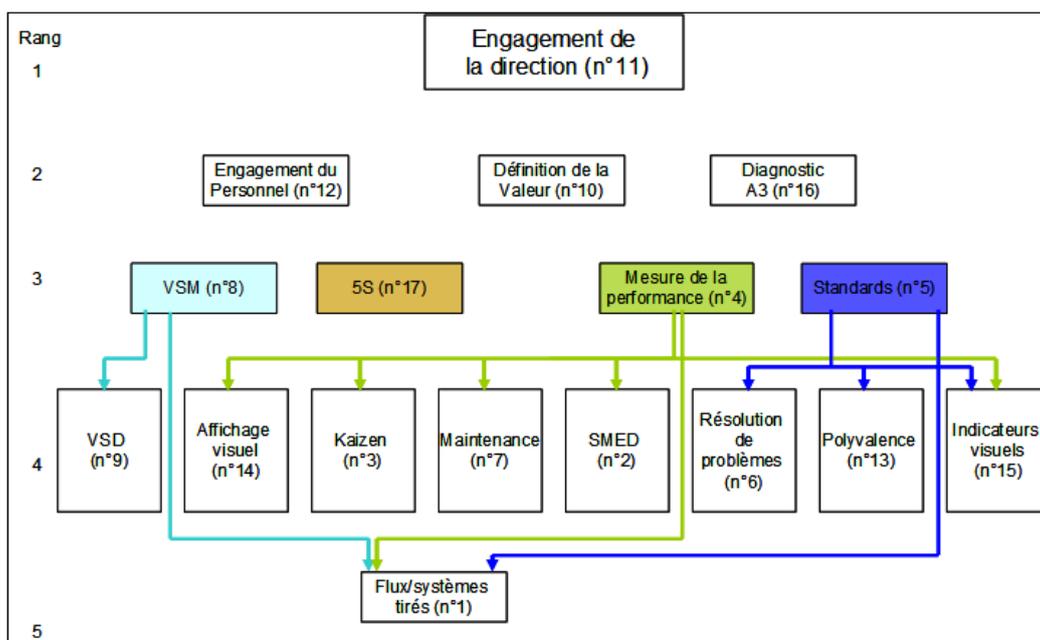
**Figure 3.** Antériorités existantes entre l'engagement de la direction et les autres pratiques Lean

La figure suivante représente les liens existants entre les pratiques Lean du deuxième niveau et les autres pratiques (Cf. Figure 4).



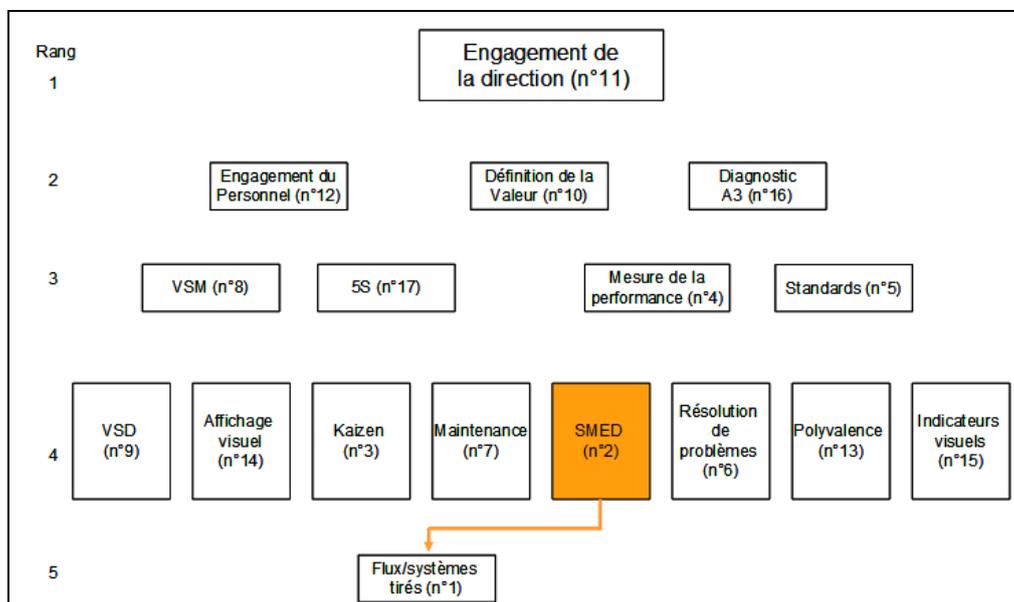
**Figure 4.** Antériorités existantes entre les pratiques du deuxième niveau et les autres pratiques Lean

Les liens existants entre les pratiques Lean du troisième niveau et les autres pratiques sont présentés sur la figure 5.



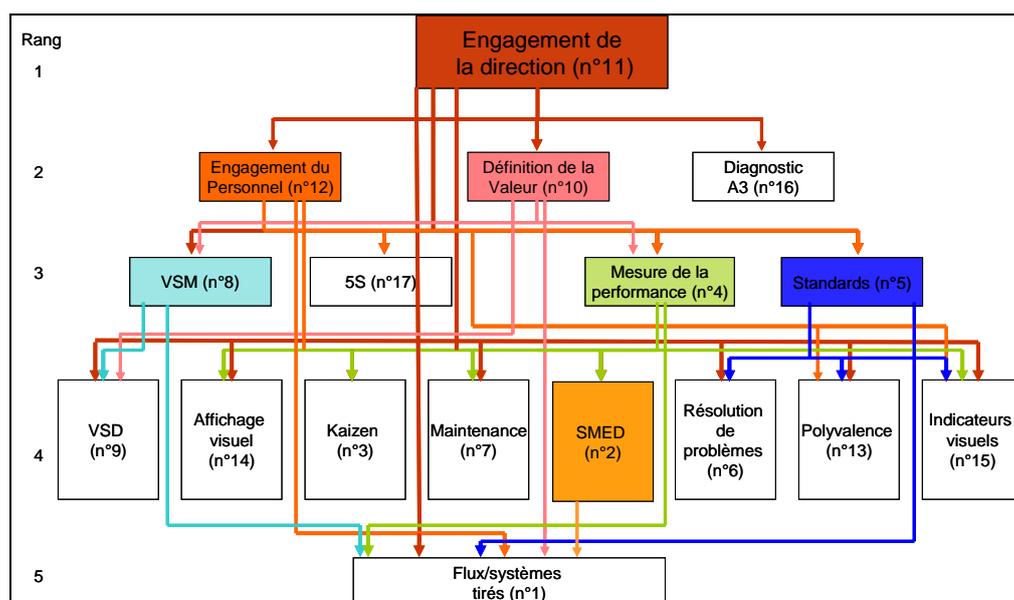
**Figure 5.** Antériorités existantes entre les pratiques du troisième niveau et les autres pratiques Lean

La représentation graphique des liens existants entre les pratiques Lean du quatrième niveau et les autres pratiques est présentée sur la figure 6.



**Figure 6.** Antériorités existantes entre les pratiques du quatrième niveau et les autres pratiques Lean

Enfin, la figure 7 présente l'ensemble des liens existants pour chacun des niveaux.



**Figure 7.** Représentation graphique des liens existants entre chacune des pratiques Lean

Selon les 25 experts interrogés, l'implication de la direction (pratique n°11) est le premier rang observé dans la mise en œuvre d'une démarche Lean (Cf. Figure 3). En effet, l'engagement de la direction est une antériorité indispensable à chacune des pratiques Lean.

Le deuxième rang identifié concerne les pratiques relatives à la définition de la valeur (pratique n°10), l'engagement du personnel (pratique n°12) et le diagnostic ou rapport A3 (pratique n°16) (Cf. Figure 4). Ces trois pratiques n'ont donc qu'une seule antériorité : l'engagement de la direction.

Les pratiques Lean pouvant être mise en place par la suite sont celles situées au troisième rang correspondant aux pratiques relatives à la mesure de la performance (pratique n°4), aux standards (pratique n°5), à la VSM (pratique n°8) et à l'outil 5S (pratique n°17). Les pratiques appartenant à ce niveau possèdent deux à trois antériorités indispensables à leur mise en place (Cf. Figure 5).

Le quatrième rang regroupe huit pratiques pour lesquelles entre deux et quatre antériorités ont été identifiées. La réussite des autres pratiques Lean situées dans le rang 4 dépendra de la mise en œuvre de plusieurs pratiques des rangs 1, 2 et 3.

Le dernier rang obtenu concerne la mise en œuvre des pratiques relatives aux flux. La mise en œuvre réussie de ces pratiques requiert le niveau de maturité Lean le plus élevé puisqu'elle dépend de la réussite de nombreuses autres pratiques Lean (7 antériorités identifiées) (Cf. Figure 6).

### 3.4. Vecteurs de réussite et facteurs d'échecs d'une démarche Lean

Les principaux vecteurs de réussite cités par la majorité des experts incluent l'implication et la conviction de la direction, la sollicitation de l'intelligence de l'ensemble du personnel, l'intégration d'une culture de résolution de problèmes et l'appropriation de la démarche. De multiples réponses individuelles supplémentaires ont été énoncées dont notamment l'audit permanent des méthodes pratiquées, la rigueur et l'accompagnement par des professionnels compétents.

Par ailleurs, la recherche de gains sur le court terme est considérée comme la principale cause d'échec de mise en œuvre de la démarche Lean. Le manque

d'implication de la direction, la focalisation sur les outils ou le manque de méthodes de pérennisation sont aussi les causes d'échec les plus citées. D'autres causes d'échec ont également été énoncées tels que le manque de communication, le manque d'objectifs clairs et le manque de vision systémique du Lean.

### **4. Discussion et conclusion**

Les résultats sont en faveur d'une mise en place progressive des pratiques Lean bien que certaines d'entre elles peuvent être réalisées en parallèles. En effet, cinq niveaux de hiérarchisation dans le déploiement du système Lean ont été mis en évidence.

La première pratique Lean à mettre en œuvre est l'engagement de la direction. Ce résultat était attendu. En effet, sans une implication forte de la direction, comment mettre en place le Lean ? La direction se doit d'orienter l'ensemble de l'entreprise vers l'approche Lean. Un tel engagement implique la mise à disposition de temps et de ressources pour la bonne conduite de la démarche. La clé pour mettre en œuvre avec succès la démarche Lean est de considérer l'engagement et l'encadrement comme élément faisant partie intégrante du système de production et non comme un « élément supplémentaire à la démarche Lean » (Orr, 2005). Ainsi, neuf comportements essentiels doivent être associés aux managers : (1) enseigner et diriger les groupes de travail, (2) respecter les personnes, (3) soutenir et accorder une reconnaissance, (4) avoir une approche processus, (5) guider, (6) avoir une politique de déploiement de politique et d'objectifs, (7) avoir une culture du standard, (8) avoir une vision à long terme, (9) soutenir le processus de changement (Orr, 2005).

Au deuxième niveau de mise en place des pratiques Lean, l'engagement du personnel est logiquement observé. Ce résultat n'est pas en contradiction avec le fait que l'implication des hommes doit être également présente pour réussir la mise en œuvre des pratiques Lean situées aux niveaux inférieurs. Par ailleurs, ce résultat souligne l'importance particulière qui doit être apportée au personnel. En effet, d'une part, pendant la phase de déploiement du système Lean, une réticence des employés peut être rencontrée au sein de l'entreprise (Baglin et Capraro, 1999; Alarçon et al., 2008; Houy, 2008). Pour palier à ces résistances, il est important de faire participer l'ensemble du personnel dès le début de la mise en œuvre de la démarche Lean (Roos, 1990; Baglin et Capraro, 1999). D'autre part, l'application et le suivi de l'ensemble des pratiques et outils Lean nécessitent l'implication des employés.

En accord avec ces données, plusieurs auteurs placent l'implication du personnel au cœur de la démarche Lean (Ohno, 1988; Liker, 2004). De la même manière, la plupart des experts ont identifié comme vecteur principal de réussite d'une démarche Lean la sollicitation du personnel, l'implication et la conviction de la direction.

Au regard de ces résultats, il convient de souligner que les experts Lean français interrogés préconisent d'implémenter tout d'abord des pratiques fortement orientées vers le management de la même façon que les entreprises japonaises (Filippini et al., 1998).

Toujours au deuxième niveau de mise en place sont identifiées les pratiques relatives au diagnostic et à la définition de la valeur. Mettre en œuvre la pratique de définition de la valeur au commencement d'une démarche Lean a pour objectif d'orienter l'ensemble de la stratégie de l'entreprise au plus près des besoins du client. Ce résultat est en parfait accord avec la définition de la démarche Lean formalisée par Womack et Jones préconisant de définir la valeur souhaitée par le client avant de mettre en œuvre une VSM ou des pratiques relatives aux flux (Womack et Jones, 2005). Par ailleurs, l'élaboration d'un diagnostic se doit d'être réalisée de façon précoce puisqu'il contribue à l'identification des axes stratégiques d'amélioration. Pour certains consultants, le diagnostic A3 est même considéré comme un outil d'animation de la démarche.

Les troisième et quatrième niveaux incluent le plus grand nombre de pratiques Lean. Le nombre d'antériorité incontournable pour la mise en œuvre réussie de ces pratiques varie de deux à quatre. Par exemple, l'amélioration continue requiert l'implémentation de standards, d'engagement de la direction et de personnel. La mise en œuvre d'une VSD ne peut être réussie sans avoir réalisé au préalable une VSM et nécessite également une implication du personnel et de la direction.

Finalement, au dernier niveau de mise en place, les pratiques relatives aux flux et aux systèmes tirés sont observées. Plus de la moitié des experts interrogés ont identifié sept antériorités à ces pratiques : l'engagement de la direction (pratique n°11), l'engagement du personnel (pratique n°12), la méthode SMED (pratique n°2),

la définition de la valeur (pratique n°10), l'outil VSM (pratique n°8), les standards (pratique n°5) et la mesure de la performance (pratique n°4). Ce résultat est particulièrement intéressant, puisqu'il est courant que les entreprises souhaitent mettre en œuvre les pratiques relatives aux systèmes tirés en priorité, sans toujours prendre le temps d'avoir mis en place les préalables nécessaires. Les multiples antériorités liées aux pratiques relatives aux flux sont en partie expliquées par la complexité des outils et des concepts sous tendant ces pratiques tels que l'utilisation de la méthode Kanban, la production en fonction de la demande réelle du client, la réduction des stocks et l'équilibrage de la charge. Ces pratiques nécessitent une grande flexibilité du personnel et de l'organisation même de l'entreprise. Un niveau de maturité Lean élevé de l'entreprise est donc nécessaire.

L'identification de ces sept antériorités devrait permettre de faciliter le déploiement des pratiques relatives aux flux (systèmes tirés, équilibrage des flux) et d'en obtenir les résultats escomptés.

En conclusion, face au manque de consensus concernant le déploiement de la démarche Lean, nous avons cherché, dans ce chapitre à savoir s'il existait un ordre de mise en place des pratiques Lean. Nos résultats ont montré l'existence d'un nombre d'antériorités à respecter dans le déploiement d'une démarche Lean. En effet, la majorité des pratiques Lean présente des antériorités incontournables. Des liens précis entre les différentes pratiques Lean existent (Cf. Figure 7). Cette étude nous a donc permis de les identifier à partir des réponses communes à plus de 50% des consultants, enseignants-chercheur et industriels interrogés. La connaissance de ces liens devrait contribuer, d'une part à la formalisation d'un standard du déploiement de la démarche Lean et d'autre part, à la réussite de la mise en œuvre des pratiques Lean par les entreprises.

## **CHAPITRE 4. VERS UN SYSTEME DE PRODUCTION LEAN ADAPTE**

### **Introduction**

Au-delà du déploiement de la démarche Lean se pose la question de l'application de ses pratiques. Les pratiques Lean sont-elles adaptées aux entreprises membres du pôle de compétitivité ? En effet, le profil Lean observé au sein des entreprises membres du pôle a révélé plusieurs disparités en termes d'intégration des pratiques Lean, dont certaines sembleraient être spécifiques à la typologie des entreprises (Cf. Chapitre 2). Afin d'améliorer la performance de ces entreprises au travers d'une meilleure mise en œuvre de l'ensemble des pratiques Lean, nous avons recherché des démarches adaptées aux spécificités des entreprises du pôle de compétitivité permettant une meilleure appropriation des concepts Lean

Les pratiques Lean relatives à la résolution de problèmes, à l'utilisation de la cartographie de chaîne de valeur et aux flux tiré présentent un faible niveau d'intégration au sein des entreprises du pôle de compétitivité (Cf. Chapitre 2). L'application de ces pratiques requiert a priori une appropriation voire même un ajustement en fonction des spécificités des PME du pôle, conduisant au développement d'un système de production Lean adapté. En effet, l'origine culturelle japonaise de la démarche Lean est éloignée de la culture d'entreprise de la vallée de l'Arve. Nous nous proposons, tout d'abord, d'étudier la pertinence de ces écarts et de proposer, le cas échéant, des approches pour adapter l'application du Lean aux spécificités locales de ces entreprises.

Une faible mise en œuvre des méthodes de résolution de problèmes a été montrée au sein des deux échantillons d'entreprises (premier échantillon composé de 44 entreprises membres du pôle de compétitivité Arve Industries et deuxième échantillon composé de 50 entreprises extérieures au pôle de compétitivité Arve Industries). De prime abord, ce faible niveau d'application pourrait être le reflet de difficultés de mise en œuvre des méthodes de résolution de problèmes. Or la simplicité de ces outils ne devrait pas engendrer d'obstacles à leur application. Ce résultat serait donc plus le reflet d'un manque de sollicitation des collaborateurs par la structure de management. Le management des entreprises devrait être axé autour d'une réelle mise en mouvement d'une démarche de progrès.

Pour favoriser la mise en œuvre des méthodes de résolution de problèmes et, de façon plus générale, la mise en mouvement de l'entreprise et de son organisation, nous nous proposons d'introduire les principes de la culture européenne afin de promouvoir un management par le progrès. Ce travail a été publié dans la revue française de gestion industrielle (Pillet et al., 2008).

Les pratiques relatives à l'utilisation de la cartographie de chaîne de valeur (ou VSM) sont également faiblement appliquées par les entreprises du pôle. Ce résultat pourrait refléter la complexité de mise en œuvre de cet outil, mais aussi le manque de sollicitation de la structure managériale. Quels sont les autres freins à sa mise en œuvre ? A contrario, quels sont les facteurs clefs de réussite de l'emploi de l'outil VSM ? Pour répondre à ces questions, notre contribution consiste à mettre en place une démarche d'optimisation des flux à partir de l'utilisation d'une cartographie de chaîne de valeur au sein d'une PME membre du pôle de compétitivité. Cette étude a fait l'objet d'une publication dans le congrès international suivant : International Conference on Advances in Production Management Systems (Lyonnet et al., 2010b).

Par ailleurs, la première question que pose la mise en œuvre d'une VSM est celle du choix du flux de production à optimiser. Sur quels critères baser ce choix ? Nous nous proposons de développer une méthode de hiérarchisation des ressources des entreprises. Cette nouvelle approche permettra d'identifier les ressources prioritaires impactant le plus la performance afin de prioriser les actions d'amélioration sur ces ressources. Cette méthode a fait l'objet de trois publications dans la revue internationale suivante : International Journal on Industrial Risks Engineering (Lyonnet et al., 2010c) et dans les conférences internationales suivantes : International Conference on Business Sustainability (Lyonnet et al., 2008) et International Conference on Industrial Risk Engineering (Lyonnet et al., 2009b).

Finalement, une faible mise en œuvre des principes liés aux flux tirés est observée dans les entreprises du pôle dont la majorité d'entre elles sont des entreprises de décolletage. Pourquoi ces entreprises appliquent-elles si peu ce concept fondamental de la démarche Lean ? Jusqu'à présent, ces entreprises

produisent plus que la demande réelle du client. Cette méthode de production serait-elle justifiée par les spécificités locales de leur système productif, tels des coûts de changement de série élevés ? Afin de fournir les éléments de décision pour connaître la meilleure stratégie de production pour une PME du pôle, nous nous proposons de développer un modèle de calcul de la quantité optimale à produire en prenant en compte une modélisation probabiliste des ventes. Cette étude a fait l'objet de deux publications dans les congrès internationaux suivants : Congrès International de Génie Industriel (Lyonnet et al., 2009a) et World Congress on Engineering (Lyonnet et al. 2010d).

En résumé, dans ce chapitre, nous proposerons, tout d'abord, d'introduire les principes de la culture européenne dans une démarche d'amélioration facilitant la réussite d'une démarche de progrès. L'application de l'outil VSM dans une PME membre du pôle sera ensuite étudiée. Le développement d'une méthode d'identification des ressources critiques sera réalisé. Finalement, un modèle de calcul de la quantité optimale à produire sera proposé pour répondre aux spécificités locales.

## 1. Intégration des principes de la culture européenne

Au-delà du déploiement d'une démarche Lean, des ajustements ou des appropriations sont nécessaires dans les entreprises du pôle. Comme nous l'avons vu précédemment, l'engagement de la direction et du personnel sont nécessaires à la réussite de l'ensemble des pratiques Lean. L'intégration des principes de la culture européenne dans le déploiement des pratiques Lean pourrait contribuer à l'amélioration de la mise en œuvre des méthodes de résolution de problèmes par l'implication du personnel à tous les niveaux et ainsi, conduire à accroître la réussite de mise en œuvre du Lean.

### 1.1. Introduction

Dans une logique d'amélioration de la performance et plus particulièrement de réduction des dysfonctionnements, la démarche Lean préconise de détecter tout type d'anomalies dès leur apparition. En cas d'anomalie les causes profondes du problème doivent être identifiées afin de mener les actions préventives et correctives nécessaires. De nombreux outils, dont notamment la méthode QQQQCP, le diagramme cause-effet, la méthode 5 pourquoi et le diagramme de Pareto sont utilisés pour identifier les causes-racines des dysfonctionnements. La question de l'origine des problèmes doit se référer au standard : le problème étant soit un standard mal adapté, soit un écart au standard.

Bien que la résolution de problèmes soit jugée comme un impératif de la démarche Lean, une faible application de ses méthodes a été observée à la fois dans les entreprises membres du pôle de compétitivité et dans les entreprises non membres du pôle (Cf. Chapitre 2; Lyonnet et al., 2010a). Ce résultat pourrait s'expliquer par un manque de sollicitation des collaborateurs par la structure managériale, mais aussi par des difficultés de transfert de démarche de progrès au sein de nos entreprises européennes.

Pour garantir une mise en mouvement de l'ensemble de l'entreprise vers une démarche de progrès, l'implication de la structure managériale est indispensable. Cette dernière se doit d'être un réel moteur de la démarche.

Par ailleurs, l'utilisation efficace des bonnes pratiques employées dans une autre entreprise, nécessite généralement une appropriation, voire une adaptation, de ces pratiques à la culture de l'entreprise concernée (McAdam et Kelly, 2002; Maire et al., 2005). Tout transfert de savoir, d'organisation, de techniques de management est aussi un transfert de modèle culturel (Gauthey et Xardel, 1991). Ainsi, la barrière culturelle européenne pourrait limiter l'efficacité des bonnes pratiques de démarche d'amélioration (Dedoussis, 1995; Barkema et al., 1996 ; Schneider et Barsoux, 2003). Par ailleurs, comme précédemment souligné, le progrès n'est possible que lorsque la totalité des personnes est impliquée. La structure managériale doit contribuer à favoriser l'implication de tous.

Notre proposition est d'améliorer le niveau de mise en œuvre des méthodes de résolution de problèmes et de manière plus générale la démarche de progrès, en introduisant les valeurs fortes cultivées en Europe : l'humanisme, la subsidiarité, la suppléance et la proportionnalité. Ces principes inscrits dans le traité européen de Lisbonne ont guidé au travers des siècles l'organisation des sociétés démocratiques européennes. En intégrant ces principes qui font notre culture, les démarches de progrès pourraient être mieux appliquées par le personnel de nos entreprises européennes.

Nous présentons dans cette partie un cas d'application d'une démarche d'amélioration fondée sur les principes de la culture européenne. Cette étude a été réalisée au sein de l'entreprise Cartier, un des leaders de l'horlogerie de luxe (Pillet et al., 2008).

### 1.2. Les principes européens pouvant guider une démarche de progrès

Le développement d'une démarche de management efficace dans une entreprise européenne suppose l'intégration des valeurs fortes de la culture européenne. Le fonctionnement des sociétés européennes est régi par de nombreux fondements, pour notre étude les quatre principes suivants ont été retenus : principes

d’humanisme, de subsidiarité, de suppléance et de proportionnalité. La définition de chacun de ces principes est présentée dans le tableau 1.

Principes	Définition
Humanisme	Ce principe, à la base des démocraties européennes, consiste à valoriser l’homme, à le placer au centre de son univers. Dans cette optique, le principe de base de cette théorie est que l’homme est en possession de capacités intellectuelles potentiellement illimitées.
Subsidiarité	La responsabilité d'une action, lorsqu'elle est nécessaire, doit être allouée à la plus petite entité capable de résoudre le problème d'elle-même.
Suppléance	Quand les problèmes excèdent les capacités d'une petite entité, l'échelon supérieur a alors le devoir de la soutenir, dans les limites du principe de subsidiarité.
Proportionnalité	C'est un principe d'adéquation des moyens à un but recherché. Ce principe révèle le souci de veiller à ne pas faire à un niveau plus élevé ce qui peut être fait avec autant d'efficacité à une échelle plus faible, c'est-à-dire la recherche du niveau pertinent d'action au juste nécessaire.

**Tableau 1.** Définition des quatre principes de la culture européenne retenues dans notre étude (Pillet et al., 2008)

Ces principes sont-ils réellement mis en place dans les entreprises ? Intuitivement nous avons tendance à penser que ces principes de bons sens sont intégrés dans les entreprises. Or, la réalité est bien différente, plusieurs bonnes pratiques sont en partie en désaccord avec ces quatre valeurs. Par exemple, afin de proposer des solutions d’amélioration, la pratique de la « boîte à idées » est mise en place dans de nombreuses entreprises. Elle repose sur le dépôt d’idées par les employés dans une boîte qui est ouverte régulièrement par un supérieur hiérarchique. Ce supérieur décide ensuite, parfois en comité, de l’opportunité d’appliquer cette idée et de rétribuer son auteur. Cette pratique ne satisfait pas les principes européens suivants :

- la subsidiarité : si l’idée pouvait être mise en place directement par son auteur, quel est l’intérêt de monter vers le niveau hiérarchique supérieur ?
- l’humanisme : dans un premier temps, le fait que chacun puisse émettre une idée peut apparaître en accord avec ce principe, cependant le fait de rémunérer une idée induit de façon insidieuse que le fait d’avoir une idée mérite une récompense. Pourtant, utiliser son cerveau dans le cadre du travail ne fait-il pas partie intégrante du contrat de départ ?

- la proportionnalité n'est pas, non plus, respectée. Impliquer tout un comité pour discuter d'idées parfois très simples engage des ressources non nécessaires.

Cette pratique de la boîte à idées peut fonctionner dans d'autres sociétés dont la culture hiérarchique est plus importante, mais dans un environnement européen il nous semble que son fonctionnement n'est pas optimal. Pour être plus efficient, le mécanisme de génération et de sélection des idées doit pouvoir satisfaire les quatre principes européens retenus précédemment.

### 1.3. Made in cartier : exemple d'une démarche de progrès continu

L'étude réalisée dans l'entreprise Cartier, dont les activités principales sont la joaillerie et l'horlogerie de luxe, avait pour objectif d'intégrer les principes européens dans une démarche globale de progrès, « le Made in Cartier ». Dans cette partie, nous allons décrire cette démarche et mettre en évidence ses apports pour améliorer l'utilisation des méthodes de résolution de problèmes et la mise en mouvement de l'entreprise.

Cette démarche se devait tout d'abord de satisfaire le principe d'humanisme en s'orientant naturellement vers une approche participative de l'ensemble des collaborateurs. En accord avec le principe de définition de la valeur de la démarche Lean, il est important de fournir une description claire et partagée par tous les collaborateurs de ce que le client attend d'un produit Cartier. Pour ce faire, l'entreprise a décrit de façon simple les quatre « piliers » d'un produit de qualité : esthétique, chronométrie, ergonomie et intégrité. Chaque collaborateur connaît la contribution à la satisfaction du client final au travers du/des piliers impactés par la caractéristique du produit concerné.

Par ailleurs, la prise en compte du principe d'humanisme nécessitait de favoriser les sources de créativité dont deux types peuvent être discernés : les améliorations sollicitées et celles proposées. Les démarches fondées sur la suggestion d'idées (par exemple, le cas des boîtes à idées) ne sont sans doute pas suffisantes pour mettre en marche une vraie dynamique de progrès. Les mécanismes de génération d'idées

doivent être à la fois Bottom Up et Top down. Ainsi, dans le « Made in Cartier » les améliorations proposées sont structurellement liées au standard. Les questions que l'opérateur doit continuellement se poser sont les suivantes : Le standard est-il respecté ? Si non pourquoi ? Le standard actuel me permet-il d'atteindre les quatre piliers de la qualité « Made in Cartier » ? Est-il difficile de respecter le standard ? Si oui pourquoi ? Peut-on améliorer le standard ? Comment ? Pour ce faire, l'employé dispose de feuilles sur lesquelles il peut à tout moment émettre une idée de progrès. Ces feuilles sont discutées directement par le groupe lui-même en accord avec le principe de subsidiarité. Les améliorations sollicitées constituent une source très importante de progrès souvent négligée par les entreprises. Chacun, à son poste de travail, a un potentiel important de propositions d'amélioration et doit participer à l'atteinte des objectifs stratégiques de la société. Contrairement aux améliorations suggérées, ces améliorations nécessitent une organisation particulière pour hiérarchiser les sujets pour lesquels des idées sont sollicitées de la part des collaborateurs. Il est donc nécessaire de déployer les objectifs stratégiques sur l'ensemble des processus de l'entreprise, puis sur l'ensemble des unités afin que chaque unité dispose d'objectifs personnalisés convergeant vers l'objectif stratégique de la société.

Finalement, une organisation capable de mesurer le niveau de qualité pour chaque unité doit être mise en œuvre afin de choisir les éléments nécessitant de solliciter une amélioration. Le principe de subsidiarité a conduit l'entreprise Cartier à identifier des groupes décentralisés d'une dizaine de personnes dans toute l'entreprise, chaque collaborateur faisant partie d'un groupe.

### 1.4. Principes de la culture européenne : illustration au sein de l'entreprise Cartier

#### 1.4.1. Identification des niveaux de résolution de problèmes

Généralement, solliciter les employés sur les actions correctives et préventives en réponse à un problème fournit des réponses immédiates pertinentes. Si la mise en œuvre et la validation de la solution proposée est rapide et ne nécessite

pas d'investissement important, il n'est pas nécessaire d'entamer une démarche de résolution de problèmes. La problématique de la hiérarchisation des démarches de résolution de problèmes a été peu décrite dans la littérature. En effet, les entreprises ont tendance soit à gérer tous les problèmes par l'intuition, soit à systématiquement entamer une démarche de résolution de problèmes. Or, imposer systématiquement une démarche structurée peut aller à l'encontre de la dynamique nécessaire à une approche d'amélioration continue.

Afin d'optimiser l'utilisation des méthodes de résolution de problèmes, la démarche « Made in Cartier » propose d'identifier trois niveaux de résolution de problèmes permettant de favoriser la prise en compte des principes de la culture européenne :

- Niveau 1 : réponse immédiate
- Niveau 2 : démarche structurée locale
- Niveau 3 : démarche de rupture

Le Niveau 1 de réponse immédiate doit être utilisé lorsque la réponse à un problème est évidente et qu'elle peut être formulée en quelques minutes. Ce premier niveau remplit les critères du principe de subsidiarité en allouant à la plus petite entité capable la résolution de problèmes et la responsabilité de l'action. Il est ensuite simplement demandé à l'équipe concernée de conserver une trace du problème et de la réponse apportée telle que présentée dans le tableau 2.

Date	Problème rencontré	Action réalisée	Impact	En cours	Clos	Revisitée
13/02	Difficulté de polissage	Changement de pâte	Réduction du temps de polissage		X	25/03
28/03	Ergonomie du poste 3	Ajout d'un rangement	Poste au standard 5S	X		

**Tableau 2.** Suivi des actions immédiates

Le niveau 2 (action structurée locale) consiste à mettre en œuvre une démarche structurée permettant de se poser toutes les questions afin d'aboutir rapidement à une solution optimale.

Sur quels critères est décidée l'évolution d'une action immédiate vers une action structurée locale ? Les 5 questions de base qui justifient une action structurée sont les suivantes :

- Les symptômes d'un problème sont-ils définis ?
- Les clients et leurs conséquences sont-ils identifiés ?
- La cause racine est-elle identifiée de façon certaine ou le problème est-il récurrent ? Ce qui suppose que la cause racine n'a pas été détectée.
- La mise en œuvre d'une solution immédiate et la validation de son efficacité peuvent-elles être réalisées dans un délai court ?
- La résolution du problème implique-t-elle plusieurs personnes ?

L'action structurée locale doit être appliquée à tous les niveaux de l'entreprise. Les outils accompagnant cette démarche sont de simples outils d'aide à la réflexion et à la créativité, incluant notamment les 5M, les 5 pourquoi, la logique est/n'est pas et le diagramme de Pareto. Afin de garantir la compréhension de l'ensemble des outils par les employés, l'utilisation d'outils demandant de fortes compétences statistiques est à éviter.

Ce niveau 2 a été structuré autour de l'approche 8D qui définit en 8 étapes la démarche de résolution de problèmes :

1. Identifier l'équipe de travail
2. Décrire le problème
3. Implémenter et vérifier les actions de correction immédiate
4. Identifier et vérifier les causes racines
5. Identifier les actions correctives long terme
6. Implémenter les actions correctives permanentes
7. Prévenir la récurrence
8. Féliciter l'équipe

Le niveau 3 vise la réalisation d'une amélioration de rupture nécessitant du temps et des ressources.

Lorsque le problème devient important, impliquant plusieurs services et que sa résolution nécessite une analyse approfondie, une ressource compétente associée à

un groupe de travail doit être dédiée au problème. Les questions qui justifient le déclenchement d'une telle action sont les suivantes :

- Y a-t-il nécessité de prendre en compte la transversalité des causes potentielles ?
- Les implications budgétaires sont-elles suffisamment importantes pour justifier d'y consacrer une ressource ?
- Le problème nécessite-t-il une analyse approfondie, notamment une analyse de données ?

La démarche Six Sigma est une parfaite illustration de ce niveau 3 (Harry et Schroeder, 2000; Pillet, 2003) avec la présence d'un Black Belt, spécialiste de la résolution de problèmes, expert dans les techniques d'analyse statistique de données, animateur de groupe de travail, qui se consacre quasi exclusivement à la résolution des problèmes critiques de l'entreprise. La démarche DMAICS (Définir, Mesurer, Analyser, Innover, Contrôler, Standardiser) de Six Sigma, associée à l'ensemble de la boîte à outils méthodologique et statistique constitue une base solide pour la structuration de ce troisième niveau. Contrairement aux actions structurées locales conduites en autonomie, sans présence de spécialiste de résolution de problèmes, le niveau 3 sera pris en main par un pilote expérimenté qui se consacre exclusivement à la résolution du problème.

L'identification de ces trois niveaux de résolution de problèmes permet de répondre au principe de proportionnalité en garantissant l'adéquation des moyens au but recherché. Le principe d'humanisme au travers de la sollicitation d'idées du personnel est également pris en compte. En effet, dans le cas d'une non qualité observée, une amélioration « des acteurs des 15m<sup>2</sup> » où s'est produit le défaut est sollicitée. La comparaison entre les pratiques actuelles et le standard doit être le premier réflexe de ces acteurs. Le problème étant soit un standard mal adapté, soit un écart au standard.

### 1.4.2. Vers une meilleure utilisation du diagramme de Pareto

Une méthode de résolution de problèmes fréquemment utilisée par les entreprises est celle du diagramme de Pareto. Cet outil vise la recherche des

principales causes de non performance afin de cibler les actions d'amélioration sur ces causes. Or, pendant que de nombreuses ressources sont impliquées dans la résolution de problèmes, les autres petits problèmes subsistent. Il est envisageable que ces derniers deviennent les problèmes importants de demain. Par conséquent, les entreprises doivent également prêter attention aux petites perturbations quotidiennes. Dans cette logique, la démarche « Made In Cartier » a tenté de prendre en compte les principes européens en réconciliant les deux approches suivantes :

1. Décentraliser et délocaliser au plus près des sources de problèmes les actions sur les petites perturbations quotidiennes permet de respecter parfaitement les principes d'humanisme et de subsidiarité. Bien que les actions prises au niveau du groupe de travail puissent parfois sembler insignifiantes, ces actions contribuent fortement à diminuer le bruit de fond des perturbations du flux de la production.
2. En accord avec le principe de proportionnalité, la hiérarchisation des problèmes en trois niveaux devrait être capable d'optimiser la gestion des causes les plus importantes de non performance au travers d'une démarche impliquant les ressources nécessaires, l'approche DMAIC. Les moyens sont également donnés à l'ensemble des collaborateurs pour gérer avec une approche 8D les problèmes pouvant être gérés de façon autonome.

L'interaction entre ces deux approches est fortement positive. La diminution du bruit de fond des perturbations par de très nombreuses petites actions associées à des projets d'améliorations transversales a conduit l'entreprise dans une dynamique de progrès continue accélérée.

### 1.5. Conclusion

Pour favoriser la mise en œuvre des méthodes de résolution de problèmes dans les entreprises membres et non membres du pôle de compétitivité, une démarche managériale de sollicitation a été développée en prenant en compte les principes de la culture européenne.

En accord avec les principes européens, la démarche de progrès made in cartier s'appuie essentiellement sur les éléments suivants :

- la réactivité : la réaction à un problème doit se faire au plus tôt et au plus près de l'endroit où le défaut a été généré. L'expert mondial des 15 m<sup>2</sup> où a eu lieu le défaut est le collaborateur qui travaille dans ces 15 m<sup>2</sup>. L'application du principe d'humanisme nous incite à solliciter les sources de progrès par chaque collaborateur.

- les améliorations ne doivent pas être attendues, il faut aussi les solliciter. L'organisation du progrès continue doit en permanence challenger les hommes pour répondre aux non-qualités avérées et suggérées. Le principe de subsidiarité nous incite à trouver l'organisation qui permet de résoudre le problème au plus bas niveau nécessaire.

- le principe de Pareto inversé. Il ne suffit pas de s'attaquer aux têtes de Pareto, il faut éliminer toutes les petites sources de non-qualité par de petites actions pouvant apparaître insignifiantes, mais qui au final font la performance.

- le principe de proportionnalité doit s'appliquer aux démarches de résolution de problèmes. Est-il nécessaire de faire un projet Six Sigma pour un problème dont la solution est immédiate ? La démarche doit permettre de structurer les différents niveaux d'action en adaptant les démarches et les outils au public concerné.

Ainsi, la prise en compte de ces principes européens dans chaque action de progrès de l'entreprise Cartier a permis d'obtenir des résultats mesurables sur la non-qualité interne mais aussi sur les marchés avec une réduction de 50% des retours sous garantis au cours de ces deux dernières années (Pillet et al., 2008).

Comme souligné précédemment, les méthodes de résolution de problèmes étaient jusqu'à présent utilisées de manière occasionnelle par les entreprises membres et non membres du pôle. La prise en compte des trois niveaux de résolution de problèmes identifiés permettrait, notamment, de guider ces entreprises vers une utilisation plus efficace de ces méthodes en assurant une adéquation des moyens au problème rencontré. Le développement d'une structure managériale fondée sur les principes de la culture européenne permettrait de solliciter la mise en mouvement de l'entreprise.

Ce travail sur un cas d'application a permis de mettre en évidence l'intérêt de l'utilisation des principes de subsidiarité, suppléance, proportionnalité et humanisme

dans le cadre d'une application du Lean. Cependant, l'organisation de la suppléance pour définir le bon niveau d'action mériterait une étude plus approfondie qui fera l'objet d'une des perspectives de ce travail de thèse.

## **2. Analyse critique d'une méthodologie d'optimisation des flux par la Value Stream Mapping (VSM)**

A côté de la faible application des méthodes de résolution de problèmes un faible niveau de mise en œuvre de l'outil VSM a également été souligné. De la même façon, un manque de sollicitation de la structure managériale pourrait expliquer ce résultat. La complexité de l'outil VSM pourrait également expliquer cette faible application.

### **2.1 Introduction**

L'application d'une cartographie de chaîne de valeur permet la visualisation des étapes créatrices ou non de valeur d'un flux de fabrication (Womack et Jones, 2005). L'objectif final de cet outil est l'élimination des gaspillages en assurant un flux continu des produits. L'utilisation de la VSM et la mise en place d'actions d'amélioration associées ont permis aux entreprises d'obtenir des gains considérables (Cua et al., 2001; Arbos, 2002; Cagliano et al, 2004; Abdulmalek et Rajgopol, 2007; Hicks, 2007; Shah et Ward, 2007). Par exemple, suite à la mise en place d'une VSM dans une entreprise des améliorations telles qu'une augmentation de la productivité, une réduction des délais et une réduction des stocks ont été montrées (Abdulmalek et Rajgopol, 2007).

Cependant, malgré l'apport incontestable de l'utilisation de la VSM dans le déploiement d'une démarche Lean, plusieurs études ont montré la faible application de cet outil par les PME de différents secteurs d'activité (Herron et Braiden, 2006; Alarçon et al., 2008). De la même façon, cette faible application a également été soulignée dans les entreprises membres du pôle de compétitivité (Cf. Chapitre 2 ; Lyonnet et al., 2010a).

Comment expliquer ce résultat ? Quels sont les freins à l'utilisation de la VSM ? Ce sujet a été peu traité dans la littérature. Seules quelques pistes ont été proposées. Ainsi des difficultés de compréhension de l'outil (Alarçon et al., 2008) et

d'adaptation selon le secteur d'activité concerné (Abdulmalek et Rajgopol, 2007) ont été montrées. Notre hypothèse est que la faible application de la VSM serait plus le reflet d'un manque de formation et de compréhension de l'outil, mais aussi un manque de sollicitation de la structure de management que la conséquence de spécificités locales.

Nous présentons un cas d'application réalisé dans une PME de sous-traitance membre du pôle de compétitivité. Notre étude détaille les différentes phases de l'application d'une démarche d'élimination des gaspillages par l'utilisation d'une cartographie de chaîne de valeur. L'objectif de notre étude est d'identifier les difficultés rencontrées mais aussi les facteurs clefs de réussite d'une démarche globale d'amélioration des flux. Finalement, l'identification de ces facteurs clefs de réussite pourra permettre de faciliter l'application de l'outil VSM par les PME du pôle de compétitivité.

## 2.2. Méthode

### 2.2.1 Présentation de l'entreprise

L'entreprise étudiée est une entreprise de sous-traitance employant 50 personnes. Cette entreprise membre du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc propose à ses clients une compétence dans le domaine de la sous-traitance électronique dans les secteurs de l'industrialisation. La démarche d'amélioration réalisée concerne le flux de fabrication de cartes électroniques pour un des plus grands leaders internationaux de l'automatisme pour particuliers et professionnels. Huit employés de l'entreprise ont participé activement à la mise en place de cette démarche.

### 2.2.2. Identification des axes stratégiques d'amélioration

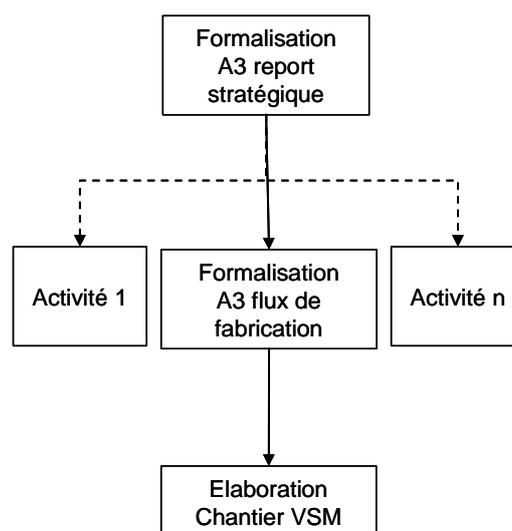
Tout d'abord une démarche générale de résolution de problèmes doit être réalisée pour identifier les axes stratégiques d'amélioration. Cette démarche s'appuie sur la création de plusieurs rapports sur une feuille A3 appelés rapport A3 ou diagnostic A3 (Cf. Figure 1). Le rapport A3 est un outil conçu par Toyota Motor Corporation permettant de guider l'utilisateur dans sa démarche de résolution de

problèmes. La réalisation d'un rapport A3 est un processus de collecte et d'analyse des informations précédant la réalisation d'un plan d'action d'amélioration (Liker, 2004) permettant :

1. de faire apparaître tous les éléments pouvant entraîner des difficultés et des retards dans le flux de fabrication
2. d'inclure toutes les personnes impliquées dans la fabrication du produit
3. d'identifier les premiers dysfonctionnements pour faciliter l'élaboration d'un plan d'actions d'amélioration.

La première étape de cette démarche consiste à formaliser le rapport A3 stratégique concernant l'activité globale de l'entreprise. A partir de ce rapport A3 stratégique, l'entreprise étudiée a choisi de se concentrer sur l'activité de production de cartes électroniques. En effet, la fabrication des cartes électroniques représente une part importante du chiffre d'affaires de l'entreprise. L'optimisation du flux de fabrication de ce produit constitue par conséquent un axe majeur d'amélioration.

La seconde étape de la démarche repose sur la réalisation d'un rapport A3 pour cette activité de fabrication de cartes électroniques. La rédaction de ce dernier a conduit l'entreprise à réaliser une cartographie de chaîne de valeur à l'état actuel et à l'état futur.



**Figure 1.** Synthèse de la démarche réalisée

### 2.2.3. Cartographie de chaîne de valeur de l'état actuel

Pour identifier les gaspillages et les améliorations potentielles pour la production de cartes électroniques, l'élaboration d'une cartographie de chaîne de valeur de l'état actuel a été nécessaire. Pour construire cette cartographie du flux de fabrication, il faut identifier et comprendre le flux actuel du produit étudié. Pour ce faire, nous avons identifié chaque étape nécessaire à la fabrication du produit en commençant par la dernière étape du flux : l'expédition finale. Pour chacune de ces étapes, les temps de cycle et les temps de changement de série ont été chronométrés en temps réel.

A partir de cette cartographie de chaîne de valeur de l'état actuel, les gaspillages sont identifiés.

### 2.2.4. Cartographie de chaîne de valeur de l'état futur

L'élaboration d'une VSM à l'état futur permet la visualisation du flux de fabrication après l'élimination des étapes non créatrices de valeur. Cette VSM permet de s'assurer de la continuité du nouveau flux de fabrication. Pour construire cette cartographie nous nous sommes appuyés sur la méthode développée par Rother et Shook (Rother et Shook, 2009). Cette démarche est guidée par les réponses obtenues aux 8 questions suivantes :

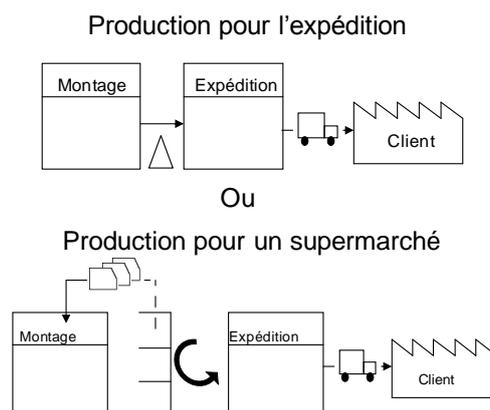
- **Question 1** : Quel est le takt time (ou temps takt) pour la famille de produits choisie?

Le takt time aussi appelé rythme du client permet de synchroniser le rythme de la production sur celui des ventes. Le calcul du temps takt est réalisé de la façon suivante :

$$\text{Rythme du client} = \frac{\text{Temps de travail effectif par jour}}{\text{Demande du client par jour}}$$

- **Question 2** : l'entreprise devrait-elle produire pour l'expédition ou stocker dans un supermarché ?

L'entreprise doit choisir entre deux systèmes de production (Cf. Figure 2).

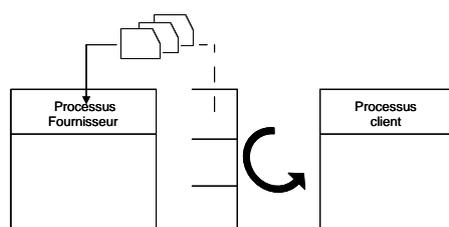


**Figure 2.** Choix des systèmes de production (Cf. Annexe 1, pour la signification des symboles)

Un supermarché correspond à une zone « tampon » ou de stockage situé à la fin du processus de production pour les produits qui sont prêts à être expédiés (Rother et Shook, 2009). Ce système de production présente l'avantage de réguler le niveau de stock alors que la production pour l'expédition peut conduire à un niveau de stock élevé.

- **Question 3 :** A quel niveau du flux l'entreprise pourrait-elle utiliser des systèmes tirés ?

Les systèmes tirés permettent de réguler les flux entre les différents secteurs de production. Un exemple de système tiré est présenté sur la figure 3.



**Figure 3.** Représentation d'un système tiré (Cf. Annexe 1, pour la signification des symboles)

Sur cette figure le processus client s'approvisionne directement au supermarché. Le processus fournisseur fabrique pour remplacer le produit venant d'être retiré.

- **Question 4 :** A quel niveau l'entreprise peut-elle introduire un flux continu ?

L'entreprise doit identifier les processus amont pouvant produire la quantité juste nécessaire pour le processus suivant. La mise en place de cellule en U permet de faciliter la mise en œuvre d'un flux continu.

- **Question 5** : A partir de quel point contrôler la production ?

Pour répondre à cette question, l'entreprise doit identifier le processus cadenceur du flux de fabrication du produit. Ce poste va rythmer la production pour l'ensemble des postes en amont. Le processus cadenceur est généralement le processus qui est le plus en aval dans le flux de production (Rother et Shook, 2009).

- **Question 6** : Comment l'entreprise peut-elle produire par petits lots et niveler sa production sur le processus cadenceur ?

L'entreprise, doit définir la taille de lot optimale pour produire et livrer la quantité commandée par le client dans les délais souhaités.

- **Question 7** : Comment rythmer les prélèvements sur le processus cadenceur ?

Pour rythmer ses prélèvements, l'entreprise doit utiliser le temps takt calculé précédemment. L'entreprise pourra ainsi calculer le nombre de kanban requis pour rythmer ses prélèvements ou la taille maximale des supermarchés pour chacun des postes.

- **Question 8** : Quelles améliorations sont nécessaires à l'atteinte des objectifs de la cartographie de l'état futur ?

A partir des gaspillages identifiés et des suggestions d'améliorations émises, le personnel pourra élaborer un plan d'actions d'amélioration.

### 2.2.5. Evaluation des gains obtenus, deux mois après la mise en place des améliorations

Nous avons choisi d'évaluer les gains obtenus par l'entreprise selon trois catégories : opérationnelle, stratégique et administrative (Kilpatrick, 2003). Une quatrième catégorie a également été étudiée : les bénéfices humains.

Les bénéfices opérationnels correspondent aux améliorations réalisées sur les temps de cycle, la productivité, la surface de production.

Les bénéfices stratégiques peuvent correspondre à une amélioration de la gestion de la production, une augmentation du marché.

Les bénéfices administratifs peuvent se traduire par une diminution des documents administratifs ou une amélioration du traitement des données.

Les bénéfices humains correspondent aux conditions et à l'organisation du travail. Pour les évaluer, nous avons interrogé une partie du personnel.

### 2.2.6. Identification des freins à la mise en place d'une démarche d'amélioration

Cette identification a été réalisée au cours de l'ensemble de la démarche d'amélioration et également par le biais d'entretiens auprès d'un échantillon du personnel impliqué dans l'action.

## 2.3. Résultats

### 2.3.1. Rédaction du diagnostic A3 ou Rapport A3

Les sept éléments suivants ont été définis par le personnel de l'entreprise sur une feuille de format A3 : contexte du problème (1), situation actuelle (2), cibles et objectifs à atteindre, (3) analyse des causes racines du problème (4), mesures proposées pour atteindre la cible et ses objectifs (5), plan d'actions d'amélioration (6) et suivi du déroulement des actions réalisées (7).

### 2.3.1.1 Contexte du problème

Le contexte dans lequel s'inscrit l'entreprise découle d'une volonté de réduction des coûts de fabrication et d'accroissement de sa réactivité par la réduction des gaspillages. L'entreprise souhaite également identifier les étapes non créatrices de valeur ajoutée par la réalisation d'une cartographie de chaîne de valeur. L'action associée à cet objectif pourra ainsi contribuer à l'augmentation des marges bénéficiaires des produits fabriqués.

### 2.3.1.2 Situation actuelle

La famille de produits étudiée comporte trois références distinctes. Cette famille de produits représente un chiffre d'affaires majeur pour l'entreprise. Sa fabrication est réalisée dans deux ateliers différents. Le délai d'approvisionnement des matières premières est de 1 semaine et le délai de fabrication actuel est de 5 semaines. Les problèmes rencontrés par l'entreprise concernant le flux de fabrication de ce produit sont résumés dans le tableau 3.

En quoi la situation pose problème ?
Retards de livraison : taux de service de 51%
Durées de fabrications longues
Manque de flexibilité dans le changement de référence
Déplacements inutiles importants (plusieurs ateliers)
Variation des volumes

**Tableau 3.** Synthèse de la situation actuelle

### 2.3.1.3. Cibles et objectifs à atteindre

L'entreprise souhaite réduire son délai de fabrication à 4 semaines, atteindre un taux de service de 95% et réduire les déplacements et manutentions inutiles de 50%. Finalement, l'objectif majeur de l'entreprise est l'augmentation du temps de création de valeur ajoutée.

### 2.3.1.4. Analyse des causes racines du problème

L'analyse des causes racines du problème lié au faible taux de service (< 95%) est réalisée à partir du diagramme d'Ishikawa (Cf. Figure 4).

Ce diagramme met en évidence de nombreuses causes racines telles qu'un manque de polyvalence du personnel, des attentes, des déplacements pouvant être réduits et des tailles de lot supérieures à la demande journalière du client.

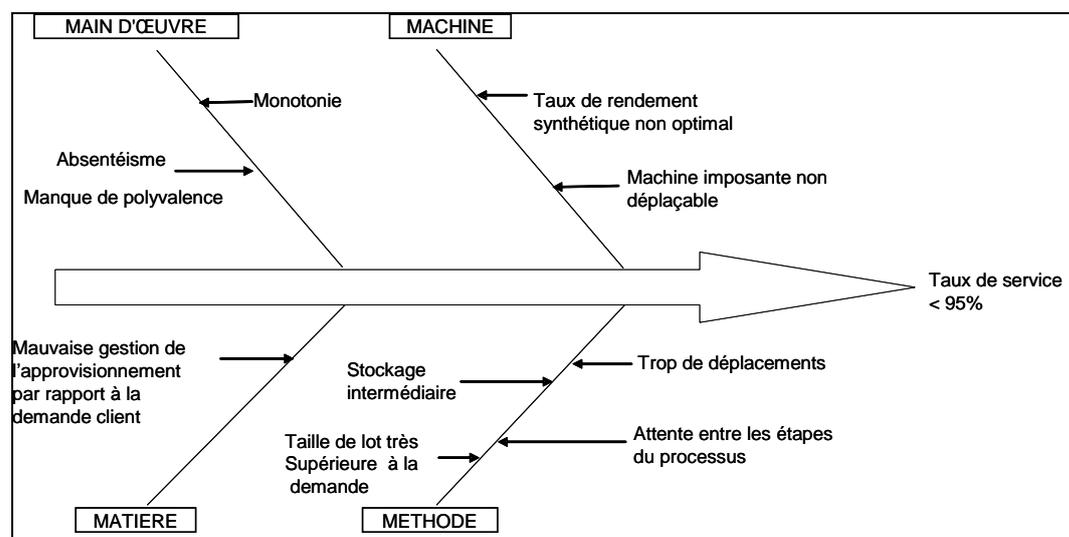


Figure 4. Diagramme d'Ishikawa

### 2.3.1.5. Mesures proposées pour atteindre les objectifs et plan d'action

Avec l'ensemble du personnel de l'entreprise, nous avons réalisé une cartographie de chaîne de valeur de l'état actuel et de l'état futur pour identifier et éliminer les gaspillages du flux de fabrication du produit (Cf. Figures 5 et 6). La cartographie de chaîne de valeur de l'état actuel comporte 13 étapes : préparation de la série, montage, épargne, câblage et soudure, réception au magasin, préparation pour intégration, contrôle fonctionnel, soudure, montage du châssis et du silicone, montage final, test fonctionnel final, emballage, contrôle qualité et expédition (Cf. Figure 5). Pour la fabrication de ces cartes électroniques, l'entreprise reçoit une commande ferme trois semaines avant la date de l'expédition finale. Le temps de création de valeur ajoutée correspond à 842 secondes et celui de non valeur ajoutée correspond à 565 856 secondes.

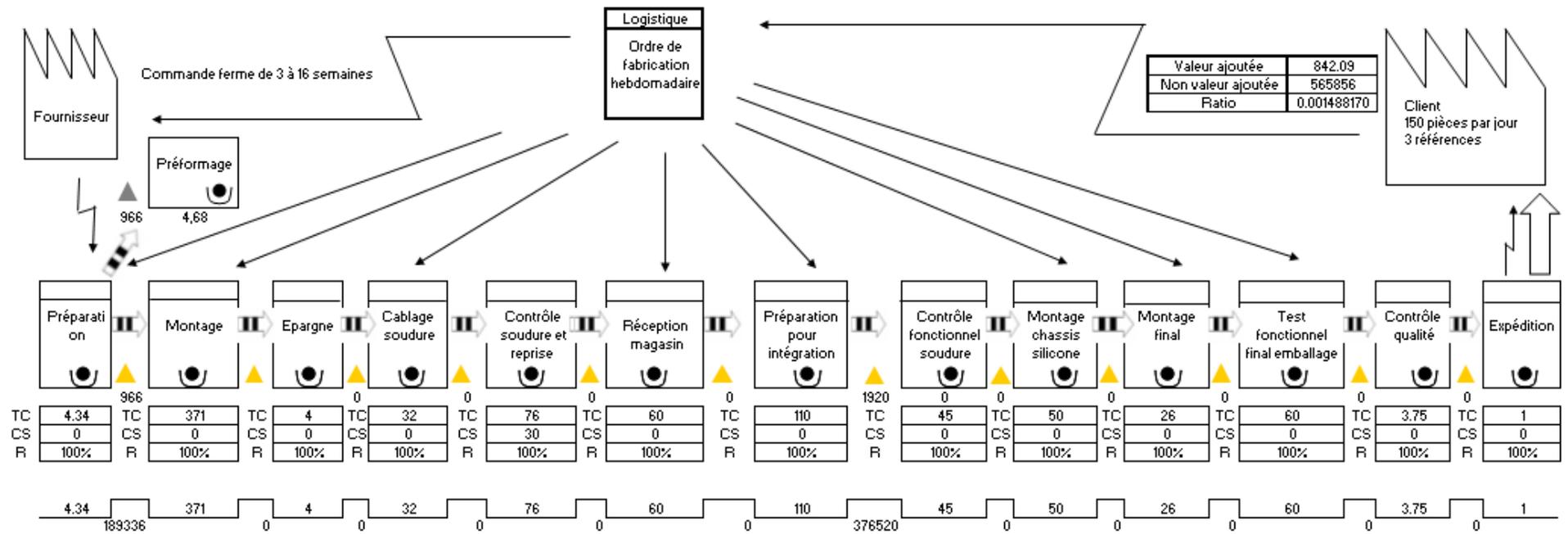
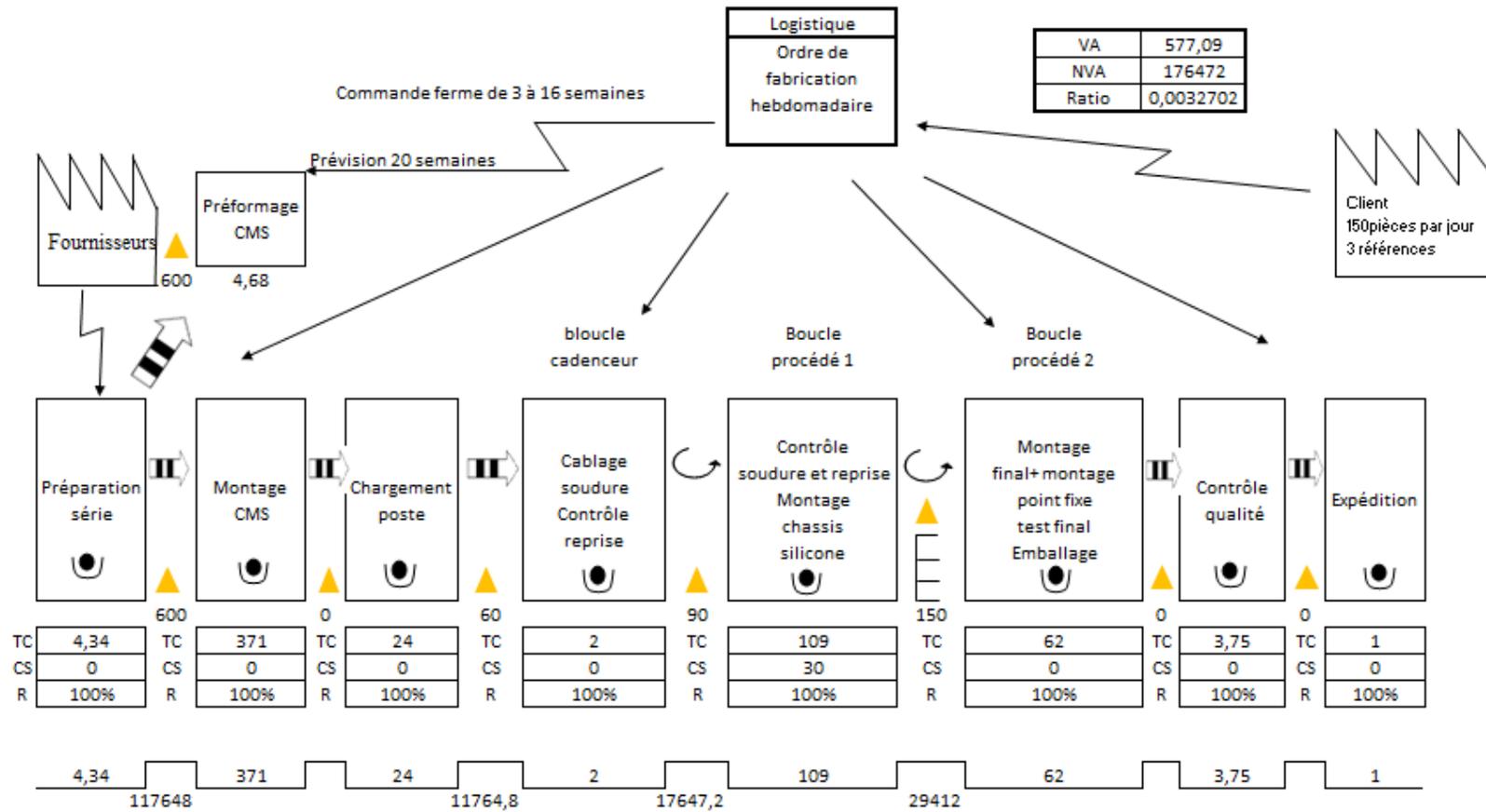


Figure 5. Cartographie de chaîne de valeur de l'état actuel  
(Cf. Annexe 1, pour la signification des symboles)

# Chapitre 4. Vers un système de production Lean adapté



**Figure 6.** Cartographie de chaîne de valeur de l'état futur  
(Cf. Annexe 1, pour la signification des symboles)

Par ailleurs, des stockages excessifs ont été observés en amont du poste de montage, et du poste regroupant les étapes de contrôle fonctionnel et de soudure engendrant ainsi des temps de non valeur ajoutée importants, respectivement, 189 336 secondes et 376520 secondes. Par ailleurs, l'observation du flux de fabrication a révélé de nombreux gestes et déplacements inutiles. Ce constat découle de l'éloignement géographique des différents postes répartis en deux ateliers. Pour élaborer la cartographie de chaîne de valeur de l'état futur, nous nous sommes basés sur les différents éléments découlant des huit questions présentées précédemment.

Tout d'abord le calcul du takt time aussi appelé rythme du client a donné le résultat suivant :

$$\text{Rythme du client} = \frac{\text{Temps de travail effectif par jour}}{\text{Demande du client par jour}}$$

$$\text{Rythme du client} = \frac{8,17 * 3600}{150}$$

$$\text{Rythme du client} = 19866s$$

A partir du temps takt, des temps de cycle des opérations et des tâches à effectuer, plusieurs étapes ont été regroupées. La cartographie de chaîne de valeur de l'état futur ne comporte plus que huit étapes (Cf. Figure 6). Les étapes de câblage, soudure, contrôle et reprise (processus cadenceur) ont été regroupées ainsi que celles liées au contrôle, soudure, reprise, montage du châssis et de la silicone (boucle procédé 1). Un troisième regroupement concerne les étapes de montage final, de test fonctionnel final et d'emballage (boucle procédé 2). Une étape de réception au magasin a été supprimée.

- Le processus cadenceur identifié par l'entreprise est un processus de fabrication situé en amont dans la chaîne de valeur. Seules trois opérations sont réalisées au préalable de cette dernière correspondant aux étapes de préparation et de réalisation de composants (préformage et montage).

- Pour réguler le niveau de stock, un supermarché a été mis en place en amont des boucles « procédés » 1 et 2.

- Un flux continu a pu être introduit à partir du processus cadenceur jusqu'à la boucle procédé 2. L'obtention d'un flux continu a été facilitée par la mise en place de cellules en U sur ces postes.

- Un système tiré a pu être utilisé au niveau des boucles cadenceur et des boucles procédés 1 et 2.

- L'entreprise a pu niveler la production, en fabricant tous les jours une partie des trois références du produit.

- Les tailles de lots ont été diminuées n'excédant pas 300 pièces par jour pour les encours de fabrication et 600 pièces pour les composants.

Pour atteindre les objectifs de réduction des délais de fabrication, d'amélioration du taux de service, de réduction des déplacements et manutentions inutiles et de diminution du temps de non création de valeur ajoutée, le personnel impliqué dans la démarche d'amélioration a :

- optimisé l'ergonomie des différents postes de travail
- optimisé l'organisation des tâches à effectuer
- regroupé différentes étapes de production en un poste
- regroupé géographiquement les postes de travail
- supprimé une étape du processus de production correspondant à « l'épargne »
- réduit les tailles de lot en adéquation avec la quantité souhaitée par le client
- réduit les documents administratifs pour certaines étapes du processus (ordres de fabrication).

Deux mois après la mise en œuvre des améliorations, une diminution des temps de non création de valeur ajoutée a été observée, atteignant 176 472 secondes. Le temps de création de valeur ajoutée a également été diminué atteignant 577 secondes. Cette diminution est liée à la suppression de plusieurs étapes de fabrication du produit. Il est important de remarquer que le ratio aussi appelé « valeur de fluidité » a été multiplié par un facteur de 2,2.

### 2.3.1.6. Suivi du déroulement des actions réalisées

Le suivi du déroulement des actions d'amélioration est essentiellement réalisé par la surveillance des éléments suivants :

- suivi de la production en temps réel
- ergonomie du poste de travail
- cadence de production
- taille de lot
- respect de la quantité journalière souhaitée.

### 2.3.2 Optimisation du flux de fabrication : gains obtenus

Nous présentons les bénéfices opérationnels, stratégiques, administratifs et humains.

#### 2.3.2.1. Bénéfices opérationnels

Les bénéfices opérationnels obtenus concernent, tout d'abord, une réduction du délai de fabrication de 5 semaines à 4 semaines. De plus, la surface nécessaire à la fabrication de la famille de produits étudiée a été divisée par deux. Une diminution de plus de 10% des temps de cycles des étapes de câblage, d'épargne, de soudure et d'assemblage a été obtenue. Une diminution de 67% des stocks inutiles a été observée. La productivité par personne et par heure a doublée (passage de 9 produits par heure et par personne à 20 produits).

#### 2.3.2.2. Bénéfices administratifs et stratégiques

L'entreprise a bénéficié d'amélioration de la gestion administrative. En effet, une partie du personnel n'utilise plus d'ordres de fabrication pour la fabrication des produits. La quantité à produire est guidée par l'utilisation de supermarchés et de systèmes tirés.

### 2.3.2.3. Bénéfices humains

Le personnel a rapporté une amélioration de l'ergonomie des postes de travail et de la flexibilité de l'organisation du travail. Les modifications réalisées ont permis d'obtenir une amélioration de la cohésion d'équipe. La diminution des déplacements inutiles a été jugée par le personnel comme une amélioration de leurs conditions de travail. Le personnel a rapporté une amélioration générale de l'organisation du travail. L'ensemble des gains obtenus est résumé dans le tableau 4.

	<b>Avant</b>	<b>Après</b>	<b>Gain</b>
<b>Surface</b>	26,5m <sup>2</sup>	12,34m <sup>2</sup>	53,43%
<b>Délai de production</b>	5 semaines	4 semaines	20,00%
<b>Taux de service</b>	51%	100%	49%
<b>Flexibilité</b>	-	++	-
<b>Temps de cycle câblage/ épargne/ soudure</b>	102 s	90 s	11,76%
<b>Temps de cycle contrôle fonctionnel/ sous-assemblage</b>	126 s	126 s	-
<b>Temps de cycle assemblage</b>	86 s	71 s	17,44%
<b>Personnel</b>	3,5 personnes	1,5 personne	57,14%
<b>Productivité</b>	33 pièces/ heures	30 pièces/ heure	-
<b>Productivité par personne et par heure</b>	9 pièces	20 pièces	122,22%

**Tableau 4.** Gains réalisés

### 2.3.3. Identification des freins

Nous avons identifié au cours de la réalisation de cette démarche, différents types de freins. Des freins techniques ont été notés, tels qu'une machine non déplaçable à cause de son volume imposant. Par ailleurs, des freins stratégiques ont été également observés. En effet la mise en œuvre de la démarche d'amélioration a nécessité l'engagement du personnel impliqué dans la fabrication du produit. Ceci a

conduit l'entreprise à arrêter la production pendant la mise en œuvre des améliorations (5 jours).

Deux mois après la mise en œuvre des améliorations, quelques difficultés humaines liées à l'organisation du travail ont pu être observées. En effet, la modification de l'organisation du travail nécessite la mise en œuvre de formations. Une partie du personnel a donc été formée pour chaque poste de travail. Ceci a conduit à améliorer la polyvalence du personnel, cependant un temps d'adaptation par le personnel est nécessaire.

### 2.4. Discussion

Nous avons présenté une application réussie d'une démarche d'amélioration d'un flux de fabrication dans une PME membre du pôle de compétitivité. Cette démarche a été réalisée pour une famille de produits dans une entreprise de sous-traitance électronique. Nous nous sommes appuyés sur l'utilisation d'une cartographie de chaîne de valeur.

#### 2.4.1. Améliorations observées

Des améliorations opérationnelles, administratives, stratégiques et humaines ont été mises en évidence après la mise en place de cette démarche. L'ensemble des objectifs souhaités par l'entreprise a été atteint tels qu'une réduction des délais de fabrication (passage de 5 à 4 semaines), une amélioration du taux de service client (passage de 51% à 100%) et une diminution des déplacements inutiles liés à la réduction de la surface destinée à la production (réduction de plus de 50%). Ces améliorations sont comparables à celles rapportées par les précédentes études sur l'utilisation de l'outil VSM. En effet, de manière semblable à notre étude, des réductions de la surface dédiée à la production du produit étudié sont de l'ordre de 50% à 90% (Kilpatrick, 2003; Shah et Ward, 2007).

Par ailleurs, le bénéfice le plus cité par la mise en place des pratiques Lean est celui relatif à l'amélioration de la productivité (Schonberger, 1982; White et al., 1999; Shah et Ward, 2007). Dans notre étude, celle-ci est de l'ordre de 200%. En effet, malgré une réduction de 50% du personnel, l'entreprise réalise une production

par heure quasiment identique. Il convient de remarquer que l'ambiance de travail n'a pas été affectée par cette réduction de personnel touchant uniquement les travailleurs intérimaires de l'entreprise. Ces derniers ont été reclassés à d'autres postes. Une amélioration majeure obtenue concerne le taux de service client atteignant 100% (observé sur une durée de deux mois). Ce résultat est en accord à la fois, avec l'objectif défini par l'entreprise et avec l'utilisation de la cartographie de chaîne de valeur. En effet, le point de départ de la mise en œuvre de cette dernière est de répondre de façon optimale à la demande du client.

Notre cas d'étude a favorisé la réduction des déplacements inutiles. En effet, la famille de produits étudiée était réalisée dans deux ateliers bien distincts. Ceci engendrait par conséquent de nombreux déplacements inutiles. L'ensemble des opérations du flux de fabrication a été rassemblé dans un seul atelier.

En plus de ces améliorations, des bénéfices humains ont été observés tels qu'une augmentation de la polyvalence et une diminution de la monotonie. La nouvelle implantation des machines nécessite que les opératrices soient polyvalentes pour chacun des postes de travail. La mise en place de la démarche d'amélioration a permis une amélioration des conditions de travail telles qu'une amélioration de l'ergonomie des postes et une amélioration de la flexibilité. Il est important lors de la réalisation du plan d'amélioration de prêter une importance particulière aux aspects liés aux conditions et à l'organisation du travail, afin d'assurer la réussite de la démarche. En effet, l'objectif d'optimisation du flux de production pourrait conduire à diviser certaines opérations en plusieurs pour réduire les gaspillages liés aux surstockages intermédiaires. Ces divisions pourraient engendrer une augmentation des mouvements répétitifs. Dans notre cas, nous avons choisi à l'inverse de regrouper différentes opérations sur un poste. Cette stratégie semble plus adéquate à l'amélioration de l'organisation du travail et permet par la même occasion de réduire les déplacements inutiles. Par ailleurs, au cours de l'amélioration dédiée à l'ergonomie des postes de travail il est important de laisser une cadence de production suffisamment grande pour que les opératrices puissent aménager leurs temps de travail.

### 2.4.2. Facteurs clefs de réussite

Notre étude nous a également permis d'identifier des facteurs clés de réussite d'une démarche d'amélioration. La clef de la réussite se situe dans l'implication forte et visible de la direction et du personnel. Il est indispensable d'impliquer l'ensemble du personnel affecté à la fabrication du produit étudié dans la réalisation du rapport A3 du flux et des cartographies de chaîne de valeur à l'état actuel et futur. Pour faciliter cette implication du personnel, il est nécessaire que l'entreprise alloue un temps suffisamment important pour pouvoir réaliser ces actions. Comme dans notre cas d'étude, ceci peut nécessiter un arrêt total de la production. En effet, un manque de ressources dédiées à la mise en place des actions d'amélioration nuit à sa réussite (Real et al., 2010). L'implication du personnel a également été facilitée par la réalisation d'un rapport A3. En effet, ce dernier est un processus de collecte et d'analyse des informations permettant notamment d'inclure toutes les personnes impliquées dans la fabrication du produit (Liker, 2004). Son utilisation permet ainsi de réduire le risque de résistance au changement par la prise en considération de l'avis du personnel sur chacune des actions d'amélioration proposées et sur l'amélioration de leurs conditions de travail. De plus, il est à noter que le personnel de l'entreprise étudié avait participé auparavant à la réalisation d'une application 5S réussie et en avait apprécié les bénéfices.

Par ailleurs, l'utilisation d'un vocabulaire simple a contribué à la compréhension de la démarche d'amélioration. En effet, il a été précédemment rapporté que la difficulté de compréhension de la VSM pouvait nuire à la réussite de la démarche d'amélioration (Herron et Braiden, 2006).

### 2.4.3. Freins à la mise en place de la démarche

Nous avons également observé plusieurs freins à la réussite d'une démarche d'optimisation du flux de fabrication.

Un frein majeur à cette optimisation est l'existence de machines encombrantes et non-déplaçables qui nécessite d'organiser l'ensemble des postes de travail autour de celles-ci. Dans notre étude, nous disposions d'une seule machine encombrante autour de laquelle nous avons organisé le flux de fabrication. Or, dans certains cas, il est possible que plusieurs machines d'un même flux de fabrication soient non-déplaçables. Il est alors plus compliqué d'optimiser l'organisation du flux de fabrication du fait de ces obligations d'agencement. La seule solution pour diminuer ce frein serait de privilégier l'achat de moyens de fabrication mobiles et moins encombrants et donc d'adapter la stratégie de l'entreprise.

Par ailleurs, le flux de fabrication concerné par la démarche d'amélioration peut impliquer certains postes engagés dans d'autres flux de fabrication. Par exemple, dans notre cas, les postes de contrôle et d'expédition finale sont communs à d'autres flux. C'est pourquoi lors de l'optimisation du flux de fabrication du produit, il faut absolument avoir une vision générale de l'imbrication des différents flux de fabrication pour ne pas augmenter les gaspillages relatifs aux autres flux de fabrication tel que notamment ceux issus des déplacements inutiles.

Un frein supplémentaire concerne la diminution des stocks intermédiaires excédentaires considérés dans la démarche Lean comme du gaspillage. Pour optimiser son flux de production l'entreprise a réduit ses stocks intermédiaires inutiles. Cette nouvelle organisation conduit l'ensemble du personnel à être plus réactif face aux dysfonctionnements. En effet, l'apparition d'un dysfonctionnement peut générer l'arrêt de toute la chaîne de production très rapidement, puisque la réduction des stocks intermédiaires ne permet plus de masquer les dysfonctionnements persistants. Cette nouvelle stratégie amène de profonds changements de mentalités et de culture de l'entreprise.

### 2.5. Conclusion

En accord avec notre hypothèse selon laquelle la faible application de la VSM serait plus le reflet d'un manque de formation de l'outil et de sollicitation de la structure de management que la conséquence de spécificités locales, notre étude a montré que la mise en œuvre d'une VSM est adaptée à l'amélioration de la performance d'une PME membre du pôle de compétitivité Arve Industries. En effet, la réalisation d'une démarche d'amélioration par l'utilisation d'un rapport A3 et de la mise en œuvre d'un chantier VSM a permis de réelles améliorations du flux de fabrication tant sur un plan opérationnel, stratégique, administratif et humain. Les outils tels que le rapport A3 et la VSM sont des outils méthodologiques d'efficience intellectuels permettant de faire progresser le travail en équipe. L'utilisation conjointe de ces deux outils a contribué à faire impliquer l'ensemble du personnel.

Cependant, pour garantir une application réussie, il est indispensable que l'implication du personnel et de la direction soient fortes. Le travail en équipe favorise la réussite d'une démarche d'amélioration. Il nous semble important de former au préalable l'ensemble du personnel à la démarche et d'élaborer une concertation avec le personnel avant et pendant toute l'action afin de la faire progressivement partager à ses collaborateurs.

Finalement, il est important de remarquer que le cas d'application présenté précédemment concernait une entreprise de sous-traitance électronique. Or, dans les entreprises de décolletage, majoritaires dans le pôle de compétitivité, l'organisation des flux de production rend plus complexe le choix du flux de production à optimiser. En effet, dans ce type d'entreprises, les flux de fabrication sont simples et comportent une à deux étapes de transformation du produit (décolletage et lavage). Par conséquent, il est opportun de mettre au point une méthode permettant de hiérarchiser les ressources d'une entreprise, facilitant ainsi le choix des flux nécessitant la mise en œuvre des actions d'amélioration prioritaires.

### **3. Démarche d'identification des ressources critiques**

#### **3.1. Introduction**

La maîtrise des ressources du système de production contribue également fortement à la réussite d'une démarche générale d'amélioration continue au sein d'une entreprise. En effet, un des piliers de sa performance repose sur les ressources de son système de production. Ainsi, pour assurer la disponibilité nécessaire à la production et répondre aux besoins des clients, l'identification des ressources prioritaires est essentielle. L'entreprise pourrait focaliser ses actions préventives sur ses ressources pour réduire le nombre et la durée des dysfonctionnements.

Dans certains cas, identifier la ressource prioritaire paraît simple. Par exemple, dans une compagnie aérienne, la ressource prioritaire est l'avion. En revanche, dans le cas des PME du pôle de compétitivité Arve Industries, dont la majorité appartient au secteur du décolletage et possède plusieurs moyens de production, différents produits et clients, la hiérarchisation des ressources est moins évidente. En effet, au sein d'une entreprise de décolletage, généralement le produit subit deux opérations de transformations successives : le décolletage et le lavage. Quelle ressource génère la plus grande perte financière en cas de dysfonctionnement ? Lorsque cette question est posée au personnel d'une PME du secteur de décolletage, les réponses sont multiples : ressource correspondant au dernier investissement de l'entreprise, ressource contribuant à toutes les gammes de fabrication de l'entreprise, ressource disposant d'une capacité de fabrication supérieure aux autres ou ressource goulot.

Un principe de la démarche Lean préconise la bonne utilisation des ressources goulots (Baglin et Capraro, 1999). La ressource goulot désigne une ressource limitée, inférieure ou égale aux besoins de production (Marris, 2005; Goldratt et Cox, 2006). Le goulot est identifié selon les critères suivants : la capacité de production et la demande de la ressource étudiée. Deux grandes approches de management sont à la base de cette notion : la théorie des contraintes (Goldratt et Cox, 2006) et le management par les contraintes (Marris, 2005). La théorie des contraintes considère

que pour améliorer la performance globale d'un système il faut augmenter la performance des ressources contraintes. La contrainte correspond à « tout ce qui empêche un système d'atteindre dans le cadre de son objectif un niveau supérieur de performance » (Goldratt et Cox, 2006). Les ressources goulots sont les contraintes limitant tout le système. Le management par les contraintes se distingue quant-à-lui par son mode de gestion de production fondé sur le déséquilibre des capacités, « les contraintes sont éliminées les unes après les autres jusqu'à l'obtention du goulot considéré comme le moins mauvais » (Marris, 2005). A l'opposé, la théorie des contraintes juge toute contrainte comme une mauvaise règle. Ces approches sont parfaitement adaptées dans le cas d'une entreprise ayant des flux de production complexes et étroitement liés. En revanche, dans une PME du décolletage où les flux de fabrication sont simples, en parallèles et avec peu d'interconnexions, cette méthode ne nous semble pas suffisante.

Pour identifier les ressources prioritaires, une autre possibilité serait de considérer les ressources impactant les performances clés de l'entreprise (Porter, 1980; Hax et Majluf, 1984; De Vasconcellos et Hambrick, 1989; Grant, 1991; Prahalad et Hamel, 1994). En accord avec cette vision nous avons choisi de définir la ressource prioritaire nommée « ressource critique » comme celle qui influence le plus la performance d'une entreprise. Cette définition se différencie donc de ressource goulot et intègre un large éventail de critères ayant un impact sur la performance, tels que la qualité, la disponibilité, l'importance de la clientèle et les coûts.

Plusieurs auteurs se sont intéressés à la hiérarchisation des ressources matérielles de l'entreprise et ont ainsi développé différentes méthodes (Lavina, 1992; Jamali et al., 2000; Chelbi et Ait-Kadi, 2002; Herrou et Elghorba, 2007). Par exemple, un auteur propose de hiérarchiser les ressources matérielles d'une entreprise agroalimentaire selon la méthode PIEU (Lavina, 1992). Cette méthode permet de classer l'ensemble des équipements en leur attribuant quatre indices de criticité : l'incidence des pannes (P), l'importance de l'équipement (I), l'état de l'équipement (E) et le taux d'utilisation (U). Chelbi et Ait-Kadi suggèrent, quant-à-eux, d'identifier les critères de hiérarchisation des ressources en utilisant une

méthode de rangement proposée par Roy (Bouyssou, 2001; Chelbi et Ait-Kadi, 2002). Cette méthode s'articule autour de 4 étapes: (1) identifier l'ensemble des équipements à classer, (2) établir une liste cohérente de critères de priorité, (3) évaluer les performances de chaque équipement selon leur performance globale et (4) appliquer une procédure d'agrégation pour classer ces équipements selon leur performance globale. A partir de cette démarche, 9 critères de hiérarchisation sont identifiés tels la contribution de la ressource à la gamme de fabrication, la moyenne des temps de réparation de la ressource et l'importance de la ligne dont fait partie l'équipement (Chelbi et Ait-Kadi, 2002). Un travail plus récent réalisé dans une unité de fabrication de produits plastiques classe les équipements selon une matrice multicritère avec des coefficients de pondération pour chaque équipement (Herrou et Elghorba, 2007). Les critères retenus sont notamment l'importance de la machine, la sécurité et la consommation.

Finalement, il n'y a pas de consensus autour de la méthode de hiérarchisation des ressources, chacune s'appuie sur différents critères. Ces études conduisent à différentes hiérarchisations des ressources dans un contexte de suivi de la maintenance. Pour ces raisons, ces approches ne prennent pas directement en compte l'aspect économique. Or, il nous semble primordial de considérer cet aspect pour identifier les ressources nécessitant la mise en œuvre d'actions d'amélioration prioritaires.

Dans notre étude, nous nous proposons de développer une nouvelle méthode de hiérarchisation des ressources à partir d'une approche multicritère fondée sur une matrice de criticité adaptée aux entreprises concernées. Pour ce faire, nous avons tout d'abord, identifié les principaux critères de hiérarchisation des ressources influençant directement la performance. Pour illustrer notre approche, nous avons ensuite réalisé un cas d'application au sein d'une PME du décolletage membre du pôle de compétitivité Arve Industries.

### 3.2. Méthode proposée

#### 3.2.1. Proposition d'une démarche de hiérarchisation des ressources à partir d'une matrice de criticité

Pour développer notre démarche de hiérarchisation, nous nous sommes appuyés sur une matrice de criticité. Notre choix a été guidé par la simplicité et la rapidité d'une telle démarche. En effet, les changements constants vécus par l'entreprise d'aujourd'hui nécessite une connaissance perpétuelle des ressources impactant le plus sa performance économique. De plus, l'utilisation d'une matrice de criticité est parfaitement adaptée à une approche multicritères permettant de prendre en compte l'ensemble des facteurs influant sur la perte financière de l'entreprise.

##### 3.2.1.1. Identification des critères de hiérarchisation

Nous avons tout d'abord cherché les principaux critères devant être pris en compte dans la matrice de criticité développée.

Nous proposons d'évaluer le risque de perte financière par l'identification des critères influençant la performance de l'entreprise. Les facteurs clefs de performance peuvent être répartis en trois catégories (Rangone, 1999) :

- production (exemples : qualité, coûts, délais) : la gestion de la production est considéré comme une priorité compétitive des entreprises
- technologie et management (exemple : coût de développement)
- marché : (exemple : satisfaction des clients).

La répartition des critères en fonction des facteur-clefs de performance est présentée dans le tableau 5.

Production	Technologie et management	Marché
Coûts de maintenance	Disponibilité de la ressource	Conséquence sur les clients
Coûts liés à la qualité des produits	Taux d'engagement de la machine	
Marge des produits	Proportion de pièces fabriquées	
	Unicité du moyen de production	
	Sécurité des employés	

**Tableau 5.** Répartition des critères par catégorie de facteur-clef de performance

### 3.2.1.2. Evaluation de la performance des ressources en fonction des critères de hiérarchisation

La performance globale pour chaque ressource est évaluée à partir des données recueillies pour chacun des critères suivants :

#### a) Les coûts liés à la maintenance

Les coûts liés à la maintenance des ressources peuvent représenter jusqu'à 40% du budget opérationnel (Daft, 1992; Eti et al., 2006). Par conséquent, l'amélioration de la maintenance est une source majeure de gains financiers. L'objectif de ce critère est d'identifier la part des dépenses consacrée à la maintenance des équipements. Les coûts de maintenance incluent les coûts de main d'œuvre pour la réparation et la fiabilité de l'information (Seo et Ahn, 2006).

#### b) Les coûts liés à la qualité

Le coût d'obtention d'une meilleure qualité dépend de la ressource utilisée : les perturbations liées à la production auront un impact financier plus important pour les ressources où les coûts d'obtention de la qualité sont supérieurs. Les coûts de la qualité comprennent tous les coûts qui n'auraient pas été dépensés si la qualité avait été parfaite. Ces coûts reflètent notamment la difficulté de régler la machine, la complexité de la pièce et l'expérience de l'employé.

### c) La marge bénéficiaire

Une entreprise peut différencier ses ressources en fonction de la marge des pièces fabriquées sur chacun des équipements qu'elle possède. La perte de marge d'une entreprise dépendant d'un mix complexe entre la perte de pièces et la combinaison de multiples facteurs, nous avons cherché l'ensemble des critères influençant la marge. La marge (M) peut être calculée de la manière suivante :

$$M = \sum_{i=1}^n Q_{pi} \cdot PV_i \cdot pm_i \quad (\text{Eq. 1})$$

Avec,

$$Q_{pi} = Q_{thi} - P_{pi} \quad (\text{Eq. 2})$$

Où,

$Q_{pi}$  : quantité de produit i fabriqué

$Q_{thi}$  : quantité de produit i théoriquement réalisée

$P_{pi}$  : perte de production due aux défaillances des moyens de production (matériel et humain)

$PV_i$  : prix de vente du produit i

$pm_i$  : pourcentage de marge du produit i

### d) Disponibilité machine

Pour l'évaluation du calcul de la disponibilité (D) l'équation est donnée par :

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (\text{Eq. 3})$$

Avec,

MTBF = Mean Time Between Failure (moyenne des temps entre défaillance)

MTTR = Mean Time To Repair (moyenne des temps de réparation)

L'espérance mathématique E(t) qui représente la MTBF est :

$$MTBF = E(t) = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{Eq. 4})$$

Avec,

$\lambda$  = taux de défaillance

De même pour la maintenabilité, l'espérance mathématique des temps d'arrêt  $E(tar)$  représentant la moyenne des temps de réparation (MTTR) est :

$$MTTR = E(tar) = \frac{1}{\mu} \quad (\text{Eq. 5})$$

Avec,

$\mu$  = taux de réparation

e) Le taux d'engagement de la machine

Le taux d'engagement (TE) prévisionnel se calcule de la manière suivante :

$$TE = \frac{Q_{th,i} \times TC}{TO} \quad (\text{Eq. 6})$$

Avec,

$Q_{th,i}$  : quantité de produit  $i$  théoriquement réalisée

TC : temps de cycle du produit

TO : temps d'ouverture

f) Proportion de pièces pouvant être fabriquées

La proportion (Pr) des produits pouvant être fabriquée se calcule de la manière suivante :

$$Pr = \frac{Q_{th,i}}{\sum_{i=1}^n Q_{th,i}} \quad (\text{Eq. 7})$$

$n$  : types de produits fabriqués

g) Unicité du moyen de production

Ce critère a pour objectif d'identifier les ressources disposant d'un moyen de fabrication rare ou unique à l'entreprise.

### h) Sécurité du personnel

Ce critère vise l'identification du risque par rapport à la sécurité des personnes. Selon la typologie des ressources possédées par l'entreprise la défaillance de certaines ressources peut être plus dangereuse que d'autres.

### i) Conséquence sur les clients

Ce critère qualitatif a pour objectif d'identifier les ressources pouvant pénaliser la satisfaction des clients majeurs pour l'entreprise. Ce critère est fonction de la stratégie adoptée par l'entreprise.

#### 3.2.1.3. Echelle de mesure

L'entreprise doit identifier les valeurs pour chacun des critères. Pour des critères qualitatifs où si l'entreprise ne dispose pas des valeurs actuelles pour chacun des critères, il est possible d'utiliser une échelle de Likert. Le choix de l'échelle de 1 à 5 ou de 1 à 10 va dépendre de la capacité de l'entreprise à développer une échelle sémantique. L'entreprise peut évaluer le risque de perte de performance à partir de l'échelle d'évaluation proposée (Cf. Tableau 6).

Cotation	Risque
1	Très faible
2	Faible
3	Moyen
4	Elevé
5	Très élevé

**Tableau 6.** Echelle de mesure

Pour pouvoir comparer les données entre elles, la deuxième étape consiste à transformer les valeurs attribuées pour chacun des critères dans une même échelle. Afin de faciliter l'utilisation de notre méthode par le plus grand nombre des entreprises du pôle, nous avons choisi l'approche de la désirabilité qui nécessite peu d'informations et dont l'utilisation est simple. De plus, la désirabilité présente l'avantage de pouvoir combiner des critères qualitatifs avec des critères quantitatifs.

C'est une méthode d'agrégation permettant de transformer une réponse estimée  $y_i$  dans une échelle libre de valeur, appelé désirabilité ( $d_i$ ) (Xu et Yang, 2001). La valeur de la désirabilité ( $d_i$ ) est comprise entre 0 et 1. A partir de ces valeurs, notre matrice de criticité pourra être élaborée (Cf. Tableau 8). Chaque colonne est remplie à l'aide de critères de désirabilité ( $d_i$ ). La désirabilité est calculée de la manière suivante: la machine disposant de la valeur la plus haute obtient le critère de cotation le plus élevé, les autres critères de cotation sont calculés proportionnellement.

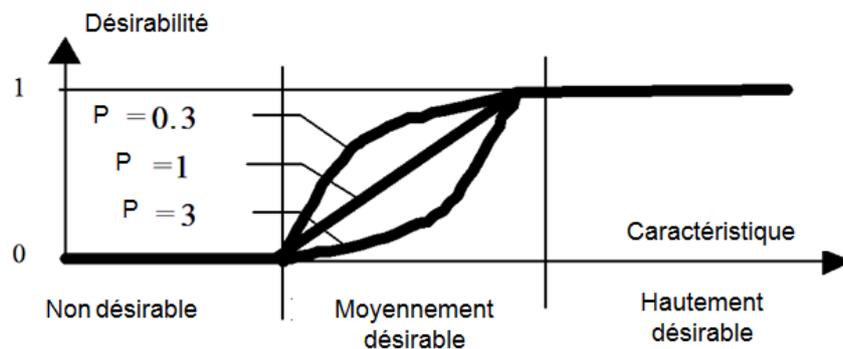
Les fonctions de désirabilité des réponses considérées sont ensuite combinées pour obtenir une désirabilité générale (DG), définie comme la moyenne géométrique des désirabilités individuelles :

$$DG = (d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \dots d_k)^{1/k} = \left( \prod_{i=1}^k d_i \right)^{1/k} \quad (\text{Eq. 8})$$

Pour pouvoir affecter une pondération entre les critères nous avons introduit un poids ( $p$ ) dans ce calcul :

$$DG' = \left( \prod_{i=1}^k d_i^{p_i} \right)^{1/\sum_{i=1}^k p_i} \quad (\text{Eq. 9})$$

La figure 7 illustre l'impact du poids sur la désirabilité quand la valeur maximale représente la valeur plus désirable.



**Figure 7.** Illustration de la désirabilité quand la valeur maximale représente la valeur plus désirable

Dans ce cas, le calcul de la désirabilité  $d_i$  est le suivant (Derringer et Suich, 1980) :

$$di = \frac{V_i - \text{Min } V}{\text{Max } V - \text{Min } V} \quad (\text{Eq. 10})$$

Où,

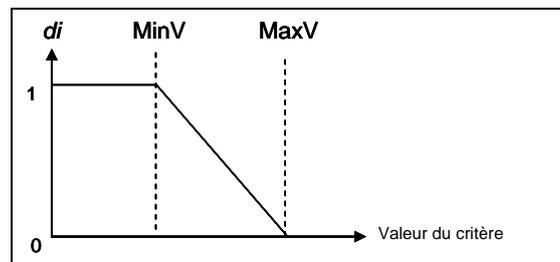
$V_i$ : valeur du critère  $i$

$\text{Max } V$ : valeur désirable pour  $V$

$\text{Min } V$ : valeur non désirable pour  $V$

Ce calcul est adapté quand la valeur maximale est la plus désirable. Lorsque ce n'est pas le cas, deux autres cas doivent être considérés :

- le cas où la valeur minimale est la plus désirable (Cf. Figure 8) :

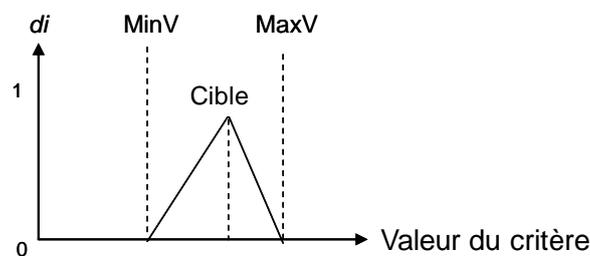


**Figure 8.** Cas où la valeur minimale est la plus désirable

Dans ce cas, le calcul de la désirabilité est le suivant :

$$di = \frac{V_i - \text{Max } V}{\text{Min } V - \text{Max } V} \quad (\text{Eq. 11})$$

- le cas où la valeur la plus désirable est comprise entre la valeur minimale et maximale (Cf. Figure 9)



**Figure 9.** Cas d'une valeur cible

Selon la définition de la moyenne géométrique, si une désirabilité  $di$  calculée sur un critère est égale à zéro, la désirabilité générale serait égale à zéro. Dans ce cas, les autres critères ne seraient pas pris en considération. Pour éviter la possibilité d'une désirabilité  $di$  égale à zéro, nous avons adapté la formule de la désirabilité. Dans cette nouvelle formulation la désirabilité ( $di$ ) est nécessairement comprise entre 0,1 et 1 (Cf. Eq. 45).

- le calcul de la désirabilité quand la valeur maximale est la plus désirable est le suivant :

$$di = 0.1 + 0.9 \times \frac{V_i - \text{Min } V}{\text{Max } V - \text{Min } V} \quad (\text{Eq. 12})$$

Nous définissons la ressource critique comme la ressource générant la plus grande perte financière en cas d'anomalie, c'est-à-dire la ressource qui a la valeur la moins désirable. Le calcul de l'indice de criticité (C) correspond donc au complément de la désirabilité générale (DG') pondérée.

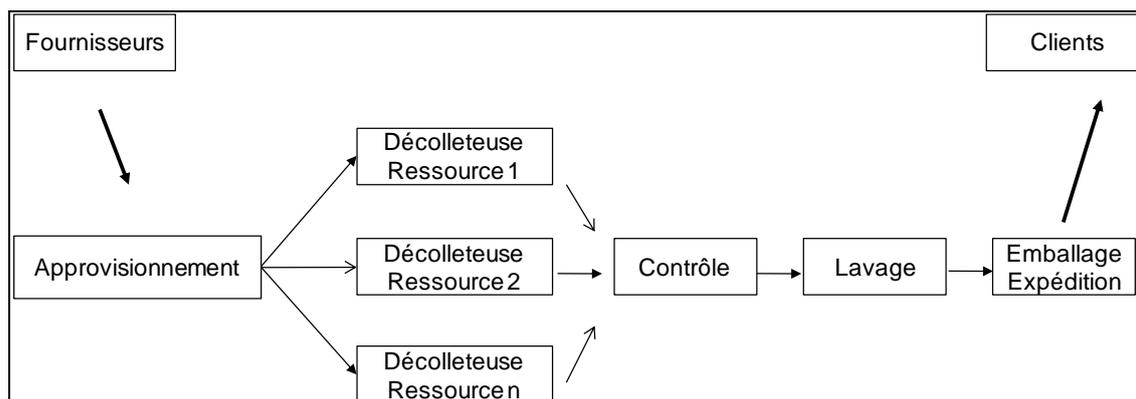
$$C = 1 - DG' \quad (\text{Eq. 13})$$

L'interprétation de notre matrice de criticité est réalisée à partir du calcul de ces indices de criticités. La ressource dont l'indice de criticité est le plus élevé est considérée comme critique.

### 3.3. Application de la méthode de criticité proposée aux données d'une entreprise de décolletage

#### 3.3.1. Identification de l'ensemble des équipements à hiérarchiser

La représentation du flux de production pour la majorité des produits réalisés par l'entreprise est présentée sur la figure 10.



**Figure 10.** Flux de production des produits fabriqués

Chaque produit est fabriqué par une seule machine (une décolleteuse) puis subit une étape de contrôle de lavage et d'expédition. Les décolleteuses sont indépendantes les unes des autres, contrairement aux schémas classiques rencontrés dans les entreprises de mécanique reposant sur un système de production plus complexe présentant de nombreuses interconnexions. Une particularité de ce système est l'importance d'une seule de ses ressources contribuant à l'ensemble des gammes de fabrication de l'entreprise : la machine à laver. Au sein de l'entreprise étudiée, 17 ressources sont identifiées au total notées R1 à R17.

### 3.3.2. Evaluation de la performance des équipements

Les données recueillies ont été obtenues lors des observations effectuées dans l'entreprise étudiée et par le biais d'un logiciel de la société nommé « Gesprodec ». Ce logiciel est utilisé pour la gestion de toutes les activités de production (commandes, achats, planification, fabrication, livraison et facturation).

Tout d'abord, l'entreprise a identifié les valeurs obtenues pour les critères correspondant à la contribution aux gammes de fabrication et au taux d'engagement (Cf. Tableau 7). Presque tous les produits nécessitent une opération de lavage, d'approvisionnement, de contrôle et d'emballage. Ces opérations sont effectuées par les ressources R6, R15, R16 et R17. Le taux d'engagement pour l'ensemble des ressources est compris entre 0,7 et 1. Pour tous les autres critères, une échelle de mesure pondérée est utilisée, la valeur la plus élevée est de 5 correspondant à un risque très élevé. Deux profils de ressources sont observés : les ressources traditionnelles et les ressources numériques. Les coûts de maintenance des ressources

## Chapitre 4. Vers un système de production Lean adapté

numériques (R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14) sont supérieurs aux ressources traditionnelles. Dans cette même logique, la disponibilité des ressources traditionnelles est plus élevée que celle obtenue pour les ressources numériques. Cependant, les coûts d'obtention de la qualité pour les machines traditionnelles sont plus importants en raison des réglages supplémentaires dont elles ont besoin. Le risque lié à la perte de client est plus élevé pour une seule ressource (R6). Cette ressource est utilisée pour la fabrication de produits jugés stratégiques pour l'entreprise. Les ressources traditionnelles, étant des ressources plus anciennes, disposent d'un risque sur la sécurité du personnel plus important que les ressources numériques.

	Disponibilité	Contribution aux gammes de fabrication	Taux d'engagement	Marge	Unicité du moyen de fabrication	Conséquence sur les clients	Coûts de maintenance	Coûts d'obtention de la qualité	Sécurité du personnel
Poids	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Valeur maximale	3	100	1	5	5	5	5	4	2
Valeur minimale	1	32	0,7	1,19	1	1	1	1	1
R1	1	32	0,7	1,48	3	1	1	3	2
R2	1	32	0,7	1,79	1	1	1	3	2
R3	1	32	0,7	1,95	3	1	1	3	2
R4	1	32	0,8	1,29	3	1	1	3	2
R5	1	32	0,8	1,19	3	1	1	3	2
R6	1	99	0,7	1,43	5	5	1	1	2
R7	3	68	1	5,00	1	1	5	1	1
R8	3	68	0,7	4,05	1	1	5	1	1
R9	3	68	0,7	3,52	1	1	5	1	1
R10	3	68	0,7	4,24	1	1	5	1	1
R11	3	68	0,8	4,05	2	1	5	1	1
R12	3	68	0,7	3,90	1	1	5	1	1
R13	3	68	0,7	3,57	1	1	5	4	1
R14	3	68	0,7	1,71	1	1	5	1	1
R15	1	100			5				
R16	1	100			5	5		4	
R17	1	100			5	2		3	

**Tableau 7.** Données recueillies dans l'entreprise étudiée

### 3.3.3. Procédure d'agrégation pour hiérarchiser les équipements : matrice de criticité

La matrice de criticité est présentée dans le tableau 8. La désirabilité (di) est comprise entre 0,1 et 1 pour l'ensemble des critères. Les six ressources identifiées avec un indice critique plus élevé sont la ressource R16 (84,2%), R7 (70,4%), R17 (68,5%), R15 (68,1%). Les ressources R15, R16 et R17 sont des ressources uniques et sont indispensables pour la fabrication de la majorité des produits. La criticité élevée de la ressource R7 pourrait être relative à sa forte contribution à la marge bénéficiaire de l'entreprise.

## Chapitre 4. Vers un système de production Lean adapté

	Disponibilité	Contribution aux gammes de fabrication	Taux d'engagement	Marge	Unicité du moyen de fabrication	Conséquence sur les clients	Coûts de maintenance	Coûts d'obtention de la qualité	Sécurité du personnel	Criticité
Poids	1	1	1	2	1	1	1	1	1	
Valeur la plus désirable	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
R1	1,00	1,00	1,00	0,93	0,55	1,00	1,00	0,40	0,10	32,7%
R2	1,00	1,00	1,00	0,86	1,00	1,00	1,00	0,40	0,10	29,7%
R3	1,00	1,00	1,00	0,82	0,55	1,00	1,00	0,40	0,10	34,4%
R4	1,00	1,00	0,70	0,98	0,55	1,00	1,00	0,40	0,10	34,4%
R5	1,00	1,00	0,70	1,00	0,55	1,00	1,00	0,40	0,10	34,1%
R6	1,00	0,11	1,00	0,94	0,10	0,10	1,00	1,00	0,10	60,2%
R7	0,10	0,52	0,10	0,10	1,00	1,00	0,10	1,00	1,00	70,4%
R8	0,10	0,52	1,00	0,33	1,00	1,00	0,10	1,00	1,00	52,8%
R9	0,10	0,52	1,00	0,45	1,00	1,00	0,10	1,00	1,00	49,6%
R10	0,10	0,52	1,00	0,28	1,00	1,00	0,10	1,00	1,00	54,2%
R11	0,10	0,52	0,70	0,33	0,78	1,00	0,10	1,00	1,00	55,6%
R12	0,10	0,52	1,00	0,36	1,00	1,00	0,10	1,00	1,00	51,8%
R13	0,10	0,52	1,00	0,44	1,00	1,00	0,10	0,10	1,00	60,2%
R14	0,10	0,52	1,00	0,88	1,00	1,00	0,10	1,00	1,00	42,4%
R15	1,00	0,10			0,33					68,1%
R16	1,00	0,10			0,10	0,10		0,10		84,2%
R17	1,00	0,10			0,10	0,78		0,40		68,5%

**Tableau 8.** Matrice de criticité selon l'approche de la désirabilité

### 3.4. Discussion

#### 3.4.1. Matrice de criticité

Pour identifier les ressources critiques, nous nous sommes appuyés sur l'élaboration d'une matrice de criticité. Cette matrice a été développée à partir de trois critères qualitatifs et six critères quantitatifs influençant la performance économique, paramètre essentiel pour les entreprises. Notre méthode permet de combiner ces différents critères quantitatifs et qualitatifs à l'aide de l'approche de la désirabilité. L'application de cette matrice de criticité au sein d'une PME de sous-traitance mécanique du pôle de compétitivité nous a permis de montrer la faisabilité de son utilisation qui se révéla simple et rapide.

Nous avons retenu comme critères qualitatifs impactant la performance économique, le risque relatif à l'insatisfaction des clients, les risques liés à la sécurité des employés et l'unicité des moyens de production. En effet, l'insatisfaction d'un client peut engendrer une perte financière suite à la rupture du contrat par le client. Pour cette raison il est primordial de ne pas négliger ce critère. De la même manière, le critère correspondant au risque relatif à la sécurité est également important. Dans un cas extrême, ce dernier pourrait influencer sur la survie du personnel et engendrer une perte financière importante. De plus, la prise en considération de ce critère contribue directement à l'amélioration des conditions de travail, constituant ainsi un avantage

concurrentiel. Enfin, le critère lié à l'unicité du moyen de production est indispensable à l'identification des ressources critiques d'une entreprise (Herrou et Elghorba, 2007). En effet, un dysfonctionnement de la ressource R16, ressource de fabrication unique dans l'entreprise étudiée, conduirait à l'insatisfaction de tous les clients.

Les critères quantitatifs influençant la performance sont les suivants : le coût de maintenance, les coûts liés à la qualité des produits, la marge des produits, la proportion des pièces fabriquées par ressource, la capacité des ressources et la disponibilité de ces ressources. Toutes les données relatives à ces critères sont facilement accessibles à l'entreprise.

### 3.4.2. Actions de prévention

Au travers de la connaissance de ses ressources critiques, l'entreprise sera en capacité de mieux gérer son système productif.

Afin d'améliorer la disponibilité de ces ressources et de réduire les dysfonctionnements survenant sur ces ressources, l'entreprise peut mettre en œuvre des actions de maintenance préventive telles que la mise à disposition rapide de pièces de rechange. De plus, dans le cas où plusieurs ressources critiques et non critiques sont en panne, nous préconisons de privilégier une planification de la maintenance corrective ou préventive sur les ressources critiques générant un risque de perte financière plus important en cas d'anomalie.

Par ailleurs, les indices de criticité des ressources peuvent être équilibrés par la mise en œuvre d'actions stratégiques en fonction des différents critères pris en considération. Par exemple, lorsque le risque relatif à la sécurité des employés est élevé, il peut être diminué par la mise en œuvre d'un plan de sécurité (Cai, 1996). De la même façon, le risque relatif à l'unicité de la ressource peut être supprimé par l'achat d'une ressource similaire. Finalement, les pertes dues aux problèmes d'obtention de la qualité peuvent être réduits par l'utilisation des techniques de maîtrise statistique de processus.

### 3.4.3. Prise en compte des risques liés aux ressources humaines

La méthode développée dans le cas d'application précédente n'a pas pris en considération l'impact des ressources humaines, or la maîtrise de ces ressources est au cœur de l'avantage concurrentiel (Dosi et al., 1992; Nanda, 1993). En effet, si la ressource humaine possédant les compétences spécifiques d'une machine est absente, la machine à laquelle elle est habituellement affectée est arrêtée. Cependant, dans notre cas d'application, l'ensemble du personnel était polyvalent ; le risque lié à l'arrêt de la production suite à l'absence d'une personne était inexistant.

L'utilisation future de notre méthode pourrait intégrer un critère de disponibilité des ressources humaines lorsque ce dernier est jugé pertinent. Pour prendre en considération ce risque le calcul d'une MTBF homme-machine à partir du nombre d'absences du personnel de l'entreprise pourrait être réalisé. Le risque d'arrêt des machines disposant d'une compétence humaine unique serait représenté par la MTTR et la MTBF homme-machine ( $MTBF_{HM}$ ,  $MTTR_{HM}$ ). Les deux éléments Machine et Homme  $M_{HM}$  correspondraient à des systèmes en série d'un point de vue de la fiabilité, soit par conséquent à partir de l'équation 4 la  $MTBF_{HM}$  serait donnée par :

$$MTBF_{HM} = \frac{1}{\lambda_M + \lambda_H} \quad (\text{Eq. 14})$$

Pour l'évaluation du  $MTTR_{HM}$  nous aurions une moyenne des temps d'arrêt pondérée donnée par :

$$MTTR_{HM} = \frac{\lambda_H \times MTTR_H}{\lambda_H + \lambda_M} + \frac{\lambda_M \times MTTR_M}{\lambda_H + \lambda_M} \quad (\text{Eq. 15})$$

Avec,

$\lambda_M$  = taux de défaillance de la machine

$\lambda_H$  = taux de défaillance de l'homme

$$\lambda = \frac{\text{Nombre d'arrêts}}{\text{Temps cumulé observé}} \quad (\text{Eq. 16})$$

Avec,

Nombre d'arrêts de l'homme = nombre d'absences

Nombre d'arrêts machine = nombre de pannes

Pour l'évaluation du calcul de la disponibilité homme-machine (D) l'équation serait donnée par :

$$D = \frac{MTBF_{HM}}{MTBF_{HM} + MTTR_{HM}} \quad (\text{Eq. 17})$$

La prise en compte du risque humain de « défaillance » pourrait augmenter le nombre d'arrêts possibles. Jusqu'à présent, cette notion de « défaillance » humaine n'était pas prise en compte dans les différentes études de classification des ressources négligeant alors un risque pour l'entreprise. Ce risque est tout naturellement lié aux problèmes d'absentéismes que connaissent les entreprises, absentéisme correspondant aux congés maladie du personnel mais également aux problèmes de perte de motivation. Dans certaines entreprises, le risque de ressource humaine unique est même grandement accru, car l'absentéisme n'est pas le seul facteur, en effet, un fort taux de rotation du personnel avec notamment à l'heure actuelle de nombreux départs à la retraite, augmente ce risque de compétence humaine unique.

### 3.5. Conclusion

Dans cette étude, nous avons développé une nouvelle méthode de hiérarchisation des ressources adaptée aux PME du pôle de compétitivité dont les flux de production sont simples, organisés de manière parallèle avec peu d'interconnexions. En effet, le principe Lean suggérant de bien utiliser les ressources goulots nécessite un ajustement aux spécificités du système de production des PME du pôle de compétitivité Arve Industries. Au sein de ces PME, en raison de l'organisation de leurs flux de production, les ressources goulots sont trop nombreuses. Il convient donc d'identifier les ressources dites « critiques », c'est-à-dire celles impactant le plus la performance économique.

Notre méthode de hiérarchisation des ressources repose sur une approche multicritère basée sur l'utilisation d'une matrice de criticité. Les critères retenus pour

réaliser cette hiérarchisation sont ceux impactant la performance. Neuf critères ont été identifiés dans notre cas d'application, mais un nombre plus ou moins importants de critères peut être choisi en fonction de la stratégie et des spécificités de l'entreprise concernée, tels que la disponibilité des ressources humaines via le calcul d'une disponibilité homme-machine.

De plus, cette approche présente l'avantage de combiner des critères qualitatifs et quantitatifs à l'aide du calcul de la désirabilité. Sa simple utilisation permet aux entreprises de connaître à tout instant leurs ressources critiques, pour adapter leur gestion de tous les jours et développer leur stratégie.

Cette approche est complémentaire à la mise œuvre de la VSM. Ainsi, la hiérarchisation des ressources d'une entreprise permettrait d'aider au choix du flux nécessitant une optimisation. La VSM devrait être mise en place, en priorité sur les flux intégrant les ressources identifiées comme critiques. Notre méthode d'identification des ressources critiques permet d'intégrer des éléments qui ne sont pas forcément pris en compte dans la VSM. Hiérarchiser les ressources permettra aux PME d'assurer une meilleure planification de leurs actions préventives ciblées sur les ressources qui pénalisent le plus leur performance.

## **4. Vers un modèle de calcul de la quantité optimale à produire**

Un troisième constat découlant de l'étude du niveau de maturité Lean des entreprises du pôle de compétitivité est le faible niveau d'application du principe lié au flux tiré.

### **4.1. Flux tiré-flux poussé : aide à la décision**

Généralement, la fabrication des produits est réalisée selon deux grandes approches : la production à flux tirés ou la production à flux poussés.

La production à flux tirés préconisée par la démarche Lean, est basée sur la demande réelle des clients, réduisant de ce fait les coûts induits par les stocks excédentaires de produits finis (Ohno, 1988; Womack et Jones, 2005; Shah et Ward, 2007).

Contrairement à cette approche la production à flux poussés repose sur le déclenchement de la production avant la demande du client. La plupart des entreprises du pôle utilisent cette méthode de production. Cette stratégie les conduit à réaliser un pari sur le gain potentiel généré par leur production supplémentaire et sur leurs futures ventes et opportunités commerciales. Cette méthode de production peut être justifiée par l'existence de temps de changement de série particulièrement élevés et difficilement compressibles dans le secteur du décolletage. Ainsi, produire à flux poussés pourrait permettre de réduire le coût de revient des produits fabriqués en amortissant les coûts de changement de série. De plus, les pièces produites pourront être vendues plus tard sur opportunités commerciales. Cependant, cette stratégie de fabrication présente l'inconvénient d'augmenter les coûts d'immobilisation du stock (Babai, 2008). Dans le cas où le coût de stockage devient plus important que le coût de changement de série, cette politique pourrait conduire à l'effet inverse de celui souhaité et augmenter les coûts de revient des produits. L'entreprise pourrait alors s'exposer à des pertes financières.

Les entreprises du pôle sont confrontées au choix suivant : faut-il produire au plus juste en fonction de la demande réelle ou produire plus et stocker ?

L'orientation vers une de ces deux approches de production reste délicate. Ces approches sont rarement utilisées d'une manière exclusive (Zhao et al., 2005). Plusieurs études ont montré qu'il fallait intégrer ces deux méthodes de gestion (Ball et al., 2004; Siala et al., 2006).

Le compromis à réaliser entre ces approches de production doit prendre en considération les coûts de changement de série et les coûts de stockage. Pour trouver le meilleur équilibre entre ces deux éléments, une méthode connue sous le nom de la quantité économique à commander ou formule de Wilson a été développée (Erlenkotter, 1989; Diallo, 2006). Ce modèle conduit à un calcul de taille de lot (Giard et Mendy, 2006). Initialement prévu pour calculer une quantité à commander, il peut être appliqué pour identifier une quantité à produire (Javel, 2003). Cependant, cette méthode est inadéquate lorsque la demande est variable au cours du temps (Wagner et Whitin, 1958; Silver et Meal, 1973). De la même manière, les coûts et gains liés aux opportunités de ventes sont ignorés (Babai, 2008). Pour ces raisons il apparaît nécessaire de développer une nouvelle approche permettant d'évaluer la quantité optimale à fabriquer au moment d'une commande client.

Notre étude consiste à répondre aux questions suivantes : Y a-t-il encore une place pour la règle de gestion d'anticipation de commandes potentielles futures ? L'approche Lean qui suggère de ne produire que la quantité nécessaire doit-elle être appliquée quels que soient le produit, sa régularité, son histoire ? Si place il y a pour la règle de gestion intuitivement suivie par les entreprises du pôle pouvons-nous formaliser la démarche pour fournir une aide à la décision ? Pour répondre à ces questions, il faut prendre en considération les coûts de stockage, les coûts de changement de série, les demandes et opportunités de vente et les risques associés à la surproduction. Aussi, les contraintes de moyens matériels ne doivent pas être ignorées. En effet, aucune fabrication n'est possible sans ces dernières.

Pour ce faire, nous nous proposons de développer un modèle d'aide à la décision assimilant le mix entre opportunités et contraintes. Les éléments de réponse à ces questions conduisent à l'élaboration d'un outil d'aide à la décision, permettant de choisir la stratégie de production la plus adaptée.

### 4.1.1. Méthode

La démarche de recherche engagée dans cette étude est fondée sur l'observation de situations réelles dans le secteur du décolletage. Pour généraliser ces observations, nous avons mis au point un modèle de calcul de la quantité optimale à produire à partir des contraintes économiques, des opportunités de vente, et des contraintes de moyens.

#### 4.1.1.1. Hypothèses du modèle

Un préalable à cette étude a été de décrire le cadre de fonctionnement courant d'une entreprise de décolletage. Les hypothèses suivantes sont prises en compte (hypothèses validées sur le terrain) :

- les temps de changement de série sont longs (supérieurs 4h) et difficilement compressibles
- les produits supplémentaires à la quantité commandée sont stockés avant d'être vendus
- les quantités commandées sont considérées livrées immédiatement après fabrication et ne subissent pas de coût de stockage.

#### 4.1.1.2. Contraintes économiques

Les contraintes économiques prises en compte par notre modèle sont représentées par le calcul du coût de revient des produits fabriqués.

Le coût de revient est obtenu par l'addition des trois coûts suivants :

$$\begin{aligned}\text{Coût de revient total} = & \text{Coût d'achat des matières premières} \\ & + \text{Coût de production} \\ & + \text{Coût hors production}\end{aligned}$$

Où :

- les coûts d'achat des matières premières correspondent au prix facturé par le fournisseur augmenté des frais spécifiques liés à l'achat hors frais de structure (frais de transports, assurance, frais de douane...)

- les coûts de production correspondent à la valeur ajoutée (main d'œuvre, coûts machine dont coûts de changement de série, plus les frais généraux spécifiques à la production)

- les coûts hors production du produit correspondent aux frais généraux hors production tels que les frais de distribution ou d'administration (Javel, 2003).

Dans le secteur du décolletage, les temps de changement de série étant longs et difficilement compressibles, nous nous sommes concentrés sur l'impact du coût de changement de série sur le coût de revient. Ce coût est indépendant de la quantité de pièces produites, il dépend principalement du temps nécessaire au changement de série.

Dans le cas d'une production à flux tirés, on établit que le coût de revient (CR) par pièce est fonction de la quantité commandée (QC) et du coût de changement de série (CS) :

$$CR = \frac{CS + CU * QC}{QC} \quad (\text{Eq. 18})$$

Avec :

$CU$  = Coût de revient unitaire hors coût de changement de série.

On en déduit la relation :

$$CU = CR - \frac{CS}{QC} \quad (\text{Eq. 19})$$

Dans le cas d'une production à flux poussés, les pièces supplémentaires sont stockées avant d'être vendues, un coût de possession des stocks doit alors être calculé. Le coût total de possession (CP) des pièces supplémentaires (X) pour la période s'établit en fonction du taux de possession (i) et du coût de revient hors coût de changement de série (CU) :

$$CP = (CU * X) * i \quad (\text{Eq. 20})$$

Dans cette relation le coût de changement de série n'est pas pris en considération. En effet, dans le fonctionnement réel de l'entreprise étudiée le coût de changement de série est vendu avec les pièces commandées. Le taux de possession annuel i (exprimé en pourcentage) est l'équivalent du coût de possession ramené à un euro de produits

stockés. Il est obtenu en divisant le coût total des frais de possession par le stock moyen. Ces frais couvrent :

- l'intérêt du capital immobilisé,
- les coûts de magasinage (loyer et entretien des locaux, assurance, frais de personnel et manutention),
- les détériorations du matériel,
- les risques d'obsolescence.

Le taux utilisé dans les entreprises se situe entre 15% et 35% selon le type de pièce et la qualité de la gestion des stocks (Javel, 2003).

Dans ce contexte, on établit que le coût de revient par pièce est fonction de la quantité supplémentaire (X) et du coût de possession (CP) affecté :

$$CR = \frac{CS + CU * (QC + X)}{QC + X} + \frac{CP}{QC + X} \quad (\text{Eq. 21})$$

D'où,

$$CR = \frac{CS + CU * (QC + X)}{QC + X} + \frac{(CU * X) * i}{QC + X} \quad (\text{Eq. 22})$$

Par suite,

$$CR = \frac{CU * X * (i + 1) + QC * CU + CS}{QC + X} \quad (\text{Eq. 23})$$

Notre modèle vise à rechercher la quantité X de pièces supplémentaires à produire pour laquelle le coût de revient est minimal. C'est à dire la valeur de X pour laquelle la dérivée du coût de revient par rapport à la quantité X est nulle.

D'où,

$$\frac{dCR}{dX} = \frac{i * CU * QC - CS}{(X + QC)^2} = 0$$

(Eq. 24)

Dans cette équation, X étant au dénominateur, cette dérivée s'annule lorsque X est infinie. Par contre le dénominateur étant strictement positif, le signe de la dérivée dépend du numérateur. On souhaite avoir une dérivée négative, correspondant à une diminution du coût de revient en fonction de X. Ce qui conduit à la relation

suivante qui exprime la condition pour qu'il soit intéressant d'envisager de produire sur stock :

$$i \leq \frac{CS}{QC.CU} \quad (\text{Eq. 25})$$

Lorsque cette condition est obtenue l'entreprise réalise un gain financier malgré le coût de stockage. L'équation 25 ainsi calculée est indépendante de la quantité  $X$  fabriquée en plus. En effet, la quantité de pièces supplémentaires fabriquées dépend du taux de possession des stocks ( $i$ ) de l'entreprise.

La stratégie qui consiste à produire plus et stocker engendre cependant un risque supplémentaire de perte financière liée au risque de non vente. Pour prendre en considération ce risque nous proposons d'identifier les gains et pertes associés à un risque de non vente estimé. Trouver le meilleur compromis en prenant en considération le risque de non vente consiste à évaluer deux cas : le cas où les pièces fabriquées en plus se vendent et le cas où l'entreprise ne peut les vendre.

Dans le cas où les pièces fabriquées en plus ( $X$ ) se vendent l'entreprise peut réaliser soit un gain soit une perte financière en fonction du taux de possession (Cf. Eq 8). Ce résultat financier ( $R$ ) réalisé par l'entreprise dépend du coût de changement de série ( $CS$ ) et du coût total de possession du stock ( $CP$ ). En effet, en produisant plus que la quantité commandée, l'entreprise économise le coût de changement de série (vendue lors de la première commande) mais perd de l'argent en fonction du coût total de possession. Notre modèle prend en considération l'opportunité d'une réduction du nombre de changements de série, en revanche il ne prend pas en compte l'opportunité souvent citée par les décolleteurs de pouvoir répondre par le stock à une commande urgente sans délai.

On en déduit la relation :

$$R = CS - CP \quad (\text{Eq. 26})$$

Avec,

$$CP = (CU * X) * i \quad (\text{Eq. 27})$$

En prenant en considération la probabilité de vente ( $P$ ) on peut établir:

$$R' = (CS - (CU * X) * i) * P \quad (\text{Eq. 28})$$

Dans le cas où les pièces supplémentaires (X) ne se vendent pas l'entreprise réalise une perte financière (PR) pouvant être exprimée comme suit :

$$PR = (CU * X * (1+i)) * (1-P) \quad (\text{Eq. 29})$$

Avec,

$1-P =$  probabilité de non vente

Pour prendre en considération ces deux relations, on peut établir que l'entreprise réalise un gain lorsque les gains (G) financiers potentiels sont plus importants que les pertes. On en déduit la relation suivante :

$$G = R' - PR \quad (\text{Eq. 30})$$

### 4.1.1.3. Contraintes de moyens

Un des principes de base d'une bonne gestion réside dans le fait de ne pas prendre du temps sur une machine pour faire de la vente virtuelle alors que l'on peut faire une vente réelle. Pour prendre en considération ces contraintes de moyens, notre modèle s'appuie sur le temps disponible (TD) des ressources nécessaires à la fabrication des pièces et le temps de fabrication de la pièce (TF). Ce temps disponible est établi à partir de la ressource identifiée comme goulot. En effet, la ressource goulot limite l'ensemble du flux, si celle-ci n'est pas disponible, le flux de fabrication de la pièce est arrêté (Marris, 2005; Goldratt et Cox, 2006). Le temps disponible doit donc prendre en compte le taux d'occupation prévisionnel de la ressource goulot.

Notre modèle cherche la quantité de pièces supplémentaires pouvant être produites selon le temps disponible des ressources.

Pour ce faire, l'équation suivante peut donc être proposée :

$$X \leq \frac{TD}{TF} \quad (\text{Eq. 31})$$

### 4.1.1.4. Prise en considération du mixe entre contraintes et opportunités

L'objectif de notre modèle de décision est la prise en considération des deux éléments précédemment présentés :

- contraintes économiques et opportunités de vente
- contraintes de moyens.

Pour maximiser les gains financiers des entreprises, la quantité optimale de pièces à produire doit prendre en compte le mixe de contraintes et d'opportunités dont les équations sont les suivantes :

$$G = R' - PR \quad (\text{Eq. 32})$$

$$X \leq \frac{TD}{TF} \quad (\text{Eq. 33})$$

### 4.1.2. Résultats

#### 4.1.2.1. Données recueillies

Pour illustrer notre modèle d'aide à la décision sur la quantité à produire, nous avons réalisé deux cas d'application à partir des données d'une entreprise de décolletage étudiée. Les données recueillies pour la fabrication des pièces nommées *a* et *b* sont présentées dans le tableau 9. Dans notre cas la pièce fabriquée *a* possède un coût de changement de série de 270€ et la pièce *b* de 2000€. Le coût de revient unitaire de la pièce *a* hors coût de changement de série est égal à 0,06€ alors que celui de la pièce *b* est de 0,3€. Dans les deux cas présentés, l'entreprise a reçu une commande de 20000 pièces qui sera livrée immédiatement après la fabrication. Pour les deux pièces, la taille de lot est de 20000.

Pièces		a	b
Coût de changement de série	CS	270 €	2000 €
Coût de revient hors coût de changement de série par pièce	CU	0,06 €	0,3 €

Quantité commandée en nombre de pièces	QC	20000	20000
Coût de revient (dans le cas d'une fabrication au plus juste)	CR	0,074 €	0,400 €
Taux de possession affecté pour un an d'immobilisation	i% par an	9%	9%

**Tableau 9.** Données recueillies pour la fabrication de la pièce *a*

Le coût de revient calculé par l'entreprise pour cette commande est de 0,07€ pour la pièce *a* et pour la pièce *b* de 0.4€. Ce coût de revient est obtenu lorsque l'entreprise produit en fonction de la demande réelle exigée par le client.

#### 4.1.2.2. Résultats obtenus à partir des contraintes économiques et opportunités de ventes

Dans le cas où l'entreprise produirait des pièces supplémentaires le taux de possession affecté pour un an d'immobilisation est de 9% pour les deux pièces. Ce taux de possession est faible puisque la taille des produits fabriqués est petite. Ce taux permet de calculer le coût de stockage des pièces fabriquées en plus de la quantité commandée. A partir de ces données, le coût de revient par pièce en cas de fabrication supplémentaire à la demande du client est calculé selon l'équation 23 (Cf. Tableaux 10 et 11). Dans les deux cas présentés, malgré l'ajout d'un coût de stockage, le coût de revient des pièces *a* et *b* est inférieur à celui obtenu lorsque l'entreprise fabrique au plus juste. Pour la pièce *a* le coût de revient des pièces produites en plus de la demande client est de 0,068€ et de 0,333€ pour la pièce *b*. Ce résultat est en accord avec le risque lié à l'immobilisation calculé avec l'équation 8. D'après les calculs présentés dans le tableau 10, l'entreprise réaliserait un gain financier lorsque la probabilité de vente de la pièce *a* est égale ou supérieure à 90% pour une durée d'immobilisation de 150 jours. Pour la pièce *b* l'entreprise réaliserait un gain financier à partir d'une probabilité de vente de 80% (Cf. Tableau 11). Pour les deux pièces, quelque soit la probabilité de vente les coûts de stockage n'engendrent pas de perte financière. En effet, les résultats financiers en cas de vente sont toujours positifs malgré un taux de possession du stock correspondant à 3,7%. Les gains financiers potentiels pour la fabrication de pièces *a* sont d'environ 78€ lorsque la probabilité de vente est de 90% et d'environ 225€ lorsque la probabilité de

## Chapitre 4. Vers un système de production Lean adapté

vente est de 100%. Pour la pièce *b* les gains financiers sont de 178€ environ pour une probabilité de vente de 80%, de 978€ pour une probabilité de 90% et de 1778€ pour une probabilité de vente de 100%.

Durée de stockage maximale en jours		150								
Quantité supplémentaire (X)		20000								
Taux de possession pour la période de stockage (i%)		3,7%								
Coût de revient de la pièce (CR calculé par l'équation 23 en euros)		0,068 €								
Risque lié à l'immobilisation maximale (calculé par l'équation 25)		22,5 %								
Probabilité de ventes (P)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Résultat financier en cas de vente (R' calculé par l'équation 28)	22,56 €	45,12 €	67,68 €	90,25 €	112,81 €	135,37 €	157,93 €	180,49 €	203,05 €	225,62 €
Résultat financier en cas de non vente (PR calculé par l'équation 29)	1 119,95 €	995,51 €	871,07 €	746,63 €	622,19 €	497,75 €	373,32 €	248,88 €	124,44 €	- €
Gain si on fabrique par anticipation (G calculé par l'équation 30)	- 1097,38 €	- 950,38 €	- 803,38 €	- 656,38 €	- 509,38 €	- 362,38 €	- 215,38 €	- 68,38 €	78,62 €	225,62 €

**Tableau 10.** Résultats obtenus pour la pièce a

Durée de stockage maximale en jours		150								
Quantité supplémentaire (X)		20000								
Taux de possession pour la période de stockage (i%)		3,7%								
Coût de revient de la pièce (CR calculé par l'équation 23 en euros)		0,333 €								
Risque lié à l'immobilisation maximale (calculé par l'équation 25)		35,55%								
Probabilité de ventes (P)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Résultat financier en cas de vente (R' calculé par l'équation 28)	177,81 €	355,62 €	533,42 €	711,23 €	889,04 €	1 066,85 €	1 244,66 €	1 422,47 €	1 600,27 €	1 778,08 €
Résultat financier en cas de non vente (PR calculé par l'équation 29)	5 599,73 €	4 977,53 €	4 355,34 €	3 733,15 €	3 110,96 €	2 488,77 €	1 866,58 €	1 244,38 €	622,19 €	- €
Gain si on fabrique par anticipation (G calculé par l'équation 30)	- 5 421,92 €	- 4 621,92 €	- 3 821,92 €	- 3 021,92 €	- 2 221,92 €	- 1 421,92 €	- 621,92 €	178,08 €	978,08 €	1 778,08 €

**Tableau 11.** Résultats obtenus pour la pièce b

### 4.1.2.3. Résultats obtenus à partir des contraintes de moyens matériels

Les données prises en considération concernant les contraintes de moyens matériels sont résumées dans le Tableau 12.

Données nécessaires		Pièce a	Pièce b
Quantité commandée en pièces	QC	20000	20000
Temps de cycle de la pièces en minute	TC	0,3	0,5
Temps disponible en minute	TD	2000	12000

**Tableau 12.** Données recueillies pour la prise en compte des contraintes de moyens

D'après l'équation 31 les résultats pour la pièce *a* sont les suivants :

$$\frac{TD}{TC} = \frac{2000}{0,3} = 6666$$

Soit,  $X \leq 6666$  pièces

Pour la pièce *b* les résultats sont les suivants :

$$\frac{TD}{TC} = \frac{12000}{0,5}$$

$$\frac{TD}{TC} = 24000$$

Soit,  $X \leq 24000$  pièces

Les contraintes de moyens matériels limitent donc la production de pièces *a* supplémentaires à 6666 et de pièces *b* à 24000.

A partir de ce mix entre opportunités et contraintes l'entreprise peut désormais décider de la stratégie la plus favorable. La prise en compte des contraintes économiques nous a permis d'identifier une quantité de pièces supplémentaires (*X*) pouvant être fabriquées en fonction des opportunités commerciales pour une probabilité de vente supérieure ou égale à 90% pour la pièce *a* et une probabilité de vente supérieure ou égale à 80% pour la pièce *b*. Dans notre exemple le coût de stockage des pièces fabriquées en plus génère peu de perte financière sur une durée d'immobilisation inférieure ou égale à 150 jours. La seconde

étape de notre modèle a été la prise en compte des contraintes de moyens matériels. Dans notre cas d'application, l'entreprise ne peut pas fabriquer plus de 6666 pièces *a* et 24000 pièces *b* supplémentaires à la demande. Dans cet exemple l'entreprise est limitée par ses contraintes de moyens matériels pour la pièce *a*. Comme l'entreprise fabrique par lot de 20000, elle devra se limiter à la production de pièces *a* en fonction des demandes clients. En revanche, pour la pièce *b* l'entreprise pourra produire 20000 pièces supplémentaires à la demande si la probabilité de vente sur une durée de 150 jours maximum est supérieure ou égale à 80%. Il est cependant, important de souligner que si l'entreprise produit moins de 20000 pièces pour des produits qui sont habituellement commandés par lot de 20000 cette dernière devra faire un changement de séries supplémentaire pour fabriquer le complément.

### 4.1.3. Discussion

Plusieurs raisons nous ont conduits au développement de notre modèle. Jusqu'à présent les entreprises de décolletage réalisaient un pari sur le gain potentiel généré par leur production supplémentaire qui repose sur leurs ventes potentielles. Instinctivement, à l'encontre des principes de la démarche Lean, ces entreprises cherchent à produire plus que la demande exigée par le client. L'ensemble de cette profession se tromperait-elle dans son mode de gestion ? Cette étude nous a permis de fournir des éléments de décision pour connaître les limites de cette règle de gestion. Le développement de ce modèle permet le calcul d'une quantité optimale à produire en optimisant les coûts de revient. Ce modèle souligne l'importance du taux de possession et plus particulièrement de la probabilité de vente (*P*). Ainsi, les entreprises du pôle dont la majorité possède des coûts de changement de série élevés peuvent connaître le meilleur compromis entre les deux approches de production : flux tiré et flux poussé. Ce compromis est réalisé en prenant en considération les contraintes économiques telles que les coûts de changement de série, les coûts de stockage, les demandes clients et les opportunités commerciales de vente. Un grand avantage de notre modèle d'aide à la décision est la prise en considération de ces opportunités commerciales. Dans notre étude, cette estimation repose sur la prise en compte de la probabilité de non vente et conduit à une estimation de l'impact des paris réalisés par les entreprises.

Notre modèle est parfaitement adapté aux entreprises disposant d'un coût de changement de série élevé. En revanche, pour les entreprises disposant de coût de changement de série faible, le modèle présente moins d'intérêt, l'évolution du coût de revient des produits en cas de fabrication supplémentaire à la demande est prévisible. Pour ces dernières, une fabrication au plus juste est recommandée. De plus, dans notre cas d'application, même avec un coût de changement de série important, l'entreprise de décolletage étudiée réalise un gain financier lorsque le risque de non vente est inférieur à 20%. L'entreprise doit donc être sûre à 80% des estimations réalisées pour s'engager dans cette stratégie ; le cas contraire la conduirait à une perte. Cette très faible marge d'incertitude possible sur les ventes futures, même avec un coût de changement de série important montre bien l'intérêt d'appliquer les principes du Lean. Il existe cependant une zone correspondant à des situations bien connues des décolleteurs justifiant les pratiques de gestion appliquées empiriquement. Malheureusement l'empirisme conduit souvent à un sur stockage excessif, l'approche proposée permettrait d'apporter un compromis plus raisonnable.

### 4.1.4. Conclusion

Le modèle de calcul de la quantité optimale que nous proposons devrait permettre aux entreprises du pôle une meilleure stratégie de production. La faible application du principe du flux tiré par ces entreprises repose a priori plus sur les spécificités de leur système de production, justifiant dans certains cas la production en flux poussés.

Cependant, l'utilisation de ce modèle nécessite une estimation de la probabilité de vente par l'entreprise. Nos résultats soulignent particulièrement l'importance de cette dernière. Or, cette estimation réalisée par l'entreprise s'avère difficile et pourrait, par conséquent être biaisée. Il est donc important de chercher à réduire ce biais.

## 4.2. Modélisation probabiliste de la prévision de vente

Afin de réduire le risque d'erreur associée à l'estimation de la probabilité de vente, nous nous proposons d'introduire une modélisation probabiliste de

l'estimation des ventes potentielles. Le choix des lois de probabilités utilisées sera réalisé à partir de l'historique des ventes d'une entreprise de décolletage de la vallée de l'Arve et nous conduira à identifier le modèle de loi le plus adapté. Nous présenterons trois situations de modélisation probabiliste de l'historique des ventes selon une loi Exponentielle et une loi de Weibull.

### 4.2.1. Méthode

La probabilité de vente est associée à deux événements : le cas où la quantité supplémentaire (X) est vendue et le cas où la quantité supplémentaire n'est pas vendue. Le coût (C1) associé au premier événement peut être estimé à partir de l'équation du coût de revient (Eq. 23) :

$$C1 = \frac{CU.(X.i + QC + X) + CS}{QC + X} \quad (\text{Eq. 34})$$

Avec :

P = probabilité de vente

Le coût (C2) associé au second événement correspondant au cas où la quantité supplémentaire (X) n'est pas vendue est le suivant :

$$C2 = \frac{CU.(X.i + QC + X) + CS}{QC} \quad (\text{Eq. 35})$$

Avec,

1-P = probabilité de non vente

Dans cette équation, le coût unitaire est uniquement amorti en fonction de la quantité commandée. Les pièces supplémentaires à la demande (X) sont considérées comme perdues. La prise en compte de ces deux événements peut être réalisée à partir du calcul de l'espérance mathématique suivant :

$$E(x) = \sum_{i=1}^n X_i.P(X_i) \quad (\text{Eq. 36})$$

Appliquée aux coûts (C), cette équation s'exprime de la façon suivante :

$$E(C) = \sum_{i=1}^n C_i.P(C_i) \quad (\text{Eq. 37})$$

A partir du calcul de ces deux coûts indépendants l'espérance du coût total de fabrication est la suivante :

$$E(CT(i, X)) = \sum_{i=1}^n C_i \cdot P(C_i) = C1 \cdot P(C1) + C2 \cdot P(C2) \quad (\text{Eq. 38})$$

Par suite,

$$E(CT(i, X)) = \frac{CU \cdot (X \cdot i + QC + X) + CS}{QC + X} \cdot P(X) + \frac{CU \cdot (X \cdot i + QC + X) + CS}{QC} \cdot (1 - P(X)) \quad (\text{Eq. 39})$$

### 4.2.1.1. Modélisation de la probabilité de vente

Afin de modéliser la probabilité de vente les trois étapes suivantes sont nécessaires :

- Etape de recherche du modèle d'évolution, de l'historique des ventes
- Etape de transformation des données dans le même référentiel temporel
- Etape de recherche du modèle le plus en adéquation aux données

#### *Etape 1 : recherche du modèle d'évolution, de l'historique des ventes*

Pour estimer la probabilité de vente et donc les prévisions de vente, il faut prendre en compte l'historique de ventes de la pièce fabriquée.

Les méthodes de prévisions des ventes prennent en considération les formes d'évolution de l'historique des ventes. Ainsi, par exemple pour un historique constant horizontal, les méthodes de la moyenne mobile simple, de la moyenne mobile pondérée sont utilisées. Pour un historique avec tendance (croissante ou décroissante) les méthodes du lissage exponentiel avec tendance présentent l'avantage de limiter la quantité de données à prendre en considération. Pour les aspects de saisonnalité des produits, la méthode multiplicative saisonnière est une approche adaptée (Ritzman et al., 2004). L'une des principales méthodes de prévision causale est la régression linéaire (Ritzman et al., 2004). Finalement, l'analyse des séries chronologiques permet de générer rapidement un nombre de

prévisions à court terme nécessaire à l'établissement d'un planning de production. Ces modèles permettent d'estimer l'évolution de la moyenne des ventes futures.

### *Etape 2 : transformation des données dans le même référentiel temporel*

Dans le cas du recueil des données de l'historique des ventes, il y a parfois un biais lié au phénomène de tendance (augmentation ou diminution des ventes). Pour réduire et corriger le biais éventuel lié à la tendance de l'historique de vente, il faut transformer ces données en un échantillon homogène. Un échantillon est homogène lorsque ses valeurs sont recueillies à la même date et liées à la même loi de probabilité de vente. Or, un historique de vente est constitué de valeurs recueillies sur plusieurs mois ou années. Dans la plupart des cas, les ventes évoluent selon différents modèles tels que le modèle à tendance (l'augmentation ou la diminution de la moyenne des séries chronologiques est fonction de la durée), le modèle saisonnier (les variations de la demande sont périodiques), le modèle cyclique (les variations de la demande sont graduelles sur de longues périodes). Pour obtenir un échantillon homogène, nous proposons d'appliquer une transformation à chaque donnée pour corriger ce biais.

### *Correction du biais temporel*

Ce biais est introduit par l'évolution des ventes au cours du temps (biais temporel) et suit par conséquent un modèle d'évolution connu. La connaissance de ce modèle permet de s'émanciper de ce biais et d'obtenir un échantillon homogène.

Soit  $Y_i^{t_j}$  une donnée  $i$  quelconque obtenue à la période  $t_j$ . Un échantillon est défini comme homogène si tous les  $Y_i$  sont recueillis dans la même période  $t_j$  ou dans une période équivalente caractérisée en particulier par la même valeur centrale  $E(Y)$  ou la médiane.

Si nous avons une connaissance de l'évolution de cette caractéristique d'une période  $j$  à une période  $p$ , nous pouvons transformer les données  $j$  à la même période  $p$  et ainsi obtenir un échantillon homogène. Nous rappelons que ces modèles correspondent à la régression (modèle à tendance), au lissage exponentiel simple et

avec tendance, au modèle saisonnier. Si nous appliquons ce modèle à  $Y_i^{t_j}$  pour un changement de référence temporelle de  $t_j$  à  $t_p$ , alors  $Y_i^{t_j}$  devient  $Y_i^{t_p}$  et la transformation  $T_i^p$  est telle que :

$$Y_i^{t_j} \xrightarrow{T_i^p} Y_i^{t_p}$$

Avec le modèle à tendance, nous avons :

$$Y_i^{t_p} = Y_i^{t_j} + a(t_p - t_j) \quad (\text{Eq. 40})$$

Avec,

$Y_i^{t_p}$  = donnée transformée

$Y_i^{t_j}$  = donnée réelle correspondant à la quantité vendue à l'année  $t_j$

$a$  = coefficient directeur calculé à partir du modèle de prévision de l'historique

$t_p$  = référence périodique

$t_j$  = période  $j$  correspondant à l'année actuelle

Ainsi l'échantillon homogène de taille  $n$  recherché s'obtient par transformation  $T_i^p$  :

$$E_n^{t_p} = \{Y_1^{t_p}, Y_2^{t_p}, Y_3^{t_p}, \dots, Y_i^{t_p}, \dots, Y_n^{t_p}\} \quad (\text{Eq. 41})$$

### *Etape 3 : recherche du modèle le plus en adéquation aux données*

A partir de ces données transformées en un échantillon homogène nous pouvons chercher ensuite le modèle de la loi de probabilité de vente le plus approprié. En effet, les possibilités de ventes supplémentaires se traduisent par différentes lois de probabilités. Différents modèles de lois sont distingués selon les variables étudiées : des modèles de lois continues pour des variables continues et des modèles de lois discrètes pour des variables discrètes (par exemple, le nombre de pièces fabriquées). Plusieurs modèles de lois sont susceptibles d'être appliqués dans le cas d'estimation de probabilité de ventes. Ainsi, pour les variables aléatoires discrètes, les modèles suivant une loi géométrique, une loi de Weibull discrète de

type I, une loi de Poisson, une loi Binomiale, une loi hypergéométrique et une loi d'Erlang, peuvent être utilisés ; pour des variables aléatoires continues, les modèles suivant une loi Exponentielle, une loi de Weibull, une loi Log-normale et une loi Gamma peuvent être proposés. Notons que les modèles de lois continues s'utilisent aussi dans la plupart des applications industrielles (en arrondissant au nombre entier d'unités le résultat trouvé).

Le choix du modèle de loi le plus adapté est réalisé en deux étapes. La première consiste à définir le paramètre d'échelle à partir des modèles classiques de prévision de ventes cités précédemment. La seconde étape consiste à définir le paramètre de forme de la loi qui caractérise la partie aléatoire de la probabilité de vente. Par exemple, dans le cas d'une loi de Weibull à deux paramètres, le paramètre d'échelle  $\eta$  est lié à l'évolution de la moyenne et le paramètre de forme est le paramètre  $\beta$ .

Le choix du modèle de loi le plus approprié s'appuie sur la méthode du maximum de vraisemblance. Pour notre application nous utilisons le logiciel Weibull ++ (<http://weibull.reliasoft.com>).

### 4.2.2. Modélisation probabiliste de l'estimation des ventes à partir d'une application industrielle

#### 4.2.2.1. Données recueillies

Nous avons étudié trois exemples de pièces mécaniques indépendantes fabriquées dans une entreprise de décolletage. Les données recueillies pour la fabrication des pièces nommées  $c$ ,  $d$  et  $e$  sont présentées dans le tableau 13. La pièce fabriquée  $c$  possède un coût de changement de série de 3000€, la pièce  $d$  de 2500€ et la pièce  $e$  de 2300€. Le coût de revient unitaire de la pièce  $c$  hors coût de changement de série est égal à 0,06€, celui de la pièce  $d$  est de 0,5€ et celui de la pièce  $e$  de 0,05€. Le taux de possession affecté pour un an d'immobilisation a été estimé à 15% pour ces trois pièces. L'entreprise a reçu une commande de 10000 pièces  $c$ , une commande de 15000 pièces  $d$  et une commande de 16000 pièces  $e$ .

Pièces		c	d	E
Coût de changement de série	CS	3000	2500	2300
Coût de revient hors coût de changement de série	CU	0,06	0,5	0,05
Quantité commandée en nombre de pièces	QC	10000	15000	16000
Taux de possession affecté pour un an d'immobilisation	i% par an	15%	15%	15%

**Tableau 13.** Données recueillies pour la fabrication des pièces *c*, *d* et *e*. Les coûts sont exprimés en euro.

L'historique des ventes des pièces *c*, *d* et *e* est résumé dans le tableau 14.

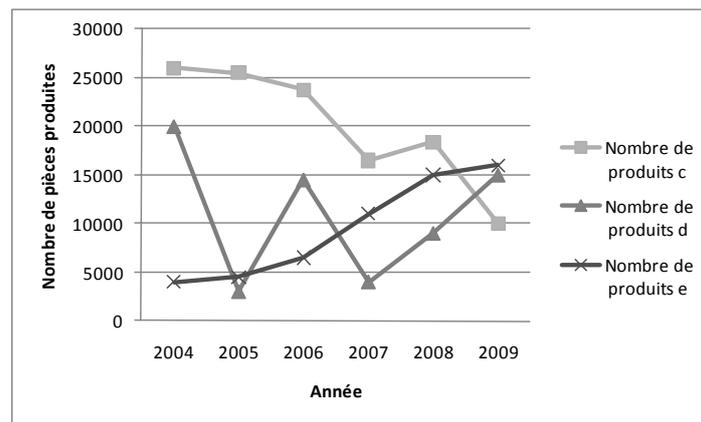
Année	Nombre de produits vendus		
	C	d	e
2009	10000	15000	16000
2008	18390	9000	15000
2007	16500	4000	11000
2006	23760	14500	6500
2005	25500	3000	4500
2004	26000	2000	4000

**Tableau 14.** Historique des ventes

4.2.2.2. Application des modèles probabilistes de l'estimation des ventes

a) Recherche du modèle d'évolution de l'historique de vente

L'évolution des historiques de ventes des pièces *c*, *d* et *e* est présentée dans la figure 11.



**Figure 11.** Evolution des historiques de vente des produits

L'historique de vente des produits *c* et *e* peut être modélisé par un modèle à tendance de la forme suivante :

$$y(t) = at + b \quad (\text{Eq. 42})$$

Avec,

$a$  = coefficient directeur

$t$  = temps

$b$  = ordonnée à l'origine

A partir de l'équation 42 les modélisations des historiques de vente des produits *c* et *e* sont les suivantes :

$$y_c(t) = -3103 + 624533t \quad (\text{Eq. 43})$$

$$y_e(t) = -5494042 + 2742 \quad (\text{Eq. 44})$$

L'historique des ventes de la pièce *d* prend la forme d'un modèle à moyenne constante :

$$y_d = c \quad (\text{Eq. 45})$$

Avec,

$C$  = moyenne des ventes

D'où,

$$C = 10917$$

b) Transformation des données dans le même référentiel temporel

A partir de l'équation 42, la quantité transformée de l'année 2004 pour l'année 2009 est calculée de la façon suivante pour la pièce *c* :

$$X_i^{2009} = 26000 - 3103(2009 - 2004)$$

$$X_i^{2009} = 10487$$

La transformation des données recueillies dans la même référence temporelle fournit les résultats suivants pour les pièces *c* et *e* :

Transformation des données avec comme référence temporelle l'année 2009		
Année	Pièce c	Pièce e
2004	10487	17714
2005	13090	15471
2006	14452	14729
2007	10295	16486
2008	15287	17743
2009	10000	16000

**Tableau 15.** Actualisation des données en 2009

Pour la pièce *d*, aucune transformation des données n'est nécessaire puisque l'historique de cette pièce prend la forme d'un modèle à moyenne constante.

4.2.2.3. Recherche du modèle le plus en adéquation aux données

L'analyse d'adéquation entre les modèles de lois cités précédemment et l'historique de vente des produits fabriqués fait apparaître les résultats suivants :

Distribution	Classement		
	Pièce c	Pièce d	Pièce e
Exponentielle 1	7	2	8
Exponentielle 2	3	2	<b>1</b>
Normale	2	5	3
Lognormale	5	2	6
Weibull 2	<b>1</b>	<b>1</b>	2
Gamma	6	3	7
Logistique	2	4	4
Loglogistique	4	<b>1</b>	5

**Tableau 16.** Classement des différents modèles pour l'estimation des ventes des pièces *c*, *d* et *e* suivant la méthode du maximum de vraisemblance.

L'analyse d'adéquation entre les modèles de lois et les historiques des ventes montre que le modèle de Weibull à deux paramètres est le plus adapté pour modéliser l'estimation des ventes des pièces *c* et *d*. Pour la pièce *e*, le modèle exponentiel est plus approprié (Cf. Tableau 16).

#### 4.2.2.4. Modélisation probabiliste des ventes

La modélisation probabiliste des ventes de type Weibull s'exprime de la manière suivante :

$$P_V(x) = e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{Eq. 46})$$

A partir de l'équation 46 du modèle de vente obéissant à une loi de type Weibull, l'espérance du coût total de fabrication est la suivante:

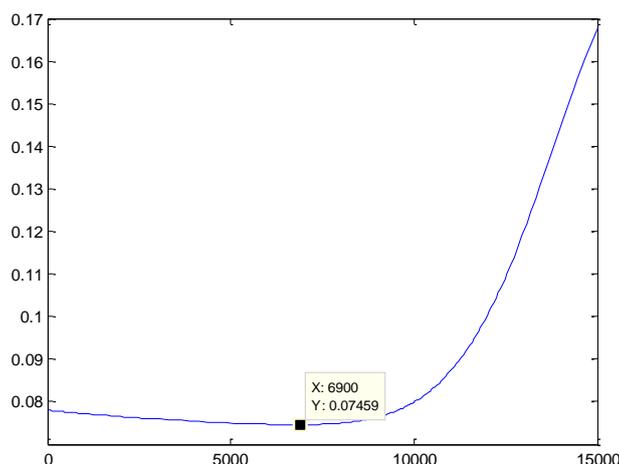
$$E(CT(i, X)) = \frac{CU \cdot (Xi + QC + X) + CS}{QC + X} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^\beta} + \frac{CU \cdot (Xi + QC + X) + CS}{QC} \cdot (1 - e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^\beta}) \quad (\text{Eq. 47})$$

##### a) Cas d'application de la pièce *c*

A partir de l'équation 47 et des données relatives à la fabrication de la pièce *c*, nous obtenons l'équation suivante :

$$E(CT(i, X)) = \frac{0,06 \cdot (0,15X + 10000 + X) + 3000}{10000 + X} \cdot e^{-\left(\frac{x}{13651}\right)^{7,69}} + \frac{0,06 \cdot (0,15X + 10000 + X) + 3000}{10000} \cdot (1 - e^{-\left(\frac{x}{13651}\right)^{7,69}}) \quad (\text{Eq. 48})$$

Il est possible de calculer la quantité de pièces supplémentaires qui minimise le coût total correspondant au minimum de la courbe à partir de l'équation 48 (Cf. Figure 12).



**Figure 12.** Relation entre la quantité supplémentaire de pièces  $c$  à produire et le coût total associé

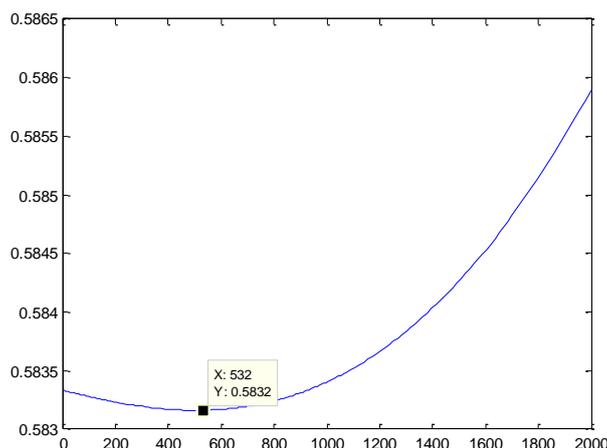
Comme illustré sur la figure 12, le coût total est minimisé lorsque l'entreprise produit une quantité de 6900 pièces supplémentaires à la quantité commandée.

b) Cas d'application de la pièce  $d$

A partir de l'équation 47 et des données relatives à la fabrication de la pièce  $d$ , nous obtenons l'équation suivante :

$$E(CT(i, X)) = \frac{0,5 \cdot (X \cdot 0,15 + 15000 + X) + 2500}{15000 + X} \cdot e^{-\left(\frac{x}{13402}\right)^{1,61}} + \frac{0,5 \cdot (X \cdot 0,15 + 15000 + X) + 2500}{15000} \cdot (1 - e^{-\left(\frac{x}{13402}\right)^{1,61}}) \quad (\text{Eq. 49})$$

Il est possible de calculer la quantité de pièces supplémentaires qui minimise le coût total correspondant au minimum de la courbe à partir de l'équation 49 (Cf. Figure 13).



**Figure 13.** Relation entre la quantité supplémentaire de pièces  $d$  à produire et le coût total associé

Comme illustré sur la figure 13, le coût total est minimisé lorsque l'entreprise produit une quantité de 532 pièces supplémentaires à la quantité commandée.

c) Cas d'application de la pièce e

Concernant les ventes de la pièce  $e$ , nous avons utilisé le modèle de loi de type exponentiel (Cf. Tableau 15). La modélisation probabiliste des ventes de type exponentiel peut être exprimée comme suit :

$$P(x) = e^{-\tau x} \tag{Eq. 50}$$

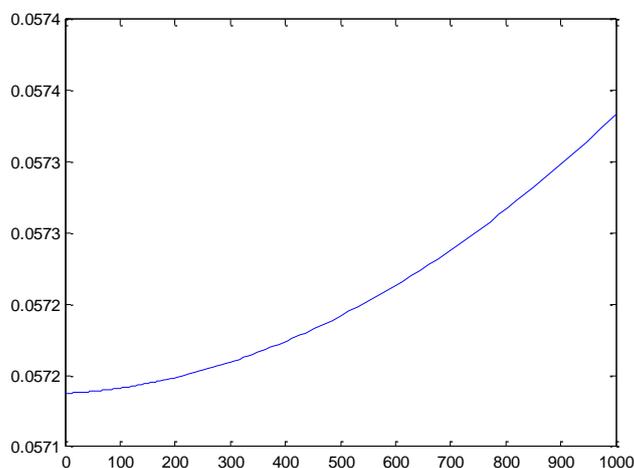
L'espérance du coût total ( $E(CT)$ ) prenant en compte une modélisation probabiliste des ventes obéissant à une loi exponentielle de paramètre  $\tau$  s'exprime ainsi :

$$E(CT(i, X)) = \frac{CU \cdot (X \cdot i + QC + X) + CS}{QC + X} \cdot e^{-\tau X} + \frac{CU \cdot (X \cdot i + QC + X) + CS}{QC} \cdot (1 - e^{-\tau X}) \tag{Eq. 51}$$

A partir de cette dernière équation et des données relatives à la fabrication de la pièce  $e$ , nous obtenons l'équation suivante:

$$E(CT(i, X)) = \frac{0,05 \cdot (X \cdot 0,15 + 16000 + X) + 2300}{16000 + X} \cdot e^{-5,09E^{-5}X} + \frac{0,05 \cdot (X \cdot 0,15 + 16000 + X) + 2300}{16000} \cdot (1 - e^{-5,09E^{-5}X}) \tag{Eq. 52}$$

Comme précédemment, il est possible d'identifier l'optimum du coût total lorsque l'entreprise produit plus que la demande à partir de l'équation 52 (Cf. Figure 14).



**Figure 14.** Relation entre la quantité supplémentaire de pièces  $e$  à produire et le coût total associé

Le coût total de fabrication de la pièce  $e$  augmente quelque soit le nombre de pièces fabriquées en plus (Cf. Figure 14). Pour cette pièce, la production à flux tiré est préconisée.

### 4.2.2.5. Contraintes de moyens matériels

A partir de l'équation 31 les résultats concernant les contraintes de moyen matériels pour les pièces  $c$ ,  $d$  et  $e$  sont résumés dans le tableau 17 :

Données nécessaires		Pièce c	Pièce d	Pièce e
Temps de fabrication de la pièce en minute	TC	0,4	0,6	0,7
Temps disponible en minute	TD	1440	960	1440
Quantité supplémentaire	X	3600	1600	2057

**Tableau 17.** Prise en compte des contraintes de moyens

Les contraintes de moyens matériels limitent la production supplémentaire de pièces  $c$  à 3600, de pièces  $d$  à 1600 et de pièces  $e$  à 2057.

### 4.2.3. Discussion des résultats

L'introduction d'une modélisation probabiliste de l'estimation des ventes dans le calcul du coût total de fabrication d'une production commandée et d'une surproduction permet de considérer l'impact du risque de non vente sur le coût total de production.

Afin de réaliser cette modélisation probabiliste de l'estimation des ventes, la première étape de notre étude a consisté à rechercher le modèle de prévision de vente le plus adapté. Nous nous sommes intéressés à la fabrication de trois pièces indépendantes associées à trois historiques de vente différents. L'historique de ventes des pièces *c* et *e* nous a conduit à utiliser des modèles à tendance alors que celui de la pièce *e* nous a conduit à utiliser un modèle à moyenne constante. Il convient de remarquer que les historiques de vente utilisés comportent peu de données. Cependant, dans le cas d'un échantillon homogène, ce faible nombre de valeurs est suffisant pour trouver le modèle représentatif mais avec un intervalle de confiance large. Un nombre plus grand de données permettrait de réduire cet intervalle de confiance. Or, il est difficile de disposer d'historique de vente sur une très longue période dans les entreprises.

Les étapes suivantes ont consisté à modéliser la loi de probabilité de vente par les modèles de lois les plus en adéquation avec les données transformées de l'historique de vente. Ainsi, la modélisation probabiliste de la pièce *e* a conduit à l'utilisation d'un modèle de type exponentiel alors que celle des pièces *c* et *d* a conduit à un modèle de type Weibull de paramètre  $\beta$  égale à 7,69 pour la pièce *c* et à 1,61 pour la pièce *d*. Le paramètre  $\beta$  caractérise la forme de la loi ; plus ce dernier est élevé moins les quantités vendues sont dispersées. A l'opposé, la loi exponentielle utilisée pour la modélisation de la pièce *e* caractérise des phénomènes aléatoires très dispersés. Ces résultats soulignent l'importance de disposer de l'historique de ventes le plus fiable possible. En effet, de cet historique dépend le choix du modèle prévisionnel de vente et le choix de la loi la plus adaptée pour modéliser la loi de probabilité de vente. Selon le modèle de prévision utilisé l'évolution du coût total de production sera donc différente.

L'utilisation d'un modèle de type Weibull entraîne tout d'abord une diminution légère du coût total de fabrication jusqu'à une surproduction de 6900 pièces  $c$  et de 532 produits pour la pièce  $d$ . En revanche, pour la pièce  $e$ , l'utilisation d'un modèle de type exponentiel engendre une augmentation du coût total de fabrication dès la première pièce supplémentaire fabriquée.

Dans le cas d'un produit nouveau (pour lequel l'entreprise ne disposerait pas d'historique de vente), il conviendrait alors de s'orienter vers des méthodes d'intégration d'avis d'expert telles les méthodes Delphi et de logique floue ou encore de Bayes. Le cas d'application concernant la fabrication de la pièce  $c$  a permis d'identifier la quantité maximale supplémentaire à produire garantissant un coût total de fabrication minimum (6900 pièces). Cependant, le calcul des contraintes de moyen limite l'entreprise à une surproduction de 3600 pièces. Amortir le coût de changement de série sur un plus grand nombre de pièces fabriquées permet dans ce cas de réduire le coût total de fabrication.

Concernant la fabrication de pièces  $e$ , quelques soient les contraintes de moyens, l'entreprise ne doit pas produire plus que la demande réelle du client. Toute surproduction supplémentaire entraînerait directement une augmentation de son coût total de production. Ce résultat est en accord avec le principe du système Lean.

### 4.2.4. Conclusion

L'introduction d'une modélisation probabiliste de l'estimation des ventes dans notre modèle de calcul de la quantité optimale à produire permet de guider les entreprises de façon plus rigoureuse.

L'hypothèse selon laquelle l'approche Lean devrait nécessiter des adaptations, une appropriation voire même des ajustements de certains de ses concepts dans les PME du pôle de compétitivité a été confirmée. Ainsi, l'application du principe du flux tiré dans les entreprises du pôle, dont le système de production présente des coûts de changement de série élevés, ne doit pas être faite de façon systématique mais nécessite réflexion.

Orienter les entreprises du pôle vers une seule stratégie pour l'ensemble de leur production, production à flux tiré ou production à flux poussé est complexe, voire inadapté. En effet, comme nous l'avons montré, selon la pièce fabriquée, il peut être préférable de produire au plus juste ou de produire plus que la demande réelle du client. Pour choisir la meilleure stratégie de production l'entreprise doit considérer chaque produit indépendamment.

## 5. Conclusion générale

Les entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries n'atteignent pas toujours le niveau d'application escompté de certaines pratiques Lean. Des ajustements ou des appropriations sont nécessaires dans ces entreprises.

Le faible niveau d'intégration des méthodes de résolution de problèmes nous a, tout d'abord, amenés à proposer une démarche de management de progrès fondée sur les principes de la culture européenne. Le déploiement des méthodes de résolution de problèmes et plus généralement d'une démarche de progrès doit être encouragé par la structure managériale. Comme souligné par l'évaluation du niveau de maturité Lean réalisée dans les entreprises membres et non membres du pôle de compétitivité, l'implication du management est étroitement liée avec le niveau d'application des pratiques Lean.

La mise en œuvre des méthodes de résolution de problèmes doit également prendre en compte la culture de l'entreprise concernée. Cette approche devrait ainsi permettre d'améliorer l'appropriation des démarches de résolution de problèmes et aussi de l'ensemble des pratiques Lean au sein des entreprises européennes. En effet, la barrière culturelle ne se limite pas aux pratiques de résolution de problèmes, mais touche l'ensemble des pratiques Lean. De plus, la démarche proposée reposant sur une sollicitation d'améliorations « bottom up et top down » devrait favoriser la mise en mouvement de l'entreprise.

Nous nous sommes ensuite intéressés à la faible mise en œuvre de l'outil VSM par les PME du pôle. Pour ce faire, nous avons identifié les freins à l'application de cet outil et proposé les facteurs clés de succès contribuant à la réussite des plans d'action. L'outil VSM ne nous semble pas nécessiter d'appropriation particulière pour être utilisé par les PME du pôle. Néanmoins, comme précédemment, le rôle primordial de la structure managériale a été suggéré.

De plus, la majorité des entreprises du pôle peut rencontrer une difficulté pour choisir le flux de production à optimiser. En effet, une autre spécificité des entreprises de décolletage est l'organisation des flux de production simples, en

parallèle avec peu d'interconnexion. Cette organisation rend peu pertinente l'utilisation de la notion de ressource goulot. Nous avons donc proposé une démarche d'identification des ressources critiques, ressources impactant le plus la performance de l'entreprise. Le choix des flux de production à améliorer en priorité peut ainsi être orienté vers les flux intégrant les ressources identifiées comme critiques.

Par ailleurs, en raison des temps de changement de série élevés des entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries, nous nous sommes interrogés sur la pertinence de l'application du principe du flux tiré au travers d'un modèle analytique de calcul de la quantité optimale à produire. Les particularités du système de production des entreprises de décolletage nous amène à conclure que le choix d'une seule stratégie de production, production en flux tiré ou production en flux poussé est inadapté. La stratégie de production doit être adaptée selon le produit concerné.

## **CHAPITRE 5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE**

Ce travail de thèse s'est inscrit dans le cadre de l'étude de l'application de la démarche Lean dans les entreprises membres du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc. L'approche Lean dont nous avons exposé les principaux concepts au cours du premier chapitre est une démarche de management visant l'amélioration de la performance industrielle axée sur l'élimination des gaspillages.

Or, les spécificités locales des PME du pôle de compétitivité nous ont amenés à proposer des adaptations ou des ajustements de cette approche.

Notre travail de thèse a conduit aux grands résultats suivants :

- mise en évidence d'une faible application des pratiques Lean relatives aux méthodes de résolution de problèmes, à l'utilisation de la cartographie de chaîne de valeur et aux flux tirés au sein des entreprises membre du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc,
- identification d'un standard de déploiement de l'approche Lean à partir de la recherche des antériorités existantes entre les pratiques Lean,
- introduction des principes de la culture européenne visant l'amélioration de l'utilisation des méthodes de résolution de problèmes et, de façon plus générale, la mise en mouvement de l'entreprise dans une démarche de progrès,
- identification des freins et des facteurs clefs de succès d'une démarche d'optimisation des flux de production réalisée au travers d'une VSM au sein d'une PME membre du pôle de compétitivité,
- proposition d'une démarche d'identification des ressources critiques permettant d'identifier les flux nécessitant les actions d'amélioration prioritaires,
- développement d'une nouvelle approche permettant d'identifier la quantité optimale à produire en prenant en considération les risques de non vente dans un contexte de flux tirés/flux poussés.

Nous apprécierons, tout d'abord, la pertinence de ces résultats soutenant la nécessité d'appropriation et d'ajustement de la démarche Lean par les PME membres

## Chapitre 5. Conclusion et perspectives de recherche

---

du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc et conduisant au développement d'un système de production Lean adapté. Nous discuterons ensuite de l'intérêt d'une démarche de progrès axée sur la sollicitation des hommes et de la mise en mouvement de l'entreprise. Finalement, les perspectives de ce travail de recherche seront exposées.

## **1. Appropriations et ajustements de la démarche Lean aux entreprises du pôle de compétitivité**

### **1.1. Etat des lieux de l'application des pratiques Lean au sein du pôle de compétitivité**

Afin d'étudier la démarche Lean, il nous a fallu, en premier lieu, définir les valeurs fondamentales de cette approche. En effet, l'évolution permanente de la définition de la démarche Lean et son appropriation par les entreprises et les différents auteurs a conduit à une multiplicité de définitions (Baglin et Capraro, 1999; Liker, 2004; Womack et Jones, 2005; Shah et Ward, 2007). Pour définir le Lean, nous avons identifié six concepts Lean communs à 26 auteurs référents :

1. L'élimination des gaspillages consiste à supprimer toute action non créatrice de valeur pour le client. Huit types de gaspillages ont été identifiés : la surproduction, les temps d'attentes, les transports inutiles, les usinages inutiles ou mal faits, les stocks excédentaires, les gestes inutiles, la production de pièces défectueuses et la créativité inexploitée.
2. Le juste à temps repose sur la fabrication du produit en quantité juste nécessaire, au moment voulu et disponible à l'endroit voulu. Ce concept inclue les notions de lissage de la charge de travail, de flux tiré, de réduction des stocks, d'utilisation des systèmes Kanban et de réduction des temps de changement de série.
3. La qualité, qui va de la notion du simple contrôle du produit à un management par la qualité totale, concerne la pérennité de l'entreprise garantie par la satisfaction et la fidélisation de ses clients. L'objectif de qualité parfaite recherche la satisfaction de tous les acteurs de l'entreprise.
4. L'amélioration continue est un réel état d'esprit reposant sur la mise en œuvre de multiples actions par l'ensemble des acteurs de l'entreprise.

5. Le management visuel consiste à utiliser de manière pertinente des moyens visuels tels que les panneaux d'affichage sur lesquels sont distingués un ensemble d'indicateurs (indicateurs de performance, objectifs de production, suggestions d'amélioration ou rapport A3). D'autres outils et méthodes contribuent également à cette notion de management visuel tels que la méthode 5 S, les méthodes Kanban et les systèmes andon.
6. Le management des hommes regroupe les principes de travail en équipe, de multifonction des équipes, de polyvalence et d'implication du personnel.

Nous avons utilisé cette définition tout au cours de notre travail de thèse. L'identification de ces six concepts Lean communs et des pratiques associées nous a permis de définir la démarche Lean de façon claire et compréhensible par tous. L'utilisation de cette définition compréhensible par tous nous a permis d'éviter toute équivoque concernant l'approche Lean avec les personnes interrogées.

Au cours du deuxième chapitre, l'évaluation du profil Lean du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc a été réalisée à partir d'un questionnaire d'auto-évaluation basé sur les six concepts Lean communs identifiés précédemment. Ce questionnaire d'auto-évaluation est généralisable à toute entreprise désireuse de connaître son niveau de maturité pour les principaux concepts de la démarche Lean.

A partir des données recueillies dans 44 entreprises, échantillon représentatif en termes de taille et de chiffre d'affaires des entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc, nous avons montré une faible application des pratiques relatives aux flux tirés, à la résolution de problèmes et à l'utilisation de la cartographie de chaîne de valeur. Il est intéressant de remarquer que la faible application des méthodes de résolution de problèmes a également été observée dans 50 entreprises non membres du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc. A ce jour, nous collectons encore des réponses à ce questionnaire d'auto-évaluation du niveau de maturité Lean dans des entreprises membres et non

membres du pôle afin de confirmer nos résultats sur un plus grand nombre d'entreprises.

L'analyse factorielle de nos données a montré une corrélation entre l'ensemble des pratiques Lean, soulignant l'aspect systémique du Lean. En effet, le Lean ne doit pas être considéré comme un ensemble de pratiques indépendantes (Womack et Jones, 2005).

En conclusion, cette première étude a montré d'une part, l'absence d'entreprises du pôle atteignant un niveau de maturité Lean élevé, et d'autre part, l'existence de difficultés d'application de certaines pratiques Lean.

### 1.2. Proposition d'ajustements de la démarche Lean aux spécificités des entreprises du pôle de compétitivité

La proposition d'ajustements de la démarche Lean contribuant au développement d'un système de production Lean adapté a constitué le cœur de notre travail de thèse. En effet, nous avons émis l'hypothèse que les spécificités locales relatives à la situation géographique, les aspects techniques et organisationnels des entreprises du pôle pourraient jouer un rôle prépondérant dans le faible niveau d'application de certaines pratiques Lean.

#### 1.2.1. Les spécificités locales des entreprises du pôle

La majorité des entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc sont des sous-traitants appartenant au secteur du décolletage. Ces entreprises présentent plusieurs spécificités dont les plus marquantes sont les suivantes :

- la majorité des entreprises sont des PME sous-traitantes de dernier rang,
- les temps de changement de série sont longs et difficilement compressibles : les entreprises justifient leur production réalisée en quantité supplémentaire à la demande par des temps de changements de série importants, des opportunités de vente et des commandes urgentes,

- les flux de fabrication sont simples (une à deux opérations de transformation du produit),
- il existe peu de ressources allouées aux améliorations,
- la taille de la production est variée (petite, moyenne et grande série).

### 1.2.2. Le standard de déploiement de la démarche Lean

Le faible nombre d'entreprises atteignant un niveau Lean élevé nous a, tout d'abord, amené à rechercher un standard de déploiement de la démarche Lean favorisant la réussite de sa mise en œuvre. En effet, différentes démarches de mise en œuvre du Lean sont proposées dans la littérature (Åhlström, 1998; Melton, 2005; Womack et Jones, 2005; Rivera et Chen, 2007; Alarçon et al., 2008). Cette absence de standard de démarche de déploiement de l'approche Lean contribue à une variabilité d'application des pratiques Lean et pourrait donc jouer un rôle dans l'échec de mise en œuvre du Lean. Pour identifier un standard de déploiement de la démarche Lean, nous avons réalisé une étude des antériorités existantes entre les différentes pratiques Lean à partir d'entretiens semi-directifs auprès de 25 experts Lean. L'originalité de notre étude est l'utilisation de la méthode des antériorités. A notre connaissance, aucune étude concernant l'ordre de mise en place des pratiques Lean n'a utilisé cette méthodologie. Cette méthode présente l'avantage d'identifier un cheminement de mise en place des pratiques Lean en tenant compte de la possibilité d'une mise en parallèle de certaines d'entre elles.

Ce travail a conduit à la proposition d'un standard de déploiement de la démarche Lean composé de cinq niveaux de mise en place des pratiques. Ce standard de déploiement de la démarche Lean a révélé l'existence d'une pratique incontournable à la mise en place de l'ensemble des autres pratiques : l'engagement de la direction. L'engagement du personnel a également été identifié précocement au cours de la mise en œuvre de l'approche Lean. Ces résultats sont en accord avec une des définitions du Lean récemment réhabilitée, considérant le Lean comme un système socio-technique dans lequel les hommes jouent un rôle central (Trist, 1981; Dibia et Onuh, 2010). Le système socio-technique perçoit l'homme comme une ressource devant être développée (Niepce et Molleman, 1998), notion fondamentale pour la réussite du Lean.

Par ailleurs, il est intéressant de remarquer qu'un nombre important d'antériorités est nécessaire à la réussite des pratiques relatives aux systèmes tirés. Or, les entreprises désireuses de s'engager dans une démarche Lean ont tendance à vouloir mettre en place rapidement cette pratique ce qui contribue à l'obtention de résultats mitigés.

De prime abord l'existence d'une mise en œuvre séquentielle des pratiques Lean semble en opposition d'une part, avec la notion de système sous-tendant l'approche Lean et d'autre part, avec la corrélation entre les niveaux de maturité de l'ensemble des pratiques Lean mise en évidence au cours de notre première étude. Or plusieurs arguments doivent être énoncés. En premier lieu, il est important de remarquer que le standard de déploiement du Lean identifié ne comporte que cinq niveaux. En effet, dans ce standard une majorité des pratiques peuvent être mises en œuvre en parallèle. Par ailleurs, le déploiement séquentiel de la démarche Lean ne remet pas en cause la perception systémique du Lean et donc la corrélation entre l'ensemble de ses pratiques.

En conclusion, nous préconisons d'utiliser ce standard de déploiement dans toute entreprise désireuse de mettre en place le Lean afin de réduire le risque d'échec pouvant survenir au cours de la mise en place de la démarche Lean et de contribuer à une meilleure application des pratiques.

### 1.2.3. Les ajustements spécifiques à la faible application des pratiques relatives aux méthodes de résolution de problèmes, de cartographie de chaîne de valeur et de flux tirés

Afin d'améliorer la performance des entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc nous avons proposé divers ajustements et adaptations de la démarche Lean en regard des spécificités locales du pôle de compétitivité.

Nous résumons ci-dessous les éléments fondamentaux de ces nouvelles approches et en discutons la pertinence.

En regard du faible niveau de maturité des pratiques relatives à la résolution de problèmes observé au sein des 94 entreprises étudiées (membres et non membres

du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc), nous avons proposé une approche fondée sur l'introduction des principes de la culture européenne dans une démarche de progrès : l'humanisme, la subsidiarité, la suppléance et la proportionnalité. Ainsi, l'intégration de ces principes nous permet de guider une démarche de progrès au travers de la sollicitation du personnel. Notre démarche vise notamment l'optimisation de la réactivité de chacun face à un dysfonctionnement. Cette sollicitation du personnel repositionne également l'homme au cœur du système Lean.

Le faible niveau de mise en œuvre de l'outil VSM observé au sein des entreprises membres du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc nous a amené, en premier lieu, à étudier l'application de cet outil dans ces entreprises. Au cours de notre travail de thèse, nous avons réalisé des applications de l'outil VSM dans plusieurs entreprises membres du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc. Un exemple détaillé de l'application de l'outil VSM a été présenté au cours du troisième chapitre. Cette étude a mis en évidence des facteurs clefs de succès mais aussi des freins à la mise en œuvre de la cartographie de chaîne de valeur. Comme précédemment, l'implication et la sollicitation des hommes sont apparues comme un élément majeur de la réussite de la démarche. En effet, la mise en œuvre des actions associées à la VSM nécessite une mobilisation de l'ensemble des collaborateurs que la direction doit encouragée. Ainsi, dans l'exemple présenté, la direction a alloué plusieurs ressources organisationnelles et financières dont l'arrêt de la production complète pendant la durée de l'action, le suivi et l'encouragement des actions d'amélioration.

D'autre part, nous nous sommes intéressés au choix du flux de fabrication prioritaire nécessitant l'utilisation d'une cartographie de chaîne de valeur. Pour répondre à cette problématique, nous avons développé une approche d'identification des ressources critiques, ressources impactant le plus la performance des entreprises. A partir de cette approche, l'entreprise pourra privilégier l'optimisation des flux de production qui intègrent les ressources identifiées comme critiques. La démarche d'identification des ressources critiques a été réalisée à partir d'une approche multicritères. Les critères permettant de déterminer les facteurs à intégrer dans le

modèle d'identification des ressources critiques ont été choisis à partir des éléments standards d'évaluation des performances que sont la production, la technologie, le management et le marché. L'illustration de cette démarche s'est appuyée sur une entreprise de notre champ d'étude membre du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc. Dans cet exemple, neuf critères de hiérarchisation ont été identifiés dont les coûts liés à la maintenance, l'unicité de la ressource et la capacité de fabrication de la ressource. L'identification des ressources critiques est réalisée à partir de l'approche de désirabilité. Cette approche présente l'avantage, d'une part, de pouvoir prendre en considération des données qualitatives et quantitatives et d'autre part, de pouvoir pondérer les différents critères. Il est également important de souligner que cette démarche peut être adaptée en fonction de l'entreprise concernée. En effet, d'autres critères complémentaires jugés pertinents peuvent s'intégrer aisément dans la méthode développée. L'approche multicritères associée à l'utilisation d'une matrice de criticité s'identifie comme un outil pertinent d'aide à la décision répondant aux préoccupations des industriels. La hiérarchisation des ressources d'une entreprise permet de déterminer le flux nécessitant une optimisation prioritaire, ce qui en fait un outil complémentaire à la VSM.

Finalement, le faible niveau de mise en œuvre du principe de production en flux tirés observé dans les entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc nous a conduits à nous interroger quant à la pertinence de cette stratégie de production dans les entreprises de décolletage. En effet, une particularité du secteur du décolletage est l'existence de coûts et de temps de changement de série élevés et difficilement compressibles. Ainsi, produire plus que la demande réelle du client permet aux entreprises de répondre à des demandes prévisionnelles et de réduire le coût de revient de fabrication lorsque la durée d'immobilisation des produits est suffisamment faible. Mais si cette surproduction n'est pas vendue, les entreprises s'exposent alors à de lourdes pertes financières. Pour répondre à cette problématique nous avons développé une démarche pour connaître le coût total de fabrication engagé par une production commandée et par une surproduction éventuelle. Le calcul de ce coût total de fabrication prend en considération à la fois les coûts de fabrication des pièces commandées et des pièces

fabriquées en quantité supplémentaire, les coûts de changement de série et les coûts de stockage. De plus, la probabilité de vente des pièces supplémentaires et donc l'impact du risque de non vente sur le coût total de production a également été pris en compte. L'originalité de notre travail réside dans l'introduction d'une modélisation probabiliste de l'estimation des ventes. La modélisation probabiliste de l'estimation des ventes dans notre système d'aide à la décision apporte un complément important pour mieux guider les entreprises. Cette nouvelle approche a été appliquée dans plusieurs PME du pôle soulignant le fait qu'orienter les entreprises de décolletage vers une seule stratégie pour l'ensemble de leur production, production à flux tiré ou production à flux poussé, est complexe, voire inadapté.

En conclusion, en accord avec notre hypothèse principale, l'ensemble de ces résultats confirme la nécessité d'adaptations et d'ajustements de la démarche Lean aux spécificités locales des entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries. Ces ajustements nous permettent de contribuer au développement d'un système de production Lean adapté à ces entreprises.

## **2. Système Lean adapté et hybridation**

Pour améliorer leur performance, les entreprises du pôle de compétitivité se sont naturellement orientées vers l'approche Lean qui semblait être une solution idéale. Or, généralement, la supériorité d'un modèle de production est relative au contexte dans lequel il agit. Les modèles productifs sont tout autant façonnés par l'environnement économique et social qui déterminent son évolution (Freyssenet et al., 2000).

Jusqu'à présent, le transfert de la démarche Lean vers les entreprises du pôle de compétitivité était réalisé par simple imitation. Cette stratégie de pure imitation a conduit à des difficultés d'application de certaines pratiques Lean, se traduisant par le faible niveau de maturité de celles relatives aux méthodes de résolution de problèmes, aux flux tirés et à la VSM. Notre travail de thèse a cherché quelles adaptations et ajustements étaient nécessaires à l'application de la démarche Lean au sein des entreprises du pôle de compétitivité. En effet, la diffusion d'un modèle totalement cohérent et invariant (en termes de principes et de routines) est l'exception, puisqu'il est exceptionnel que deux pays ou espaces régionaux possèdent les mêmes institutions économiques et sociales. Le cas général est celui de l'adaptation au contexte local, c'est-à-dire la poursuite d'un même principe productif mais selon des routines différentes (Boyer et al., 1998).

Les adaptations et ajustements que nous avons proposés contribuent au développement d'un système productif adapté dans lequel intervient la notion d'hybridation, définie comme intermédiaire entre simple imitation et innovation radicale (Boyer et al., 1998). Dans ce contexte, l'hybridation doit être pensée comme un processus de transformation, dynamique, ayant pour objectif l'amélioration des performances initiales et la réponse aux évolutions économiques et sociales propres au nouvel espace que composent les entreprises du pôle de compétitivité.

Ainsi le système de production Lean adapté est constitué des principes et outils Lean pouvant être additionnés ou soustraits, sans affecter la logique de la démarche Lean.

Ce système productif adapté repose sur le déploiement de la démarche Lean en cinq niveaux, sur l'application de l'ensemble des pratiques Lean de manière standard excepté pour celle relative aux flux tirés, sur l'introduction des principes européens, et sur la prise en compte des ressources critiques.

La diffusion du principe du juste à temps aux entreprises du pôle de compétitivité est limitée. Notons, qu'Ohno lui-même, le père fondateur du juste à temps, émettait des doutes concernant la possible diffusion de ce principe aux entreprises évoluant dans un environnement différent de celui du Japon (Ohno, 1988). Ainsi, nous avons proposé un amendement de ce principe en préconisant la flexibilité de son application. Dans ce cas, cette adaptation fait intervenir la notion d'hybridation dite partielle (Boyer et al., 1998). L'orientation de la production vers une stratégie de production en flux tiré ou en flux poussé est guidée par le calcul de la quantité optimale à produire. Le développement de cette méthode et son intégration comme outil supplémentaire dans la démarche Lean représente une réelle approche innovante dans l'application du Lean.

De la même façon, afin de faciliter la difficulté de diffusion du principe VSM, nous avons proposé une nouvelle démarche inédite de hiérarchisation des ressources dont nous préconisons l'application en complémentarité de l'outil VSM.

Bien qu'un des facteurs clefs reconnu de réussite de la démarche Lean repose sur l'engagement de la direction et du personnel, nous avons observé (1) un faible niveau d'engagement de la direction au niveau du profil Lean des entreprises du pôle de compétitivité, (2) un faible niveau d'application de l'outil VSM qui pourrait être rectifié en partie au travers d'une plus forte sollicitation de l'ensemble du personnel et (3) un faible niveau de maturité des méthodes de résolution de problèmes qui, pour être amélioré, nécessite également une sollicitation du personnel et de la direction plus importante. Les PME du pôle de compétitivité sont pour la plupart des entreprises familiales dans lesquelles les relations salariales ont une place prépondérante dans l'organisation de l'entreprise.

Par ailleurs, il est intéressant de mettre en parallèle ce résultat avec les récents événements survenus au sein de l'entreprise Toyota. L'entreprise a été contrainte de rappeler massivement plusieurs modèles phares de voitures en raison de

dysfonctionnements multiples. Courant février 2010, plus de 8,5 millions de véhicules ont par exemple été rappelés pour un problème de pédale d'accélérateur défectueux et de rupture du système. Une récente étude fait l'hypothèse que les défaillances du système qualité de l'entreprise seraient le résultat d'une croissance trop rapide conduisant à des erreurs stratégiques majeures telles qu'une diminution drastique de l'utilisation de l'intelligence humaine et de formation du personnel (Dibia et Onuh, 2010). L'entreprise Toyota, à l'origine du système Lean, s'est elle-même éloignée d'un de ses principes de base : l'homme au cœur du système de production (Ohno, 1988; Liker, 2004).

Dans ce contexte, comment améliorer la mise en mouvement de la direction et du personnel dans les actions de progrès ? Un élément clef de notre système Lean adapté repose sur l'optimisation de cette mise en mouvement via l'introduction des principes de la culture européenne. La prise en compte de ces principes favoriserait la réactivité du personnel et de la direction face aux dysfonctionnements.

Finalement, se pose la question de la généralisation de ces innovations à d'autres secteurs géographiques ou domaines d'activité.

L'utilisation des nouveaux outils développés au cours de ce travail de thèse (ie. calcul de quantité optimale à produire, hiérarchisation des ressources critiques et introduction des principes de la culture européenne) nous semble généralisable à toute entreprise européenne.

En effet, d'une part, les données nécessaires pour le calcul de la quantité optimale à produire (contraintes économiques, contraintes de moyens matériels et opportunités de ventes) sont accessibles à tout type d'entreprise. Dans d'autres environnements économiques et secteurs d'activités, des spécificités similaires (temps de changement de série élevés, opportunités de vente et commandes en urgence) pourraient également conduire à une production supplémentaire à la demande réelle du client. D'autre part, les critères de hiérarchisation des ressources critiques peuvent être modifiés en fonction des cas étudiés. Enfin, les principes européens insérés dans une démarche de progrès sont ceux régissant le fonctionnement général de nos sociétés européennes.

## Chapitre 5. Conclusion et perspectives de recherche

---

Enfin, notre travail de thèse a été réalisé auprès d'entreprises appartenant à un pôle de compétitivité. A l'heure actuelle, la constitution de ces pôles (à l'échelle nationale ou régionale) est encouragée par l'état français et a pour but de favoriser le développement de synergie et de coopérations entre différents acteurs sur un territoire donné afin d'améliorer la croissance économique. Ce type d'environnement combinant entreprises, organismes de recherche et établissements de formation, est particulièrement favorable à la promotion d'innovations au sein des entreprises.

### **3. Conclusion et perspectives de recherche**

Notre travail a, tout d'abord, permis d'approfondir la connaissance théorique du Lean afin de mieux appréhender cette démarche. L'ensemble de nos travaux nous a permis de valider l'hypothèse selon laquelle l'application du système Lean dans les PME du pôle de compétitivité Arve Industries Haute-Savoie Mont-Blanc nécessite une adaptation de certains de ses concepts phares. Pour améliorer la performance industrielle de ces entreprises nous avons proposé plusieurs méthodes innovantes contribuant au développement d'un système industriel Lean adapté aux spécificités locales de ces entreprises. Nous préconisons une utilisation de ces nouvelles méthodes en complément des principes et outils du système Lean.

Au-delà de l'application de ces ajustements, les futurs travaux pourront se focaliser sur les thématiques suivantes : évaluation de l'impact de la démarche Lean sur la performance socio-économique, optimisation de l'utilisation des démarches de résolution de problèmes, amélioration de la sollicitation des hommes et pérennisation de la démarche Lean.

Au cours du deuxième chapitre, nous avons proposé une méthode d'évaluation de l'application de la démarche Lean au sein des entreprises, permettant d'apprécier leur niveau de maturité Lean. Il serait ensuite intéressant d'estimer l'impact socio-économique des pratiques Lean sur la performance. En effet, à l'heure actuelle, aucune étude n'a utilisé les travaux issus du management socio-économique pour évaluer l'impact des pratiques Lean. La connaissance de l'impact socio-économique des pratiques Lean pourrait être une source de motivation pour la direction et le personnel, contribuant ainsi à accroître leur engagement dans la démarche Lean. Le management socio-économique intègre étroitement la dimension sociale de l'entreprise et sa performance économique (Savall et Zardet, 2007). Ainsi la méthode socio-économique d'analyse des coûts et performance cachés pourrait être utilisée. Cette méthode repose sur 5 indicateurs socio-économiques considérés comme des familles de dysfonctionnement : l'absentéisme, l'accident du travail, la rotation du personnel, la non qualité et les écarts de productivité directe (Savall et Zardet, 2007).

D'autre part, une difficulté importante rencontrée par les entreprises est l'utilisation adéquate des différents outils Lean, notamment ceux de la résolution de problèmes (6 sigma, 8D, PDCA, 5 pourquoi, diagramme Ishikawa, 5S, logique est/n'est pas, rapport A3, QRQC, etc) en réponse aux dysfonctionnements identifiés. Comme montré dans ce travail de thèse, l'introduction des principes européens de proportionnalité, de suppléance et de subsidiarité peuvent aider à identifier le passage d'une démarche locale de résolution de problèmes à un niveau hiérarchique supérieur plus structuré.

La suite logique de ce travail consisterait à étendre cette initiative de recherche à l'ensemble des outils Lean pour identifier de manière systématique le niveau adapté d'utilisation de ces outils, ainsi que les compétences requises et les employés devant participer. En effet, Pavnascar et ses collaborateurs ont montré l'existence de plus d'une centaine d'outils Lean dont les liens avec l'organisation de l'entreprise et les problèmes rencontrés ne sont pas clairement définis (Pavnascar et al., 2003). Des éléments de réponses aux problématiques suivantes devraient tout d'abord être apportés :

- Comment sélectionner les outils appropriés pour améliorer la performance ?
- Comment tous ces outils interagissent entre eux ? Y a-t-il une cohérence entre ces outils ?

L'optimisation de l'utilisation des outils Lean au travers notamment de l'intégration des principes de proportionnalité, subsidiarité et suppléance permettrait d'améliorer l'application de la démarche Lean dans les entreprises.

Par ailleurs, nous avons souligné au cours de nos travaux de thèse l'importance du facteur humain et de la sollicitation des hommes dans l'application du Lean. Or la démarche Lean est certainement trop perçue comme un système technique alors qu'elle devrait être appréhendée comme un système intégré socio-technique (Paez et al., 2004). Les récents échecs de Toyota en sont un exemple. Comment les hommes interagissent dans une démarche de progrès ? Comment obtenir cette sollicitation et comment la réussir ? Ces pistes de réflexion pourraient être traitées d'un point de vue managérial. Cette thématique fait l'objet d'un des axes

de recherche actuel au sein du pôle de compétitivité Arve Industries. En effet, les pratiques de mobilisation des ressources humaines, dont par exemple les pratiques de formation et développement des compétences, celles de récompenses et d'incitations, pourraient favoriser l'adoption du Lean au sein des entreprises (Dubouloz, 2010).

Finalement, un autre axe de recherche à développer dans le futur concerne la pérennisation des actions Lean. En effet, nous avons souligné à plusieurs reprises le fait que des problèmes de pérennisation pourraient être à l'origine des échecs de la réussite du Lean. La pérennisation de l'application de la démarche Lean et de ses actions repose essentiellement sur l'engagement de la direction et du personnel. Comment conserver la motivation du personnel dans les actions de progrès ? Après la phase « d'excitation » de la mise en place de la démarche Lean et de l'obtention des premiers résultats, la dynamique d'amélioration conduite par le personnel peut s'essouffler. Il est important de rechercher des solutions adaptées pour garantir une dynamique de progrès du personnel au sein de l'entreprise. Une nouvelle fois, l'intégration de pratiques de mobilisation des ressources humaines pourraient être une des clefs.

## **REFERENCES**

= A =

Abdulmalek F.A., Rajgopal J. (2007) Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*; 107(1):223-236.

Achanga P., Shehab E., Roy R., Nelder G. (2006) Critical success factors for lean implementation within SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*; 17(4):460-471.

Åhlström P. (1998) Sequences in the Implementation of Lean Production. *European Management Journal*; 16(3):327-334.

Alarçon L.F., Diethelm S., Rojo O., Calderón R. (2008) Assessing the impacts of implementing lean construction. *Revista Ingeniería de Construcción*; 23(1):26-33.

Arbos C.L. (2002) Design of a rapid response and high efficiency service by lean production principles: Methodology and evaluation of variability of performance. *International Journal of Production Economics*; 80(2):169-183.

= B =

Babai M.Z. (2008) Politique de pilotage de flux dans les chaînes logistiques : impact de l'utilisation des prévisions sur la gestion des stocks. Thèse de doctorat, Ecole centrale Paris.

Baglin G., Capraro M. (1999) L'Entreprise Lean Production ou la PME compétitive par l'action collective. Presses Universitaires de Lyon.

Ball M.O., Chen C.Y., Zhao Z.-Y. (2004) Available to Promise. In D. Simchi-Levi, S. David Wu, and M. Shen (eds), *Handbook of Quantitative Supply Chain Analysis - Modeling in the e-Business Era*. Kluwer Academic Publishers, Boston.

## Références

---

Ballé M. (2004) Jidoka, le deuxième pilier du Lean. Projet Lean Entreprise, working paper n°2.

Barkema H.G., Bell J.H.J., Pennings J.H. (1996) Foreign entry, cultural barriers, and learning. *Strategic Management Journal* 17:151-166.

Bicheno J.R. (1989) Cause and Effect of JIT: A Pocket Guide. PICSIE Books, Buckingham.

Blashfield R.K., Aldenderfer M.S. (1988) The methods and problems of cluster analysis. Dans *Handbook of Multivariate Experimental Psychology* (pp. 447-474), Nesselroade J.R. et Cattell R.B. Editors, Plenum Press, New York.

Bocquet R., Mothe C. (2009) Gouvernance et performance des pôles de PME. *Revue française de gestion*; 35(190):101-122.

Bouyssou D. (2001) *Aiding Decisions with Multiple Criteria Essays in Honor of Bernard Roy*. Kluwer Academic Publishers, Boston.

Boyer R. (1986) *La flexibilité du travail en Europe*. La découverte, Paris.

Boyer R., Charron E., Jürgens U., Tolliday S. (1998) *Between Imitation and Innovation: The Transfer and Hybridization of Productive Models in the International Automobile Industry*. Oxford University Press, Oxford.

Bruun P., Mefford R.N. (2004) Lean production and the Internet. *International Journal of Production Economics*; 89(3):247-260.

Buisine S., Martin J.C. (2006). L'étude de Corpus par Analyse en Composantes Principales. Second Workshop sur les Agents Conversationnels Animés (WACA)

= C =

Cagliano R., Caniato F., Spina G. (2004) Lean, Agile and traditional supply: how do they impact manufacturing performance? *Journal of Purchasing & Supply Management*; 10:151-164.

Cai K. (1996) System failure engineering and fuzzy methodology, an introductory overview. *Fuzzy Sets and Systems*; 127(2):199-208.

Carillon J.P. (1986) Le "juste à temps" dans la gestion des flux industriels. Les Editions d'Organisation, Paris.

Carillon J.P. et Colin P. (1990) Le juste-à-temps pour l'Europe : flexibilité, différenciation. Les Editions d'Organisations, Paris.

Chan J.S., Samson D.A., Sohal A.S. (1990) An integrative model of Japanese manufacturing techniques. *International Journal of Operations and Production Management*; 10(9):37-56.

Chase R.B., (1980) A classification and evaluation of research in operations management. *Journal Operations Management*; 1(1):9-14

Chelbi A., Ait-Kadi D. (2002) Classifying equipment with respect to their importance for maintenance: a multicriteria approach. *Journal of decision systems*; 11(1):99-108.

Conti R., Angelis J., Cooper C., Faragher B., Gill C., (2006) The effects of lean production on worker job stress. *International Journal of Operations & Production Management*; 26(9):1013-1038.

Coriat B. (1979) L'atelier et le chronomètre. Christian Bourgois éditeur, Paris.

## Références

---

Courtois A., Pillet M., Martin-Bonnefous C. (2007) Gestion de production. Editions d'organisation, 4ème édition, Paris.

Crute V., Ward Y., Brown S., Graves A. (2003) Implementing Lean in aerospace-challenging the assumptions and understanding the challenges. *Technovation*; 23:917-928.

Cua K.O., McKone K.E., Schroeder R.G. (2001) Relationships between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance. *Journal of Operations Management*; 19(6):675-694.

Cusumano M.A. (1994) The limits of Lean. *MIT Sloan Management Review*; 35(4):27-32.

Cusumano M. A., Nobeoka K. (1998) *Thinking Beyond Lean*, The Free Press, New York.

= D =

Daft R.L. (1992) *Organization theory and design*. West Publishing Company, 4<sup>ème</sup> édition, Saint Paul.

Dean J.W., Bowen D.E. (1994) Management theory and total quality: improving research and practice through theory development. *The Academy of Management Review*; 19(3):392-418.

Dedoussis V. (1995) Simply a question of cultural barriers? The search for new perspectives in the transfer of Japanese management practices. *Journal of Management Studies*; 32(6):731-45.

Demeter K., Matyusz Z. (2010) The impact of lean practices on inventory turnover. *International Journal of Production Economics*; In Press, Corrected Proof.

## Références

---

Denimal D. (2010) Déploiement du tolérancement inertiel dans la relation client fournisseur. Thèse de doctorat, Université de Savoie.

Derringer G., Suich R. (1980) Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *Journal of Quality Technology*; 12(4):214-219.

De Treville S., Antonakis J. (2006) Could lean production job design be intrinsically motivating? Contextual configurational, and levels-of-analysis issues. *Journal of Operations Management*; 24(2):99-123.

De Vasconcellos J.A., Hambrick D.C. (1989) Key Success Factors: Test of a General Theory in the Mature Industrial Product-Service. *Strategic Management Journal*; 10(4):367-382.

Dibia I.K., Onuh S. (2010) Lean revolution and the human resource aspects. World Congress on Engineering, Londres, Angleterre.

Dickson E.W., Singh S., Cheung D.S., Wyatt C.C., Nugent A.S. (2009) Application of lean manufacturing techniques in the Emergency Department. *The Journal of Emergency Medicine*; 37(2):177-82.

Diallo C. (2006) Développement d'un modèle de gestion des pièces de rechange. Thèse de doctorat, Université Laval Québec.

Doolen T.L., Hacker M.E. (2005) A Review of Lean Assessment in Organizations: An Exploratory Study of Lean Practices by Electronics Manufacturers. *Journal of manufacturing systems*; 24(1):55-67.

Dosi G., Teece D.J., Winter S.G. (1992) Toward a theory of corporate coherence. In G. Dosi, R. Giametti and P.A. Tonelli *Technology and the enterprise in a historical perspective*. Oxford University Press, New York.

## Références

---

Drew J., McCallum B., Roggenhofer S. (2004) *Journey to Lean: Making Operational Change Stick*. Palgrave MacMillan, New York.

Dubouloz S. (2010) L'effet des pratiques de mobilisation sur l'adoption d'une innovation organisationnelle. Le cas du Lean. 21ème congrès de l'Association francophone de Gestion des Ressources Humaines, Rennes/Saint Malo, France.

= E =

Erlenkotter D. (1989) An early classic misplaced: Ford W. Harris's economic order quantity model of 1915. *Management Science*; 35(7):898-900.

Eti M.C., Ogaji S.O.T., Probert S.D. (2006) Reducing the cost of Preventive Maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture. *Applied energy*; 83(11):1235-1248.

= F =

Filippini R., Forza C., Vinelli A. (1998) Sequences of improvement in operations. *International Journal of Operations and Production Management*; 18(2):195-207.

Finch B.J., Cox J.F. (1986) An examination of just-in-time management for the small manufacturer with an illustration. *International Journal of Production Research*; 24(2):329-342.

Flynn B.B., Schroeder R.G., Flynn E.J. (1999) World class manufacturing: an investigation of Hayes and Wheelwright's Foundation. *Journal of Operations Management*; 17(2):249-269.

Ford H. (1926) Mass Production. *Encyclopedia Britannica*, 13<sup>ème</sup> édition; 2:821-823.

Freyssenet M., Mair A., Shimizu K., Volpato J. (2000) Quel modèle productif? Trajectoires et modèles industriels des constructeurs automobiles mondiaux. La Découverte, Paris.

## Références

---

Friedmann G. (1936) Problèmes humains du machinisme industriel. Gallimard, Paris.

= G =

Gauthey F., Xardel D. (1991) Management interculturel, modes et modèles. Economica, Paris.

Giard V., Mendy G. (2007) De l'approvisionnement synchrone à la production synchrone dans la chaîne logistique. *Revue Française de Gestion*; 33(171):65-88.

Giard V., Mendy G. (2006) Amélioration de la synchronisation de la production sur une chaîne logistique. *Revue française de Génie Industrielle*; 25(1):63-82.

Goldratt E., Cox J. (2006) Le but, un processus de progrès permanent. *AFNOR*, 3<sup>ème</sup> édition, Paris.

Grant R.M. (1991) The Resource Based Theory of Competitive Advantage: Implications for Strategy Formulation. *California Management Review* (Spring); 33:114-135.

Guizzi L. (2005) Configuration stratégique des PME de sous-traitance traditionnelle : Proposition d'une méthode d'aide à la configuration stratégique appliquée aux entreprises de sous-traitance mécanique de la Vallée de l'Arve. Thèse de Doctorat, Université de Savoie.

= H =

Hammer M., Champy J. (1993) Le reengineering, réinventer l'entreprise pour une amélioration spectaculaire de ses performances. Editions Dunod, Paris.

Harry N., Schroeder R. (2000) Six Sigma. The breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations. Editions Currency Doubleday, Londres.

## Références

---

Hax A.C., Majluf N.S. (1984) *Strategic Management: An Integrative Perspective*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.

Hay E.J. (1988) *The Just-in-Time Breakthrough: Implementing the New Manufacturing Basics*. John Wiley & Sons, New York.

Herron C., Braiden P.M. (2006) A methodology for developing sustainable quantifiable productivity improvement in manufacturing companies. *International Journal Production Economics*; 104(1):143-153.

Herron C., Hicks. C. (2008) The transfer of selected lean manufacturing techniques from Japanese automotive manufacturing into general manufacturing (UK) through change agents. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*; 24(4):524-531.

Herrou B., Elghorba M. (2007) Démarche d'Optimisation du plan d'action maintenance, étude de cas d'une PME marocaine. *Congrès Conception et Production Intégrée*, Rabat, Maroc.

Hicks B.J. (2007) Lean information management: Understanding and eliminating waste. *International Journal of Information Management*; 27(4):233-249.

Hirano H. (1995) *5 pillars of the visual workplace: the sourcebook for 5S implementation*. Productivity Press, Portland.

Holweg M. (2007) The genealogy of Lean production. *Journal of Operations Management*; 25(2):420-437.

Houy T. (2008) *Articulation entre pratiques managériales et systèmes d'information: construction d'un idéal type de modélisation*. Thèse de doctorat, Télécom ParisTech.

## Références

---

= I =

Imai M. (1997) Gemba Kaizen: A Commonsense, Low-Cost Approach to Management. McGraw-Hill, 1<sup>ère</sup> édition, New York.

= J =

James-Moore S.M., Gibbons A. (1997) Is Lean manufacture universally relevant? An investigative methodology. *International Journal of Operations & Production Management*; 17(9):899-911.

Jamali M. A., Ait-Kadi D., and Artiba A. (2000) Aid tools in implementation of maintenance management system. *Congrès Conception et Production Intégrée*, Maroc.

Javel G. (2003) *Pratique de la gestion industrielle: organisation, méthodes et outils*. Dunod, Paris.

= K =

Kilpatrick J. (2003) *Lean principles*. Utah manufacturing Extension Partnership, Utah.

Kochan A., Lanvury A.D. Macduffie J.P. (1998) *After Lean Production: Evolving Employment Practices in the World Auto Industry*. ILR Press books.

Kochan A. (1998) The Automotive industry looks for lean production. *Assembly Automation*; 18(2):132-137.

Kos A.J., Psenicka C. (2000) Measuring cluster similarity across methods. *Psychological Reports*; 86:858-862.

## Références

---

Koskela L. (2004) Moving on - beyond Lean thinking. *Lean Construction Journal*; 1(1)24-37.

Koufteros X.A., Vonderembse M.A., Doll W.J. (1998) Developing measures of time based manufacturing. *Journal of Operations Management*; 16(1):21-41.

Krafcik J.F. (1988) Triumph of the lean production system. *Sloan Management Review*; 30 (1):41-52.

= L =

Landsbergis P.A., Schnall P., Cahill J. (1999) The impact of Lean production and related nex system of work organisation on worker helth. *Journal of Occupational Health Psychology* 4(2):108-130.

Lavina Y. (1992) *Audit Maintenance*. Editions d'organisation, Paris.

Lee S.M., Ebrahimpour M. (1984) Just-in-time production system: some requirements for implementation. *International Journal of Operations and Production Management*; 4(4):3-15.

Lerat-Pytlak J. (2002) *Le passage d'une certification ISO 9001 à un management par la qualité totale*. Thèse de doctorat, Université des Sciences Sociales-Toulouse I.

Liker J.K. (2004) *The Toyota Way: 14 Management Principles from the Wold' greatest Manufacturers*. McGraw-Hill, New York.

Lillrank P. (1995) The transfer of management innovations from Japan. *Organization Studies*; 16(6):971-89.

Lyonnet B., Pillet M., Pralus M., Guizzi L., Habchi G. (2008) A method to identify Critical Resources: illustration by an industrial case. *International Conference on Business Sustainability*, Ofir, Portugal.

## Références

---

Lyonnet B., Pillet M., Pralus M. (2009a) Optimisation de la taille de la série, illustration par un cas industriel. 8<sup>th</sup> International Congress of Industrial Engineering, Tarbes, France.

Lyonnet B., Pillet M., Pralus M. (2009b) A method to identify Resources of opportunity: illustration by an industrial case. International Conference on Industrial Risk Engineering, Reims, France.

Lyonnet B., Pillet M., Pralus M. (2010a) Lean manufacturing in the screw cutting sector: assessment of maturity level. International Journal of Rapid Manufacturing, special issue on Lean manufacturing; 1(3):256-277

Lyonnet B., Pralus M., Pillet M. (2010b) Critical analysis of a flow optimisation methodology by Value Stream Mapping. International Conference on Advances in Production Management Systems, Como, Italie.

Lyonnet B., Pillet M., Pralus M. (2010c) An approach to identify critical resources: an industrial case study. International Journal on Industrial Risks Engineering; 3(1):66-80.

Lyonnet B., Pralus M., Pillet M. (2010d) A Push-Pull Manufacturing Strategy: Analytical Model in the Screw Cutting Sector. World Congress on Engineering, Londres, Angleterre.

= M =

Maire J.L., Bronet V., Pillet M. (2005) A Typology of best practices for processes improvement. Benchmarking : An International Journal (BIJ); 12(1):45-60.

Marris P. (2005) Le Management par les Contraintes. Editions d'Organisation, Paris.

McAdam R., Kelly M. (2002) A business excellence approach to generic benchmarking in SMEs. Benchmarking: An International Journal; 9(1):7-27.

Melton T. (2005) The benefits of Lean manufacturing, What Lean Thinking has to Offer the Process Industries. *Chemical Engineering Research and Design*; 83(A6):662-673.

Molet H. (2006) *Systèmes de production et de logistique*. Hermes Science Publications, Paris.

Monden Y. (1981) What makes the Toyota production system really tick? *Industrial Engineering*; 13(1):13-16.

Morey L.C., Blashfield R.K., Skinner H.A. (1983) A comparison of cluster analysis techniques within a sequential validation framework. *Multivariate Behavioral Research*; 18(3):309-329.

= N =

Nanda A. (1993) *Resources, capabilities and competencies*. Harvard Business School; Working Paper.

Niepce W., Molleman E. (1998) Work design issues in lean production from a sociotechnical systems perspective neo-Taylorism or the next step in sociotechnical design. *Human Relations*; 51:259-287.

= O =

Ohno T. (1988) *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press, Portland.

Orr C. (2005) *Lean leadership in construction*. Proceedings of the 13<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Sydney.

## Références

---

= P =

Paez O., Dewees J., Genaidy A., Tuncel S., Karwowski W., Zurada J. (2004) The Lean Manufacturing Enterprise: An Emerging Sociotechnological System Integration. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*; 14(3):285-306.

Pavnascar S.J., Gershenson J.K., Jambekar A.B. (2003) Classification scheme for lean manufacturing tools. *International Journal of Production Research*; 41(13): 3075-3090.

Pegels C.C. (1984) The Toyota production system: lessons for American management. *International Journal of Operations and Production Management*; 4(1):3-11.

Pillet M. (2003) *Six Sigma comment l'appliquer*. Editions d'organisation, Paris.

Pillet M., Lyonnet B., Mignon E., Boillon R. (2008) Retour d'expérience sur une démarche d'amélioration continue intégrant les principes culturels européens. *Revue Française de Gestion Industrielle*; 17(4):7-27.

Piper C.J., McLachlin R.D. (1990) Just-in-time production: eleven achievable dimensions. *Operations Management Review*; 7(3/4):1-8.

Porter M.E. (1980) *Competitive Strategy*. The Free Press, New York.

Prahalad C.K., Hamel G. (1994) Strategy as a Field of Study: Why Search for a New Paradigm? *Strategic Management Journal*; 15:5-16.

= R =

Rangone A. (1999) A Resource-Based Approach to Strategy Analysis in Small-Medium Sized Enterprises. *Small Business Economics*; 12(3):233-248.

## Références

---

Rapkin B.D., Luke D. (1993) A Cluster analysis in community research: Epistemology and practice. *American Journal of Community Research*; 21(2):247-277.

Ray B., Ripley P., Neal D. (2006) Lean manufacturing - a systematic approach to improving productivity in the precast concrete Industry. *PCI Journal*; 51(1):62-71.

Real R., Pralus M., Pillet M., Guizzi L. (2010) Une première étape vers le Lean dans les entreprises de sous-traitance mécanique, Retour sur 7 ans de pratique. *Revue Française de Gestion Industrielle*; 29(1): 29-35.

Reeves C.A., Bednar D.A. (1994) Defining quality: alternatives and implications. *The Academy of Management Review*; 19(3):419-445.

Richey D. (1996) The Shingo Prize for excellence in manufacturing. *Journal for Quality and Participation*; 19(4):28-31.

Ritzman L., Krajewski L., Mitchell J., Townley C. (2004) *Management des opérations - principes et applications*. Pearson Education France, Paris.

Rivera L., Chen F. (2007) Measuring the impact of Lean tools on the cost-time investment of a product using cost-time profiles. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*; 23(6):684-689.

Roos L.U. (1990) *Japanisation in Production Systems: Some Case Studies of Total Quality Management in British Manufacturing Industry*. Handelshogskolan vid Goteborgs Universitet, Goteborg.

Rother M., Shook J. (2009) *Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*. Lean Enterprise Institute, Cambridge.

= S =

Saaty T.L. (1996) *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. RWS Publication, Pittsburgh.

Sakakibara S., Flynn B.B., Schroeder R.G., Morris W.T. (1997) The impact of just-in-time manufacturing and its infrastructure on manufacturing performance. *Management Science*; 43 (9):1246-1257.

Saurin T.A., Ferreira C.F. (2009) The impacts of lean production on working conditions: A case study of a harvester assembly line in Brazil. *International Journal of Industrial Ergonomics*; 39(2):403-412.

Savall H., Zardet V. (2007) *Maîtriser les coûts et les performances cachés*. Economica, 4<sup>ème</sup> édition, Paris.

Scheibler D., Schneider W. (1985) Monte Carlo tests of the accuracy of cluster analysis algorithms. *Multivariate Behavioral Research*; 20(3):283-304.

Scherrer-Rathje M., Boyle T.A., Deflorin P. (2009) Lean, take two! Reflections from the second attempt at lean implementation. *Business Horizons*; 52(1):79-88.

Schneider S., Barsoux J. (2003) *Management interculturel*. Pearson Education France, Paris.

Schonberger R.J. (1982) *Japanese Manufacturing Techniques: Nine Hidden Lessons in Simplicity*. Free Press, New York.

Seo K., Ahn B.J. (2006) A learning algorithm based estimation method for maintenance cost of product concepts. *Computers and Industrial Engineering*; 50(1): 66-75.

## Références

---

Shah R., Ward P.T. (2003) Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*; 21(2):129-149.

Shah R., Ward P.T. (2007) Defining and developing measures of Lean production. *Journal of Operations Management*; 25(4):785-805.

Shiba S. (1995) *Le Management par Percée, méthode Hoshin*. INSEP Editions, Paris.

Shimizu K. (1999) *Le Toyotisme. La Découverte*, Paris.

Shingo S. (1983) *Maîtrise de la production et méthode Kanban, le cas Toyota*. Les éditions d'organisation, Paris.

Shingo S. (1985) *A revolution in manufacturing: the SMED system*. Productivity Press, Portland.

Siala M., Campagne J.P., Ghedira K. (2006) Proposition d'une nouvelle approche pour la gestion du disponible dans les chaînes logistiques. MOSIM'06, Rabat, Maroc.

Siebenborn T. (2005) *Une approche de formalisation du processus de changement dans l'entreprise*. Thèse de doctorat, Université de Savoie.

Silver E.A., Meal H.A. (1973) A heuristic for selecting lot size requirements for the case of a deterministic time varying demand rate with discrete opportunities for replenishment. *Production and Inventory Management Journal*; 14(2):64-74.

Sugimori Y., Kusunoki K., Cho F., Uchikawa S. (1977) Toyota Production System and kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*; 15(6):553-564.

Suri R., De Treville S. (1986) Getting from just-in-case to just-in-time: insights

## Références

---

from a simple model. *Journal of Operations Management*, 6(3-4):295-304.

Suzaki K. (1985) Japanese manufacturing techniques: their importance to US manufacturers. *Journal of Business Strategy*; 5(3):10-19.

= T =

Taylor F. W. (1957) *La direction scientifique du travail*, Dunod, Paris. University Press, 1998.

Trist E. (1981) *The evolution of socio-technical systems; a conceptual framework and action research program*. Ontario Quality of working Life Centre, Toronto.

= V =

Vachon M., Beaulieu-Prévost D., Ouellette A., Achille M. (2005) Analyse de classification hiérarchique et qualité de vie. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*; 1(1):25-30.

Vaghefi M.R., Woods L.A., Huellmantel A. (2000) Toyota Story 2: Still Winning the Productivity Game. *Business Strategy Review*; 11(1):59-70.

Voss C.A., Robinson S.J. (1987) Application of just-in-time manufacturing techniques in the United Kingdom. *International Journal of Operations and Production Management*; 7(4):46-52.

= W =

Wagner H.M., Whitin T.M. (1958) Dynamic Version of the Economic Lot Size Model. *Management Science*; 5(1):89-96.

Wantuck K.A. (1983) *The Japanese approach to productivity*. Bendix Corporation, Southfield.

## Références

---

White R.E. (1993) An empirical assessment of JIT in US manufacturers. *Production and Inventory Management Journal*; 34(2):38-42.

White R.E., Pearson J.N., Wilson J.R. (1999) JIT Manufacturing: a survey of implementation in small and large US manufacturers. *Management Science*; 45(1):1-15.

Womack J., Jones D., Roos D. (1990) *The Machine that changed the World*. Rawson Associates, New York.

Womack J., Jones D. (2005) *System Lean : Penser l'entreprise au plus juste*. Village mondial, 2<sup>ème</sup> édition, Paris.

= X =

Xu L., Yang J.B. (2001) Introduction to Multi-Criteria Decision Making and the Evidential Reasoning Approach. *MSM Working Paper*; 1(6):1-21.

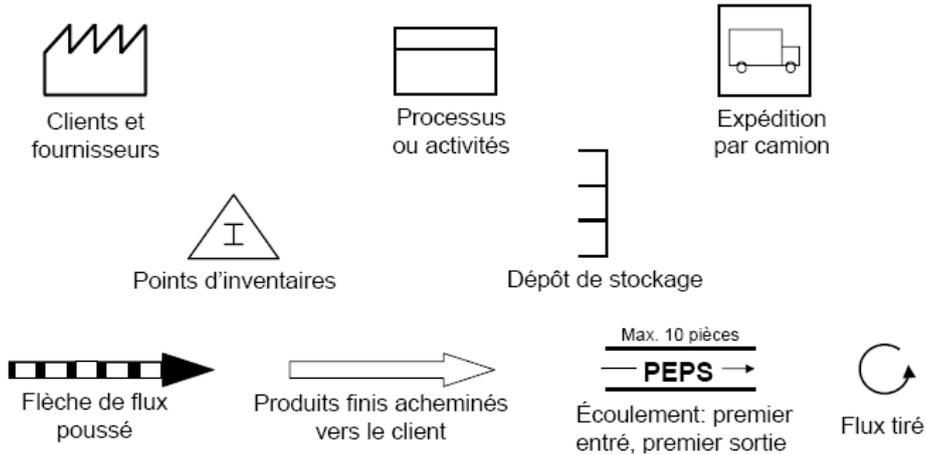
= Z =

Zhao Z.Y., Ball M.O., Kotake M. (2005) Optimization- Based Available-To Promise with Multi-Stage Resource Availability. *Annals of Operations Research*; 135(1):65-85.

# **ANNEXES**

## Annexe 1 : symboles utilisés pour la cartographie de chaîne de valeur

### Icônes de flux de matière



### Icônes générales



### Icônes de flux d'information

