

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE EN
GÉNIE DE LA PRODUCTION AUTOMATISÉE
M. Ing.

PAR
Colas IPCAR

DÉVELOPPEMENT D'UNE MÉTHODOLOGIE D'AMÉLIORATION DE LA
PRODUCTION DE MASSE PERSONNALISÉE ET APPLICATION À UNE PME

MONTREAL, LE 28 FÉVRIER 2011

©Tous droits réservés, Colas Ipcar, 2011

PRÉSENTATION DU JURY
CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ
PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Roland Maranzana, directeur de mémoire
Génie de la production automatisée à l'École de technologie supérieure

M. Michel Rioux, codirecteur de mémoire
Génie de la production automatisée à l'École de technologie supérieure

M. Marc Paquet, président du jury
Génie de la production automatisée à l'École de technologie supérieure

M. Sylvain Boucher, examinateur externe
ERGO RECHERCHE

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 14 DÉCEMBRE 2010

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Monsieur Michel Rioux, qui, en tant que codirecteur de mémoire a su m'apporter son soutien et toute son expertise aussi bien théorique que pratique. L'ensemble de ce travail n'aurait pas été possible sans sa direction à chaque phase du projet.

J'adresse également mes remerciements à Monsieur Roland Maranzana, qui, en tant que codirecteur de mémoire a pu me proposer cette collaboration avec l'entreprise Ergo recherche ainsi que pour son aide tout au long de la réalisation de ce projet.

Mes remerciements vont aussi à l'ensemble du personnel de l'entreprise Ergo recherche qui a su être accueillant et qui a participé activement à l'avancée du projet. Ces remerciements sont particulièrement valables pour Messieurs Sylvain Boucher, président de l'entreprise Ergo recherche, et Guillaume Lucas, directeur de production sur le site de Montréal puis Laval.

Je remercie le conseil régional de Picardie (France) pour l'aide financière qu'il a pu me fournir et qui m'a permis de mener à bien le projet dans de bonnes conditions.

Je souhaite aussi remercier Monsieur Benoît Eynard, directeur du département Génie des Systèmes Mécaniques de l'Université de Technologie de Compiègne (France), qui m'a permis de suivre ce programme en double diplôme avec l'UTC.

Enfin, je remercie l'ensemble de mes proches, amis et famille qui m'ont soutenu surtout lors de moments difficiles et m'ont encouragés y compris à distance tout au long de la réalisation de ce mémoire.

DÉVELOPPEMENT D'UNE MÉTHODOLOGIE D'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTION DE MASSE PERSONNALISÉE ET APPLICATION À UNE PME

Colas IPCAR

RÉSUMÉ

La fabrication de produits de masse personnalisés dans une PME entraîne des besoins et des contraintes particulières qui diffèrent des cas des autres industries. Dans ce contexte, une méthodologie adaptée est nécessaire si l'on souhaite améliorer les processus. Dans un premier temps, il faut établir un diagnostic de la situation actuelle avec l'utilisation d'un indicateur pertinent. Le cadre de la petite entreprise fait en sorte que les problèmes sont connus de par la proximité entre les membres de l'entreprise. Il faut chiffrer ces problèmes nous avons donc choisi le taux de rendement synthétique parmi d'autres indicateurs en fonction de critères qui évaluant leur pertinence dans notre type de cas.

Ensuite le projet de maîtrise compare des outils et des méthodes fréquemment utilisés pour améliorer les processus. La méthodologie développée travaille sur les actions critiques et utilise la méthode SMED (*Single Minutes Exchange of Die*) pour réduire les temps de mise en course car ils ont un impact sur le taux de rendement synthétique.

L'application au cas d'étude montre que la source principale des pertes provient des arrêts des équipements. Ces arrêts comprennent un temps important de changement de lot. Le TRS calculé sur le l'opération goulot est de 72,19 %.

Un plan d'action est développé pour améliorer la capacité de production lorsque nécessaire. Les deux (2) actions prioritaires sont 1) une modification légère du processus (externalisation d'un cycle d'usinage simple) et 2) une rationalisation de l'organisation des tâches. Le gain espéré devrait relever le TRS à 81,66 % en contrepartie d'un faible investissement. D'autres actions non prioritaires sont proposées pour améliorer la capacité de production et diminuer la non-qualité notamment. Le projet a aussi pour but de sensibiliser les membres de l'entreprise à certains outils du génie industriel tels que la méthode 5S et le SMED par exemple.

DÉVELOPPEMENT D'UNE MÉTHODOLOGIE D'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTION DE MASSE PERSONNALISÉE ET APPLICATION À UNE PME

Colas IPCAR

ABSTRACT

This project is about small industrial businesses that manufacture mass custom products. These companies have very specific needs. In this context, the aim is to improve the manufacturing process, so a methodology that fits the needs is required. In order to improve the process a reference has to be set. In such a small company, the nature of problems are known but the real impact of each problem is not quantified. That's why the Overall Equipment Effectiveness is a relevant indicator to run a diagnostic.

Then we focus on comparing frequently used tools and methods in manufacturing engineering to help to design an adapted methodology. The general idea of the methodology designed is to emphasise on critical tasks and then use mainly SMED to reduce time losses.

The calculated OEE in the particular case of study is 72,19% before any change. While calculating the OEE we proved that most of OEE losses came from time loss. Basically the computer assisted milling machines were stopped for various reasons but mainly because of setup time.

The plan is to externalize the first of the three milling phases and to reorganize the tasks. The first of the three milling phases is very simple and fast but it takes additional setup time which can be saved. After those two priority actions the OEE is supposed to go up to 81,66%. Then non priority actions are proposed in the plan. It covers non quality reduction and additional slight production capacity improvement. Finally the project helps to bring some insight of industrial engineering management tools and methods to the members of the company.

TABLE DES MATIÈRES

Page	INTRODUCTION.....	1
	CHAPITRE 1 PROBLÉMATIQUE ET CONTEXTE	3
1.1	Définition de la problématique des flux de l'entreprise.....	3
1.2	L'entreprise partenaire du projet.....	4
1.3	Flux d'informations	4
1.4	Flux de production	5
1.4.1	Pour un (1) site.....	5
1.4.2	Pour différents sites et leur mission.....	8
1.4.3	Réception, découpe et stockage de la matière première	9
1.4.4	Atelier de fraisage à commande numérique.....	10
1.4.5	Atelier de finition.....	12
1.4.6	Facturation et gestion des envois à livrer.....	13
1.5	Objectifs du projet.....	14
	CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE	16
2.1	La philosophie <i>Lean</i>	16
2.2	La personnalisation dans l'industrie	18
2.3	La théorie des contraintes et des goulots	20
	CHAPITRE 3 PROCÉSSUS AMÉLIORATIF : DÉTERMINATION DE LA MÉTHODOLOGIE ADAPTÉE	23
3.1	Le besoin d'établir un diagnostic	23
3.2	Des outils de management de production	25
3.2.1	La méthode SMED	25
3.2.2	Les 5S.....	25
3.2.3	La maintenance productive totale	26
3.2.4	La planification des besoins matières	27
3.2.5	L'analyse des stocks	28
3.2.6	Les kanbans.....	29
3.2.7	Le bilan des outils	30
3.3	Les cadres globaux.....	31
3.3.1	La philosophie <i>lean</i>	31
3.3.2	Le six sigma	32
3.3.3	Le <i>lean</i> six sigma	33
3.3.4	La méthodologie ACE (Pratt & Whitney)	33
3.3.5	La méthodologie 8D (Ford)	34
3.4	La méthodologie adaptée a notre type de cas d'étude	35
3.4.1	Description et explication des choix	35
3.4.2	Aide pratique à l'utilisation des outils d'amélioration : les capsules.....	38
	CHAPITRE 4 DIAGNOSTIC DE LA SITUATION.....	42
4.1	Taux de rendement synthétique sur les fraiseuses numériques	42

4.2 Diagrammes de Gantt et PERT	45
CHAPITRE 5 APPLICATION DES MÉTHODES D'AMÉLIORATION : PLAN D'ACTION	48
5.1 Atelier des machines à commande numérique.....	48
5.1.1 Réorganisation des tâches	48
5.1.2 Intégration du cycle de fraisage des trous en amont	50
5.1.3 Propositions portant sur les cycles d'usinage	51
5.1.4 Propositions portant sur le poste du PC Delcam.....	54
5.1.5 Réduction de la non-qualité	56
5.2 Autres ateliers	58
5.2.1 Finition : réorganisation des postes et chantier <i>lean</i>	58
5.2.2 Stockage et atelier de découpe en amont	59
5.3 Pérenniser les bonnes pratiques : les gammes de fabrication	61
CHAPITRE 6 DISCUSSION	63
6.1 Les hypothèses	63
6.2 Les résultats espérés après implantation	63
6.3 Les pistes d'amélioration futures	66
CONCLUSION.....	69
BIBLIOGRAPHIE	71
ANNEXE I DIAGRAMME GANTT DE LA FABRICATION DE 6 LOTS (AVANT MODIFICATION).....	74
ANNEXE II DIAGRAMME PERT DE LA FABRICATION DE 6 LOTS (AVANT MODIFICATION).....	77
ANNEXE III CAPSULE TRS	78
ANNEXE IV CAPSULE SMED	82
ANNEXE V CAPSULE 5S+1	85
ANNEXE VI DIAGRAMME DE GANTT DE LA FABRICATION DE 8 LOTS (APRES MODIFICATION).....	90

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1 Détail des tâches de production d'un lot de huit produits	28
Tableau 3.1 Récapitulatif des outils d'amélioration.....	28
Tableau 4.1 Causes de perte de TRS	40

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1	Description du flux de production sur un site.....6
Figure 1.2	Description du flux de production global.8
Figure 3.1	Description de la méthodologie adaptée à notre cas d'étude.....34
Figure 3.2	Définition visuelle du TRS...36
Figure 3.3	Parallèle illustré avec les arrêts aux stands...38
Figure 3.4	Un exemple de fiche de formation aux 5S.....39
Figure 4.1	Causes de perte de TRS, relatives et absolues..43
Figure 4.2	Diagramme Gantt synthétique de la fabrication de un lot de huit paires d'orthèses (avant modifications).44
Figure 5.1	Ordre d'usinage des plaques (avant modifications).50
Figure 5.2	Ordre d'usinage possible des plaques.51
Figure 5.3	Autre ordre d'usinage possible des plaques (avant et après).53

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

TRS ou TRG	Taux de Rendement Synthétique ou Taux de Rendement Global
LEAN	Méthodologie de gestion de production visant à améliorer l'efficacité
SMED	Single Minute Exchange of Die (changement d'outil rapide)
5S	Outil du LEAN en 5 étapes (en japonais : Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke)
JAT	Juste à temps

INTRODUCTION

Un des objectifs d'une entreprise est d'être rentable. Les gains générés par l'ensemble des flux (production, informations, etc) doivent couvrir tous les coûts plus une marge. Pour maximiser cette marge, il faut travailler sur ces deux (2) paramètres, les gains et les coûts dans l'ensemble des processus de l'entreprise.

Lorsque l'on travaille dans le domaine de la santé, le but est de s'adapter à la pathologie de chaque patient. Plus le produit ou le service est adapté et plus la qualité pour le patient est importante. Si le patient achète un produit médical c'est aussi un client. Ce client, si il est satisfait de la qualité du produit, il pourra à nouveau acheter des produits à l'entreprise. De plus, il donnera un avis positif à son entourage sur le produit de l'entreprise.

Dans l'industrie en général, la majorité des produits et des logiques de production classiques sont orientés pour la production en série. Le but de la production en série est de fabriquer des produits standardisés à moindre coût tout en satisfaisant le besoin d'un maximum de personnes sur le marché.

Une orthèse plantaire est un élément correctif du pied. Elle se met dans une chaussure et corrige une posture, une malformation légère, ou une autre pathologie. Si une entreprise souhaite produire ces orthèses plantaires et être rentable, elle doit s'adapter au patient-client pour répondre au mieux à son besoin. En même temps, l'entreprise médicale s'industrialise petit à petit et doit appliquer des méthodes de production industrielle à ces processus pour maximiser son profit. C'est ce que nous appellerons de la production de masse personnalisée.

La méthodologie qui va aider à améliorer les flux de production peut se transposer ou s'adapter à d'autres cas d'étude ayant des problématiques de travail semblables

Dans le cas de la fabrication industrielle d'orthèses plantaires, nous allons nous concentrer sur le processus de production.

Dans un premier temps ce rapport se concentre au Chapitre 1 sur la détermination de la problématique et du contexte. Ensuite au Chapitre 2, nous effectuerons une revue de la littérature et au Chapitre 3, nous chercherons les outils et les méthodes pertinents pour la résolution de la problématique. Enfin nous appliquerons la méthode en diagnostiquant la situation au Chapitre 4 et en proposant au Chapitre 5 un plan d'action suivi de discussions en conclusion.

CHAPITRE 1

PROBLÉMATIQUE ET CONTEXTE

1.1 Définition de la problématique des flux de l'entreprise

L'étude va porter sur les flux d'une petite entreprise en particulier ayant des caractéristiques précises qui lui donnent des opportunités, des contraintes de même que des avantages. Ces caractéristiques se retrouvent également dans plusieurs autres entreprises où nous allons chercher à améliorer les processus. Nous devons donc nous demander quelle peut être la meilleure méthodologie à adopter pour améliorer les processus dans une entreprise possédant ces caractéristiques. Si besoin, il peut être possible de devoir définir une méthode sur mesure. Dans ce cas, nous devons nous interroger sur les outils potentiels à utiliser et de quelle façon les utiliser. Pour atteindre ce but, nous devons chercher quels sont les freins à l'amélioration de la capacité des flux de production.

La problématique générale est très simple. Elle donne la ligne directrice et le but à atteindre. Dans notre cas elle peut s'énoncer par :

Comment peut-on améliorer la performance des flux de production de l'entreprise ?

Cette question générale s'applique au cas particulier de la production de masse personnalisée. Dans ce mémoire nous allons nous efforcer d'apporter des éléments de réponse. Pour apporter ces réponses, il sera nécessaire de commencer par faire le point de la situation existante avant toute modification. On peut maintenant se poser la question suivante :

Quels sont les flux de production et comment fonctionnent-ils ?

A partir de cette question, nous pourrions décrire les flux de production de l'entreprise et leur fonctionnement avant toute modification. Le diagnostic sera fait. Il sera alors possible

d'appliquer la méthode d'amélioration qui sera choisie. Cette application peut être finalement synthétisée par la question :

A partir des flux de production existants, quelles sont les actions à mener pour augmenter les performances de productivité du système de production?

Cette application devra être réalisée méthodiquement, cette question recoupe la définition de priorités dans le plan d'action proposé.

1.2 L'entreprise partenaire du projet

L'entreprise qui collabore au projet s'appelle Ergorecherche¹. C'est une petite entreprise canadienne de moins de 100 personnes. Elle fabrique des orthèses plantaires pour le compte de professionnels de la santé spécialisés dans les problèmes du pied basés au Québec.

1.3 Flux d'informations

Lorsqu'un patient rencontre son clinicien en consultation pour résoudre ses problèmes de pied, des données vont être collectées par le clinicien. Il y a des données générales sur le patient et des données particulières concernant les pieds. Pour obtenir ces données, le clinicien utilise un tapis capteur. Le patient pose ses pieds sur le tapis qui mesure des champs de pression notamment. Ces données se retrouvent sur un ordinateur dans un logiciel nommé Expert fit. A partir des données recueillies et si cela s'avère nécessaire, le clinicien va concevoir une paire d'orthèses plantaires personnalisées pour le patient. Le clinicien va par exemple ajuster la taille des orthèses, les formes, l'ajout éventuel d'éléments de correction, *etc.* Le clinicien va aussi choisir les matériaux de fabrication parmi plusieurs options pour la mousse principale et le recouvrement.

¹ <http://www.ergorecherche.com>

Quand la consultation se termine, la semelle est conçue avec ses caractéristiques propres qui la définissent. La commande peut être instantanément envoyée au serveur central d'Ergorecherche depuis l'ordinateur de consultation ayant accès à Internet. Si la consultation a eu lieu sans accès à Internet, le clinicien envoie la commande dès que possible via un accès Internet mobile par exemple. Avant l'envoi, le clinicien peut ajouter des remarques concernant des spécifications particulières qu'il souhaite que la production réalise.

Le serveur central qui reçoit la commande en imprime une version sur laquelle figure le numéro de commande qui identifie la paire d'orthèses à produire. C'est cette version imprimée qui sera utilisée tout au long de la production.

Une fois que les orthèses sont terminées, elles sont envoyées au clinicien pour qu'il vérifie que les orthèses plantaires qu'il a commandées correspondent bien à la pathologie de son patient. Le clinicien est averti par courrier électronique quand les orthèses sont terminées pour qu'il puisse prévenir son patient à son tour et qu'ils prennent rendez-vous pour l'ajustement des orthèses.

1.4 Flux de production

La production des orthèses plantaires se fait sur un ou plusieurs sites suivant la destination de la commande. Dans un premier temps, on décrit le flux de production dans son ensemble sur un site et dans un deuxième temps, on décrit le flux de production lorsqu'il est réparti sur plusieurs sites.

1.4.1 Pour un (1) site

Le flux de production sur un site qui comprend toutes les étapes de la chaîne peut être représenté par un schéma assez simple (voir Figure 1.1) puisque l'ensemble du processus est séquentiel.

La description du processus dans les ateliers d'usinage et de finition sera plus détaillée dans leur partie respective.

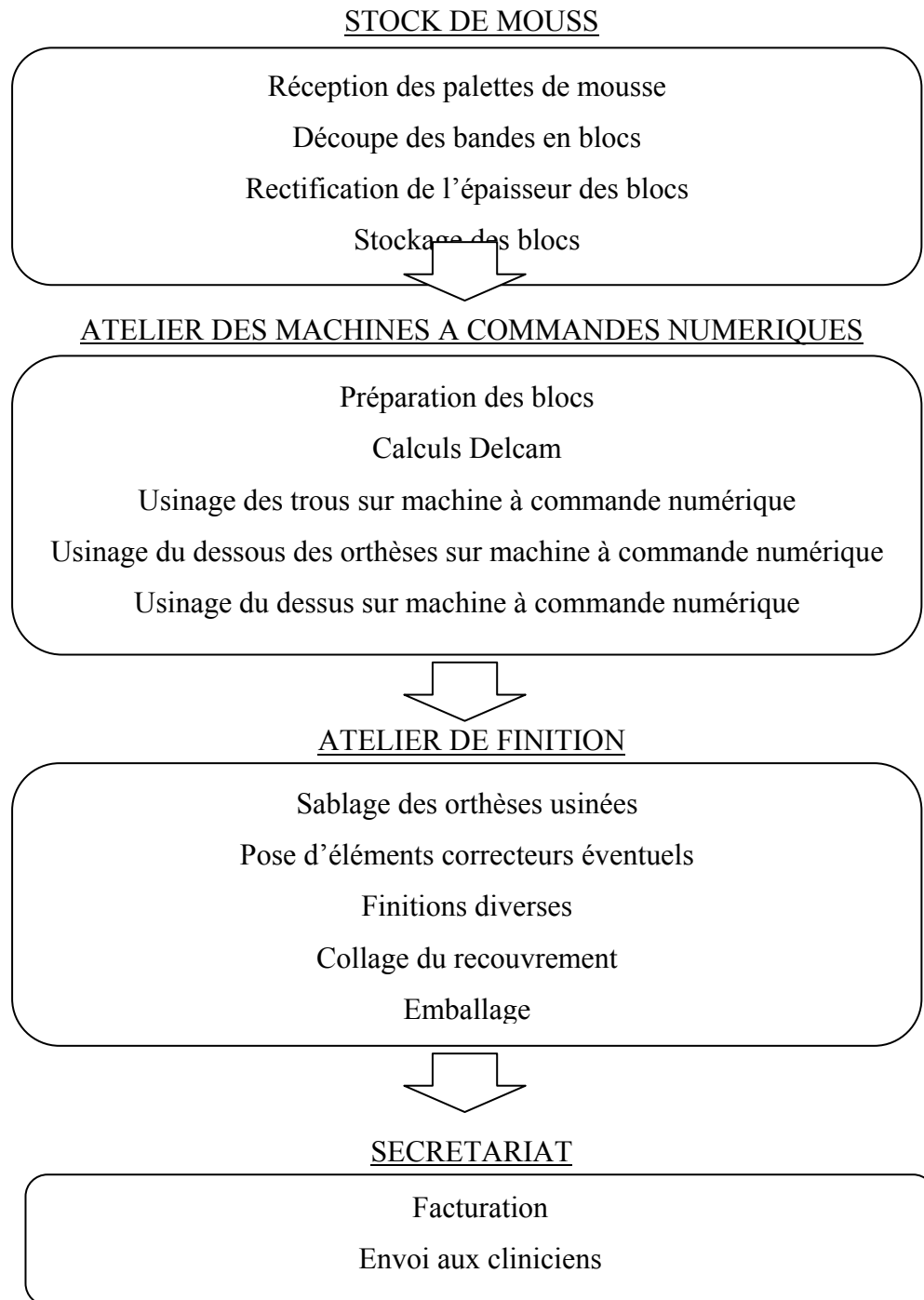


Figure 1.1 Description du flux de production sur un site.

1.4.2 Pour différents sites et leur mission

Au cours de la réalisation de ce mémoire, l'organisation et le nombre de site ont changé. C'est une décision stratégique prise par la direction de l'entreprise, l'une des raisons évoquée est économique. L'organisation de départ était faite autour de trois (3) sites de production, plus un certain nombre de cabinets de cliniciens. Le site principal recevait la mousse (matière première) et la stockait après chaque réception volumineuse. Il préparait cette mousse en blocs et l'usinait. Ensuite, la partie usinée de la semelle était soit finie à la main sur place soit envoyée à l'un des deux (2) autres ateliers de finition sur deux (2) autres petits sites de production (voir Figure 1.2). Le but était que la finition soit faite au plus près du clinicien.

Par la suite, l'organisation s'est simplifiée. Le site principal où se réalisaient les étapes de stockage, d'usinage et de finition a déménagé et a été fusionné avec l'un des deux (2) autres sites de finition. Au final, cela donne un site principal qui réalise toutes les étapes du processus et un petit site extérieur qui ne réalise que la finition pour une partie des commandes.

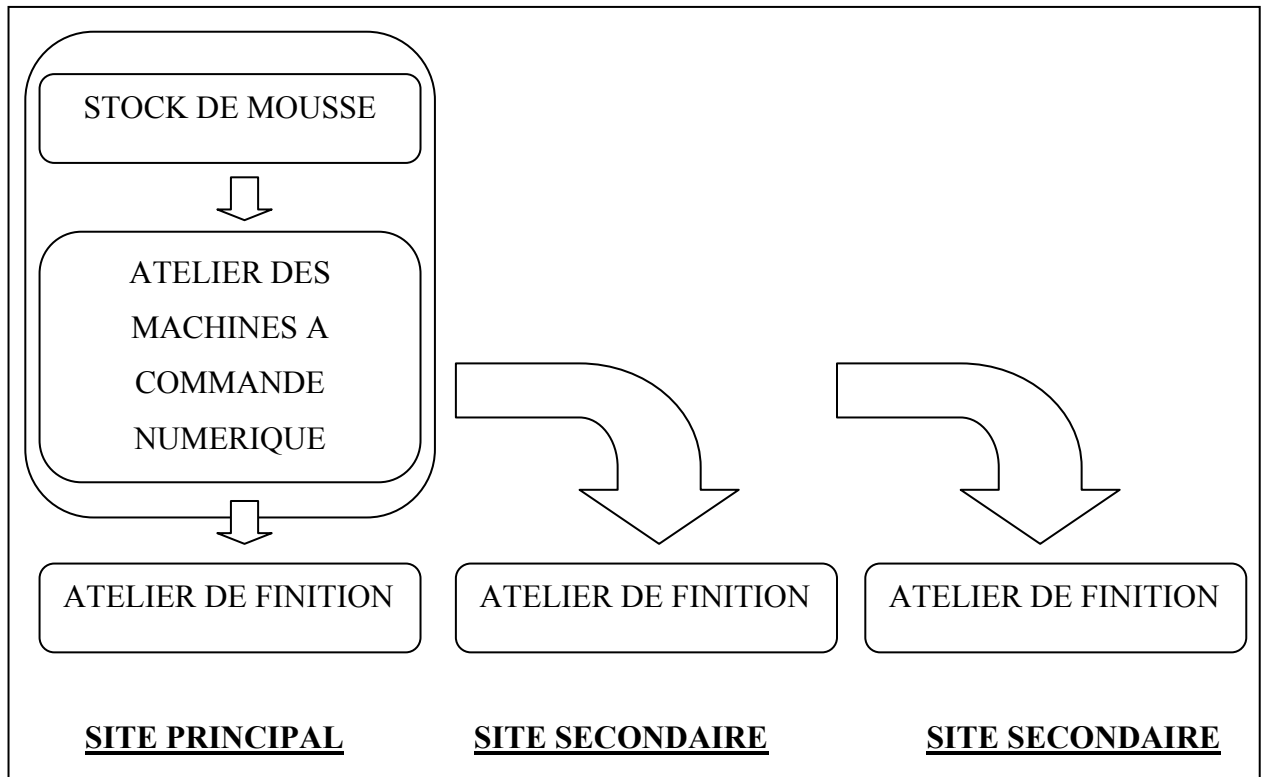


Figure 1.2 Description du flux de production global.

1.4.3 Réception, découpe et stockage de la matière première

La matière première est de la mousse de type EVA de différentes densités en fonction de ce que demandent les cliniciens. Elle arrive sous forme de plaques découpées en bandes et sur des palettes. Ces réceptions ont lieu tous les trois (3) mois environ et proviennent d'Asie. L'objectif est de commander des volumes importants pour diminuer les coûts. Réduire la taille des commandes et augmenter la fréquence n'est pas économique. Le rabais obtenu par l'entreprise en commandant en très grande quantité surpasse les gains éventuels en réduction des coûts d'immobilisation (financière et matérielle). Après la réception, un opérateur découpe les bandes en plaques rectangulaires avec une scie à bande et rectifie l'épaisseur des plaques avec une machine à rectifier réglée à l'épaisseur souhaitée. Ces plaques sont entreposées sur les palettes montées dans des racks.

Le stockage des plaques de mousse pendant une durée trop importante risque d'entraîner des problèmes de qualité pour certaines plaques (marques dues à la pression, variations de la forme due aux changements de l'environnement ambiant, *etc.*). La gestion des stocks par le responsable de production est donc un point important pour éviter des pertes inutiles de matière première.

Le coût de la matière première (mousse essentiellement) par rapport au coût de revient de la paire d'orthèse est très faible, c'est de l'ordre de moins de 5%.

1.4.4 Atelier de fraisage à commande numérique

Les commandes reçues et imprimées sont empilées et traitées par un opérateur de production. Celui-ci regroupe les commandes en lots de 8. Avec le logiciel Delcam, il génère un modèle en 3 dimensions des huit (8) paires d'orthèses (toutes différentes) à usiner ainsi que le trajet de l'outil. Ce logiciel donne également un code de programmation pour que la machine puisse réaliser un usinage. Le calcul de ces étapes par l'ordinateur prend environ 20 minutes pour un lot de 8 paires.

Ensuite, l'opérateur doit vérifier par un contrôle visuel qu'aucune erreur ne subsiste, si une erreur est présente alors il la corrige manuellement.

L'opérateur doit aussi préparer les huit (8) plaques de mousse correspondant au lot de commandes. Il note sur la tranche de chaque plaque de mousse les 3 derniers chiffres du numéro de commande. Dès que la machine à commande numérique est disponible, il transfère le code généré par Delcam dans le calculateur de la machine. Il place les plaques de mousse sur la machine dans l'ordre qu'il a donné avec le logiciel et il lance le premier cycle d'usinage, à savoir l'usinage des trous de positionnement (environ 3 minutes). Une fois cet usinage fini, il retourne les 8 plaques et il lance l'usinage du dessous de la mousse (environ 45 minutes). Enfin, il lance le dernier usinage, soit l'usinage du dessus de la mousse (environ 70 minutes).

A chaque fois qu'il a posé ou retourné les plaques de mousse, l'opérateur doit ajouter du ruban adhésif double-face pour assurer un bon maintien de la plaque de mousse sur la machine.

Une fois l'ensemble de l'usinage fini, l'opérateur retire les plaques de la machine. Il nettoie la machine, sépare les chutes de mousse (déchets) du corps des orthèses et dispose ces éléments dans des bacs avec la fiche commande correspondante. Les bacs sont mis à disposition de l'atelier de finition.

Il est possible de présenter l'ensemble des tâches au Tableau 1.1.

Tableau 1.1 Détail des tâches de production d'un lot de huit (8) produits

	Nom de la tâche	Duratio	Resource Names
51	Préparation des blocs	5 mins	OPERATEUR
52	Lancer le calcul DELCAM (drag&drop)	3 mins	OPERATEUR
53	Calcul DELCAM	20 mins	PC DELCAM
54	<input type="checkbox"/> SETUP1	9 mins	
55	Changement tool5 en tool2	1 min	OPERATEUR;MACHINE CNC2[1]
56	Enlever les 8 pièces finies et les amener aux bacs bleus	2 mins	OPERATEUR
57	Copier les numéros au dos des semelles en les mettant dans les bacs bleus	2 mins	OPERATEUR
58	Jeter les déchets	0 mins	OPERATEUR
59	Nettoyer la table (enlever tape+aspirer la poussière)	2 mins	OPERATEUR
60	Placer les 8 plaques de mousse (sans tape)	2 mins	OPERATEUR
61	Lancer le cycle "trous"	0 mins	OPERATEUR
62	Usinage des trous	3 mins	MACHINE CNC2[1]
63	<input type="checkbox"/> SETUP2	4 mins	
64	Mettre l'outil a l'origine machine "manuellement"	0 mins	OPERATEUR;MACHINE CNC2[0]
65	Pose du tape sur les plaques de mousse et enlever la protection double-face	2 mins	OPERATEUR
66	Retourner les plaques et les coller avec du tape + coups de marteau	1 min	OPERATEUR
67	Lancer le cycle "dessous de la semelle"	1 min	OPERATEUR
68	Usinage du cycle "dessous de la semelle"	42 mins	MACHINE CNC2[1]
69	<input type="checkbox"/> SETUP3	5 mins	
70	Mettre l'outil a l'origine machine "manuellement"	0 days	OPERATEUR;MACHINE CNC2[0]
71	Nettoyer la table (enlever tape+aspirer la poussière)	1 min	OPERATEUR
72	Pose du tape sur les plaques de mousse et enlever la protection double-face	2 mins	OPERATEUR
73	Retourner les plaques et les coller avec du tape + coups de marteau	2 mins	OPERATEUR
74	Lancer le cycle "dessus de la semelle"	0 days	OPERATEUR
75	Usinage du cycle "dessus de la semelle"	70 mins	MACHINE CNC2[1]
76	Nettoyage des blocs usinés	5 mins	OPERATEUR

Les temps ont été arrondis à la minute la plus proche. Cela donne parfois des temps de 0 minutes. Il est vrai que l'arrondi est discutable dans ces cas là. L'important c'est que dans chaque changement de phase (setup 1, 2 ou 3) le temps total de changement de phase correspond à la réalité. De plus, les tâches à l'intérieur de chaque changement de phase sont séquentielles et donc l'arrondi inférieur de certaines sous-tâches compense l'arrondi supérieur d'autres sous-tâches. Les valeurs de temps de ces sous-tâches sont donc à prendre comme valeurs plus indicatives que comme valeurs précises.

Il est important de préciser que les tâches données sont les tâches effectuées avant toute amélioration du processus. Il y a deux (2) machines numériques pour l'usinage des blocs. Ces tâches sont valables pour une machine à commande numérique et doivent donc être dédoublées si l'on veut décrire les tâches à effectuer pour les deux (2) machines. Ces tâches permettent de réaliser un lot de huit (8) paires au maximum d'orthèses plantaires sur une seule machine à commande numérique.

1.4.5 Atelier de finition

L'atelier finition récupère les bacs en sortie d'usinage et termine chaque paire d'orthèse à la main. Cela consiste entre autre à polir, ajouter des éléments de correction, ajouter un recouvrement et emballer la paire d'orthèse avec sa fiche commande. Ces opérations peuvent être qualifiées d'artisanales. Il est quasiment impossible de les industrialiser. Pour effectuer ce travail, il faut du personnel formé. La vitesse d'exécution des opérations entre un opérateur débutant et un opérateur expérimenté est très variable. Ce travail est difficile car il a lieu auprès de machines bruyantes et de poussière de mousse malgré l'aspiration. Le calcul actuel du rendement sur cet atelier n'est pas très représentatif. En effet, c'est dans cet atelier que les plus grandes différences de temps de production entre les orthèses plantaires ont lieu. Certaines orthèses plantaires sont grandes avec de nombreux ajustements à faire et des éléments de correction à ajouter. Chaque produit est adapté à un client-patient différent avec sa pathologie propre, chaque produit est donc différent des autres produits et il n'est pas

possible de prévoir quelles seront les pathologies que clients-patients dans le futur. C'est la raison pour laquelle l'analyse chiffrée est difficile. De plus, deux (2) opérateurs peuvent avoir des vitesses d'exécutions différentes. Par exemple, un opérateur peut être très rapide pour poser des éléments de correction mais plus lent pour coller les recouvrements et inversement pour un autre opérateur. Par exemple, un opérateur très expérimenté dans une journée idéale peut produire (20) à (25) paires d'orthèses. Il est clair que ce n'est pas un chiffre habituel, c'est un chiffre maximal d'un opérateur travaillant une journée sous forte pression. En temps normal, cet opérateur produit une (15) à (18) de paires en moyenne. Un opérateur ayant moins d'expérience produira en moyenne (8) à (10) paires d'orthèses par jour malgré qu'il soit formé. Une fois finies et emballées les orthèses sont délivrées au secrétariat.

Une spécificité de cet atelier est qu'il est assez flexible. Il repose sur le travail des opérateurs. En cas de besoin particulier, il est possible de proposer des heures supplémentaires. Dans ce cas très précisément, le responsable de production peut aussi assister et produire en tant qu'opérateur de finition lorsqu'il y a urgence puisque c'est son métier de formation.

Il est aussi possible en théorie de recruter du personnel temporaire. En pratique ce n'est pas le cas puisqu'il faut entre 3 et 6 mois de formation sur le terrain pour un opérateur avant de devenir rentable. De plus, chaque produit doit être parfaitement fini et cette opération est très minutieuse, si un opérateur peu ou pas formé commet une erreur, il va causer des rebuts et donc les orthèses correspondantes devront être usinées. Le responsable de production préfère dans ce cas terminer lui-même les orthèses ou payer quelques heures supplémentaires à ses opérateurs de finition.

1.4.6 Facturation et gestion des envois à livrer

Cette étape est gérée par une secrétaire en plus de son travail d'accueil et de réception des appels téléphoniques notamment. Chaque jour, elle doit s'occuper de facturer chaque paire d'orthèses à partir de la fiche commande. Quand les facturations sont faites, elle regroupe les

paires d'orthèses par destination (chaque cabinet de clinicien est une destination) et envoie les paires d'orthèses. Elle s'occupe aussi d'envoyer les paires d'orthèses non finies aux ateliers de finition extérieurs au site principal de production. Cela représente entre un tiers et la moitié de la production avec l'organisation à deux (2) sites extérieurs de finition.

Certaines règles sont appliquées concernant l'envoi des paires d'orthèses plantaires. Il est évident que l'envoi groupé de plusieurs paires à un même clinicien est plus économique que l'envoi individuel. En conséquence, l'envoi n'est autorisé que lorsqu'il y a un nombre donné de paires par clinicien. Si la commande est urgente ou que le délai promis est proche, l'envoi individuel est autorisé.

Le délai moyen de livraison à partir du moment où la commande est passée par le clinicien est de 3 à 4 jours ouvrés. Le coût de la livraison des orthèses est une part importante du coût de revient du produit fini. Cette part dépend beaucoup de la destination.

1.5 Objectifs du projet

Le projet de maîtrise va de proposer une méthode d'amélioration qui va pouvoir s'appliquer au cas de l'entreprise Ergorecherche. Cette méthode sera aussi applicable à d'autres entreprises ayant des problématiques semblables et qui fabriquent des produits différents. Une des bases importantes que cette méthode doit garantir est que les outils et méthodes de génie industriel soient applicables simplement à petite échelle avec un besoin minime de formation et d'investissement.

Nous avons également remarqué que dans ce type d'entreprise, les flux sont structurellement tirés. De plus, comme dans la majorité de processus de production de ce type, il existe une opération goulot qui est critique. L'objectif est alors de pouvoir utiliser une méthode qui quantifie les problèmes déjà connus sur ce goulot et qui propose des outils pour améliorer la capacité maximale de production sur ce goulot. Lorsque l'on améliore ces flux, on propose au final d'améliorer l'ensemble de l'efficacité de la production.

Il existe de nombreuses entreprises ayant des problématiques similaires. Il y a par exemple toutes les petites entreprises industrielles qui fabriquent des vélos de route sur mesure. Dans ce cas, les mêmes enjeux existent par rapport aux flux structurellement tirés et au processus de fabrication en ligne. Sans entrer dans les détails, généralement l'étape critique de ce processus se situe dans l'atelier de fabrication du cadre du vélo. Le gain de productivité sur cet atelier entraîne essentiellement un gain sur les délais de livraison. Ce sont ces délais de livraisons de plusieurs mois qui posent souvent un problème de compétitivité des vélos sur mesure par rapport aux autres vélos disponibles dans le commerce. Ce type d'entreprise n'est pas unique. Si il est possible d'améliorer la compétitivité à partir d'une méthodologie alors cela peut être transposé ou adapté à d'autres entreprises ayant des problématiques similaires.

CHAPITRE 2

REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 La philosophie *Lean*

L'ingénierie industrielle moderne est faite d'outils et de méthodes dont une grande partie vient de la philosophie *Lean*. Ces principes et ces méthodes peuvent s'appliquer à la production (*Lean Manufacturing*), à la gestion (*Lean Management*) ou encore à d'autres systèmes divers. Le *lean* en tant que tel est difficile à définir précisément. Il est souvent caractérisé par deux (2) principes essentiels : le juste-à-temps (JAT) et la réduction des gaspillages.

Le JAT est le principe qui considère qu'un flux ne doit ni être poussé ni tiré. L'exemple le plus simple est un flux de production. Lorsqu'un client commande un produit à une entreprise industrielle avec un délai donné (c'est la demande) alors ce client doit être servi ni trop tôt ni trop tard d'où le nom JAT (Ono, 1988)².

Historiquement, les entreprises industrielles ont été confrontées à une situation de demande supérieure à ce que l'offre pouvait apporter pendant plusieurs décennies après la seconde guerre mondiale. Dans ce contexte, l'objectif était de produire avec des tailles de lot très élevées pour maximiser la productivité de l'outil de production. En effet, avec des tailles de lot importantes, la part relative du temps où l'outil de production est arrêté pour changer de série est minimisée. À la fin du vingtième siècle, les capacités de production industrielle ont dépassé la demande de beaucoup. Les conséquences ont été multiples. Il y a eu notamment une concurrence qui s'est créée, des stocks importants issus des tailles de lots élevées ainsi qu'une pression financière sur la valeur de ces stocks (qui correspondent à des coûts). La

² Ono, Taiichi 1988. *Just-In-Time for Today and Tomorrow*, Productivity Press

demande est aussi devenue incertaine et instable ce qui demande plus de flexibilité pour l'outil de production.

L'outil de production et sa gestion était globalement organisée en flux poussé. C'est-à-dire que l'outil de production créait des produits alors que la demande n'était pas encore certaine. L'objectif devenait de vendre ce qui avait été produit et non plus de produire ce que l'on allait vendre grâce à une commande ferme.

L'esprit *lean* développé essentiellement au Japon a alors proposé une organisation différente de l'outil de production pour répondre aussi bien à la demande mais en essayant de se rapprocher d'un flux tiré. L'idéal étant d'atteindre le JAT qui est le parfait équilibre entre le flux tiré et le flux poussé.

Ces propositions et méthodes ont commencé à émerger après la seconde guerre mondiale et essentiellement parmi les ingénieurs industriels de l'entreprise Toyota. Parmi les plus célèbres on notera Shiego Shingo et Taiichi Ono (l'orthographe de ces noms peut varier légèrement suivant les sources et la transcription de leur nom dans notre alphabet). Taiichi Ono est considéré comme le fondateur du principe du juste à temps. Shiego Shingo a lui développé la méthode de mise en course rapide (*Single Minutes Exchange of Die* – SMED) pour réduire les temps de changement d'outil sur les machines industrielles (Shingo, 1988)³. En outre, ils ont été des contributeurs majeurs du Toyota *Production System* (TPS) qui a donné lieu au *Lean Manufacturing*.

La réduction des gaspillages semble être uniquement ce qu'indique le bon sens et pourtant dans les faits, il y a des pertes énormes qui viennent de sources multiples telles que des problèmes de qualité, de maintenance ou des problèmes de coûts d'immobilisation par exemple. Ces gaspillages sont une cause du manque de compétitivité des entreprises

³ Shingo, Shigeo. 1988. « Non-stock production the Shingo system for continuous improvement ». Cambridge, Mass. Productivity Press

industrielles à la fin du vingtième siècle. L'application des méthodes de la philosophie *lean* visent entre autre à réduire ces gaspillages en changeant à la fois la façon de penser des membres de l'entreprise et les méthodes elles-mêmes (Liker, 1998)⁴.

Pour implanter le Toyota *Production System*, il faut commencer simplement par faire la liste précise des tâches et les répartir en trois (3) catégories : les tâches à valeur ajoutée pour le client, les tâches de soutien (n'apportent pas de valeur ajoutée mais sont obligatoires, par exemple la maintenance) et les tâches inutiles. Une fois ce travail effectué, la suite semble évidente. Il faut d'abord supprimer les activités inutiles en priorité, puis améliorer les autres activités. Au global, l'idée soutenue est qu'il faut se mettre du point de vue du client et se demander si il paye pour l'activité en question ou non (Womack, 2005)⁵.

Parmi les outils et méthodes du *lean*, nous pouvons citer : la méthode Ishikawa (causes à effet), le 5S (organisation des postes de travail), la méthode SMED (réduction des réglages), l'analyse du diagramme Pareto, le Kaizen (processus d'amélioration continue en équipe), la TPM (*Total Productive Maintenance*), la méthode QQQCCP (les 5 pourquoi). Le but étant de penser *lean* avant d'utiliser des outils qui ne sont qu'une conséquence. Ces méthodes et outils ont parfois plusieurs noms, mais ont tous la même finalité.

2.2 La personnalisation dans l'industrie

La production industrielle a longtemps été synonyme de standardisation. Comme nous l'avons rappelé, les entreprises industrielles ont eu besoin pour être compétitives de se démarquer. L'une des méthodes pour se démarquer est de proposer un choix important au client à prix raisonnable.

⁴ Liker, Jeffrey K. 1998. « Becoming lean inside stories of U.S. manufacturers ». Portland, Or. Productivity Press

⁵ Womack, Jim. 2005. « Problems with creativity ». *Manufacturing Engineer*, vol. 84, n° 3, p. 5.

Pour atteindre ce but, les plus grandes industries, comme l'automobile par exemple, ont choisi de ne plus faire un modèle unique mais de faire plusieurs versions de ce modèle. Il y a la couleur du véhicule, les options, le moteur, *etc.* Le tout à partir d'une même base : la plate-forme. Cela va même jusqu'à créer plusieurs modèles complètement différents d'automobiles avec une seule plate-forme pour proposer une personnalisation maximale tout en maintenant des coûts raisonnables de production grâce à une standardisation (Pine, 1993)⁶.

Cet exemple est ce qui se retrouve le plus dans les processus industriels impliquant de la personnalisation. Cependant dans le cas d'étude que nous allons traiter, le produit est réellement individuel puisque le client-patient obtient une semelle dont la base est unique et complètement adaptée à son pied. En effet, en posant ses pieds sur un capteur le client-patient donne des caractéristiques précises de son corps (caractéristiques biométriques) qui sont donc impossible à retrouver chez une autre personne. Le patient-client ne choisit pas volontairement les paramètres de son produit.

En réalité, il faut nuancer légèrement puisque les informations issues du capteur de pression passent entre les mains du clinicien qui applique des corrections aux pressions obtenues en changeant des paramètres (hauteur d'arche interne par exemple). Il y a 23 paramètres différents, chaque paramètre prend une valeur parmi une plage de valeurs. Certains paramètres n'ont que quelques valeurs possibles alors que d'autres sont des curseurs et les valeurs qui peuvent être sélectionnées ne sont pas sur une plage discrète mais continue. Enfin ce système de personnalisation permet de traiter la très grande majorité des pathologies mais pas certaines pathologies qui exigent des formes très particulières ou des prothèses. Les paramètres se retrouvent sur des courbes pré-codées dans le logiciel Delcam. Même si ces courbes peuvent varier, elles gardent globalement des courbures identiques et des formes similaires. Ce point particulier n'est pas développé dans la littérature.

⁶ Pine, B. Joseph. 1993. « Mass customization the new frontier in business competition ». Boston, Mass. Harvard Business School Press

Dans la littérature on trouve de nombreux modèles économiques de commerce de produits personnalisés (Jianga, 2006)⁷, des études liées aux particularités de la planification de production de produits personnalisés (Ma, 2009)⁸ ou même des descriptions détaillées des tenants et aboutissants dans la décision d'un niveau de personnalisation (Piller, 2007)⁹. Il y a bien d'autres études qui ont un lien avec les produits personnalisés mais la personnalisation est faite à partir d'un produit standard auquel on donne plusieurs caractéristiques variables.

2.3 La théorie des contraintes et des goulots

La théorie des contraintes est aussi appelée théorie des goulots. Cette théorie est un ensemble de connaissances et de méthodes qui sont souvent couplées avec des chantiers *lean*. L'essentiel de cette théorie a été démocratisée en occident par Eliyahu M. Goldratt¹⁰. Ces principes avaient aussi été traités par Taiichi Ono et Shiego Shingo.

L'idée principale qui ressort est assez simple. Dans une organisation, il y a des flux (de produits, information, matière, personnes, etc.) et la vitesse de l'ensemble d'un flux est donnée par la vitesse du goulot. Le goulot est l'étape du flux qui a le débit le plus faible (Goldratt, 1984)¹¹. L'analogie la plus simple est un flux de liquide qui passe à travers différents systèmes en série ayant chacun un débit donné. En général pour appliquer la théorie des contraintes, on commence par trouver le goulot, ensuite on cherche à améliorer le débit au niveau du goulot. Une fois que le travail sur le goulot est fait, on vérifie qu'il est toujours

⁷ Jianga, Kai, Hau L. Leeb et Ralf W. Seifert. 2006. « Satisfying customer preferences via mass customization and mass production ». *IIE Transaction*.

⁸ Ma, Yu Fang, Fu Dong Wang et Yue Ming Zeng. 2009. « The method of making production plan in mass customization ». In *Technology and Innovation Conference 2009* (12-14 Oct. 2009). Xian, China.

⁹ Piller, Frank T. 2007. « Observations on the present and future of mass customization ». *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, vol. 19, n° 4, p. 630-636.

¹⁰ Goldratt, Eliyahu M. 1984. « The goal excellence in manufacturing ». Croton-on-Hudson, New York North River Press

¹¹ Goldratt, Eliyahu M. 1984. « The goal excellence in manufacturing ». Croton-on-Hudson, New York North River Press

goulot. Si c'est bien le cas, alors on réduit le débit inutile aux autres étapes jusqu'à la valeur du débit du goulot qui restera la priorité d'amélioration de performance. Quand la valeur du débit du goulot augmente après un chantier d'amélioration, il faut toujours vérifier quelle est l'étape du processus qui est le goulot.

Cette théorie s'applique parfaitement aux systèmes de production industriels en ligne. En effet, dans ces systèmes, la cadence de production de l'ensemble d'une chaîne est subordonnée à la cadence de production du goulot. Autrement dit, la vitesse de la machine la plus lente donne la vitesse de toute la ligne à laquelle elle appartient. Cette méthodologie est aussi appliquée dans divers domaines comme les files d'attente dans les services ou bien dans l'amélioration des processus administratifs.

Pour les systèmes complexes, il est par exemple possible de réaliser des réseaux de tâches (*Program Evaluation and Review Technique* – PERT) pour donner une cartographie des processus et travailler sur les goulots. Le travail sur les goulots est généralement une application de méthodes *lean* dont l'outil principal dans cette situation est le SMED.

Plus récemment, de nombreux travaux de recherche ont appliqué ces méthodes et ces principes à différentes situations et différents domaines. Il y a également des travaux qui ont cherché à évaluer la méthode SMED. Dans ces travaux, il est expliqué que le principe de passer des tâches en temps masqué semble indiscutable en théorie mais que de la méthode SMED ne pousse pas à essayer de simplement supprimer ces tâches complètement ou de réduire leur durée.

« [...]the 'SMED' methodology does not sufficiently promote some important improvement options, particularly those that seek to reduce the duration of existing changeover tasks or eliminate them altogether. » (McIntosh, 2000)¹²

¹² McIntosh, R. I. 2000. « A critical evaluation of Shingo's 'SMED' (single minute exchange of die) methodology ». *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH*, vol. 38, n° 11, p. 2377-2395.

Ils montrent aussi que ce travail peut s'inscrire dans une démarche Kaizen d'amélioration continue.

CHAPITRE 3

PROCÉSSUS AMÉLIORATIF : DÉTERMINATION DE LA MÉTHODOLOGIE ADAPTÉE

3.1 Le besoin d'établir un diagnostic

Pour établir un diagnostic de la situation, un certain nombre d'observations est réalisé pour comprendre le contexte particulier du problème. Des mesures sont à effectuer et ensuite il faut définir un indicateur qui nous montre quelles sont les sources d'améliorations.

Dans notre cas, l'objectif est d'améliorer le rendement global d'un système de production en ayant des coûts minimums et une productivité maximale. L'entreprise projette également l'utilisation de capacité de production supplémentaire dans le futur. Le diagnostic doit donc aider, grâce à des indicateurs, à tenter de montrer s'il est possible d'augmenter la capacité de production avec des moyens constants ou un investissement minimum.

Il y a un grand nombre d'outils et de méthodes disponibles qui ne peuvent pas toujours être appliqués. C'est le cas dans notre exemple du digramme Ishikawa. Il aurait été utile si l'on avait cherché à réduire les arrêts machines à cause de problèmes techniques inconnus, de problèmes de qualités importants et très variés, ou encore d'autres problèmes divers non identifiés. Les problèmes essentiels sont simples à identifier dans le cas de ce système de production et le but est principalement de les quantifier. L'analyse à partir du diagramme Ishikawa n'est donc pas la plus pertinente. Les méthodes QQQQCCP ou 5 pourquoi ont le même but global que la méthode Ishikawa, il s'agit de trouver qualitativement la source du problème pour ensuite le résoudre. A chaque fois, ces méthodes cherchent à retrouver la ou les raisons premières de chaque problème non identifié précisément. Dans notre cas, les problèmes principaux sont connus. Il y a des problèmes de qualité lié à l'usinage, des problèmes productivité maximale et quelques problèmes de tracabilité notamment. L'important c'est de quantifier les problèmes et de pouvoir mesurer leur évolution après un

plan d'action. En revanche dans d'autres situations, ces outils auraient été très recommandables car ils sont simples à mettre en œuvre et ne nécessitent pas réellement de formation approfondie pour le personnel.

Parmi les différents outils d'ingénierie industrielle, nous choisirons le taux de rendement synthétique (TRS) appliqué au goulot du système de production. Un des avantages de cet indicateur c'est qu'il est assez simple à comprendre et à utiliser pour des personnes n'ayant aucune formation particulière en génie industriel. De plus, il met clairement en lumière les sources de pertes en les quantifiant. Ce point est important car il permet de définir des priorités éventuelles pour un plan d'action. Avec cet indicateur, il est aussi possible de suivre l'efficacité du système de production dans le temps avec des audits simples à des intervalles réguliers de temps si le responsable de la production le souhaite.

Les diagrammes du type du camembert auraient pu être intéressants en théorie car ils montrent graphiquement la répartition des causes de pertes relatives. En revanche ces types de diagramme ont le défaut de ne pas montrer la valeur absolue des pertes. La seule méthode pour montrer les valeurs absolues dans ce cas c'est de réaliser deux (2) diagrammes camemberts. Un pour les valeurs relatives des causes de pertes entre elles et un autre qui montre les valeurs absolues que représentent les pertes ainsi que le temps utile (non perdu) sur le même diagramme camembert. Si l'on souhaite représenter ces informations, il est plus clair d'utiliser un seul histogramme qui représente, pour chaque source de perte, deux (2) barres verticales. Une barre verticale pour la valeur absolue et une autre pour la valeur relative en pourcentage des causes de pertes. Un autre avantage de cette solution c'est que cela permet de mettre en évidence une distribution qui peut être semblable à celle d'un diagramme Pareto.

Dans le même temps la réalisation de diagrammes PERT et Gantt servira à savoir quel est le chemin critique sur lequel il faudra travailler. Pour réaliser ces diagrammes, il est nécessaire de réaliser une liste précise des tâches de production avec leur durée et leur enchaînement.

3.2 Des outils de management de production

Il existe un nombre très élevé d'outils qui servent dans des méthodologies globales d'amélioration des flux de production. Nous avons choisi de comparer plusieurs d'entre eux parmi les plus utilisés et d'expliquer en quoi ces outils ont un intérêt pour un cas d'étude du type de celui que l'on traite. Grâce à ce comparatif, il sera possible d'éliminer certains outils et de sélectionner ceux qui seront utiles.

3.2.1 La méthode SMED

La méthode SMED (*Single Minutes Exchange of Die*) est particulièrement adaptée pour améliorer l'efficacité des changements de lot au niveau d'un goulot de production, si les pertes de productivité sont causées par des arrêts liés aux réglages. Pour cela, il faut travailler sur l'organisation de ces tâches. La réorganisation des tâches peut signifier la suppression de tâches inutiles, le changement de l'ordonnancement des tâches ou encore la modification de certaines tâches. Pour obtenir des résultats qui sont pérennisés dans le temps, une des clés est de réaliser ces travaux en collaboration étroite avec les opérateurs de production qui sont les personnes qui appliqueront au quotidien ce qui aura été décidé. L'application de ces propositions sera d'autant plus simple et efficace qu'elles auront été proposées par les opérateurs ou tout du moins en accord avec eux. Toutes ces propositions pourront ensuite continuer dans une démarche globale d'amélioration continue (Kaizen). Il n'est pas nécessaire de prévoir un temps de formation important pour utiliser cet outil. Une fois que l'objectif de passer des opérations en temps masqué et de réduire les autres temps critiques ont été expliqués (si possible avec un exemple concret), il n'est pas pertinent d'insister sur de la formation théorique.

3.2.2 Les 5S

La méthode 5S se prête très bien à une démarche d'amélioration continue par atelier de production. Cette méthode ne sera pas appliquée directement. Certains concepts simples et

directement applicables seront intégrés dans la démarche globale. Par exemple, l'idée qu'il faille mettre les outils à portée de main s'ils servent fréquemment et rangés à l'écart s'ils servent rarement. Cette idée sera intégrée dans les différentes propositions. En revanche, l'ensemble de la méthode est tout à fait applicable aux différents ateliers de l'entreprise dans un second temps afin de pérenniser les gains qui auront été réalisés. Cette méthode est souvent préconisée en priorité avant tout autre chantier *lean* par exemple. La raison de cela est qu'il est fréquent d'éliminer des sources de pertes d'elles même en rangeant, nettoyant, *etc.* C'est aussi préconisé en priorité car cela participe d'un effort pour déterminer les causes de perte avec un bon retour d'information après le chantier 5S. Comme nous avons pu l'expliquer précédemment, les sources de pertes sont connues, cette raison n'a donc pas de valeur dans notre cas. En pratique, l'application de la méthode est simple après avoir formé le personnel. La formation aux 5S demande un petit peu d'attention mais elle n'est pas particulièrement complexe si c'est clairement illustré. Les trois (3) premiers « S » ne posent pas de problème, c'est sur les deux (2) derniers que la formation doit insister. Une fois cette formation réalisée, l'avantage est que la façon de penser du personnel peut évoluer dans le bon sens pour le chantier 5S mais aussi dans le temps en dehors du chantier 5S à proprement parler.

3.2.3 La maintenance productive totale

La *Total Productive Maintenance* (TPM) ou « maintenance productive totale » est une méthodologie d'amélioration de la performance qui passe par la mesure d'indicateurs de production, l'amélioration du système de production en réduisant les causes de non performance et enfin mesure des indicateurs après amélioration. Si on se limite à cette définition alors la TPM résume rapidement l'ensemble de la méthodologie que nous allons appliquer car l'indicateur principal qui généralement utilisé est le TRS. Dans les fait la TPM est plus complexe, elle s'applique souvent à des processus longs et souvent organisés en ateliers par métiers sur des grandes chaînes de production pour en réaliser des unités autonomes de production par exemple. La TPM peut aussi orienter la recherche de la diminution de la non-performance de l'ensemble de l'outil de production en optimisant la

maintenance par unité autonome de production. La TPM inclut une évolution de la mentalité et de l'organisation du personnel de maintenance industriel, ce point n'est pas vraiment applicable au cas d'une petite entreprise n'ayant pas de service de maintenance dédié, ce sont directement les opérateurs de production qui assurent l'essentiel de la maintenance de leur outil de production. La formation à la TPM du personnel (en priorité la maintenance mais pas uniquement) est importante car elle implique des changements importants dans l'organisation de la production, pour la même raison, l'application de la méthode est complexe et nécessite souvent des investissements. Le processus de rapprochement de la maintenance avec la production pour en faire un service intégré est automatique, c'est ce qui permet l'obtention d'un meilleur résultat. L'opérateur en faisant sa maintenance sait qu'il se rend lui-même service pour améliorer sa propre production. Dans notre type de petite entreprise, les machines complexes ayant besoin d'une maintenance complexe (corrective ou préventive comme un calibrage par exemple) sont traitées par des entreprises de service spécialisée ou par un service dédié de l'entreprise qui fabrique ces machines complexes.

Au global, cette méthode permet, si les processus sont complètement réorganisés (avec les investissements nécessaires), d'obtenir des gains chiffrés sur les activités critiques du système de production. Une organisation en unités autonomes de production est aussi plus robuste face aux impondérables comme les bris de matériel.

3.2.4 La planification des besoins matières

La planification des besoins matières (*Material Requirements Planning* – MRP) est une méthodologie de gestion de production ancienne avec plusieurs variantes. Le but est d'analyser les ventes du passé pour déterminer des tendances, des saisonnalités, des cycles et prévoir au mieux les besoins en matières premières et la capacité de production pour les périodes futures. Cette méthode n'est pas adaptée car elle s'applique à la vente d'un produit donné ou bien d'une famille de quelques produits qui répondent à un besoin du marché. C'est-à-dire que cette méthode s'applique par rapport à une demande agrégée de nombreuses personnes. Dans notre cas la demande est unitaire et par nature imprévisible car on ne peut

prévoir qui aura un besoin précis adapté uniquement à son corps. Il serait tout de même possible d'étudier la demande globale de tous les produits pour essayer de déterminer des saisonnalités. Par exemple, est-ce qu'un nombre important de clients à besoin de ce type de produit avant une période de vacance. En agrégeant chaque commande en un seul besoin, on obtiendrait un besoin moyen en matière première et en capacité de production. Cela pourrait servir pour préciser des dates de commande de matière première ou éventuellement pour aider à déterminer des dates de congé du personnel. En revanche, il serait impossible d'appliquer la plupart des mesures classiques de gestion des stocks d'anticipation comme le MRP car il est impossible d'anticiper quelles seront les caractéristiques «biométriques» précises de chaque client futur. C'est ce qui limite les gains potentiels de capacité de production en étalant la demande dans le temps et en réalisant des stocks dans notre cas car c'est impossible.

Pour appliquer un tel outil, il faut former le directeur de production. Il est probable que le directeur de production ait développé sa propre méthode de gestion qui ressemble à du MRP avec des tableurs. C'est pour cela qu'il serait utile de convertir l'ensemble des données dans de nouveaux tableaux moins naturels pour le directeur de production. Au final, cela est relativement difficile à appliquer comparé à des possibilités de gains minimes.

3.2.5 L'analyse des stocks

Les méthodes d'analyse et réduction des stocks sont très nombreuses et cherchent généralement à réduire tous les stocks à tous les niveaux d'une chaîne de fabrication pour réduire les coûts. Ces coûts sont en premiers lieux des coûts d'immobilisation. Cela peut être le cas d'un produit frais avec une date de péremption ou d'une pièce d'acier qui peut rouiller. Ces méthodes ont un intérêt qui augmente selon deux (2) paramètres : la valeur du stock et sa capacité à se dégrader. L'immobilisation a un coût financier car l'argent avancé ne peut être utilisé pour autre chose et la valeur du produit acheté peut diminuer avec sa qualité. En général, ces coûts d'immobilisation et d'autres paramètres servent à donner une quantité économique de matière à commander.

D'autres méthodes d'analyse des stocks existent et tendent à réduire les stocks d'en cours de production par exemple. Ce type de raisonnement n'est pas applicable à notre cas d'étude ou alors marginalement. Les stocks de ce type d'entreprise sont dues à la matière première commandée et aux en cours de production. Les stocks de matière première sont généralement commandés en grande quantité par rapport au volume de production. En effet, les fournisseurs de matière première refusent souvent de fournir en dessous d'un certain volume par commande. Une autre cause possible est le coût minime de la matière première qui fait que le coût d'immobilisation est très faible, surtout si cette matière première est très peu sensible à la baisse de qualité au cours du temps (c'est le cas de notre étude). Enfin les stocks d'en cours de ce type d'entreprise sont structurellement très faibles car les flux sont tirés par une demande et il est impossible de commencer à produire en avance. Seuls de petits stocks de lot peuvent exister à cause de taille de lots non unitaires sur certaines machines dans le processus de production. D'autres stocks indépendants de l'entreprise peuvent exister, il s'agit de stocks en attente de ramassage par une société de livraison vers le client. Ces derniers stocks n'ont que peu d'intérêt à être analysés car la capacité d'agir de la part de l'entreprise est limitée.

Il est à noter que les faibles améliorations que l'on pourrait proposer ne sont pas critiques car elles n'apportent pas de gain de productivité notable et requièrent une formation importante. De plus, ces améliorations ne sont pas forcément très simples à implanter.

3.2.6 Les kanbans

La méthode kanban a pour but de synchroniser deux (2) étapes successives d'une chaîne de production. Pour cela, des kanban (étiquettes en français) sont liés à des lots de produits et quand un lot est consommé par l'aval alors l'étiquette est rapporté en amont ce qui crée une demande d'un lot. Cette technique a plusieurs variations possibles et s'adapte pour aider à réduire des problèmes de stocks, de synchronisation, de flux poussé ou autre dans des sites de production traditionnels (Sekine, 1983).

Cette méthode n'est pas vraiment adaptée à notre type de cas d'étude car le flux est structurellement tiré. Au moment du lancement de la production, la demande du client final est déjà exprimée, il n'est pas nécessaire de faire remonter cette demande par chaque étape du processus de production. Le but est simplement de produire le plus rapidement possible pour réduire le délai entre l'expression du besoin et la réponse à ce besoin. La méthode kanban ne permet pas de réduire ce délai ni d'ajouter de la valeur au produit.

C'application de cette méthode est inutile mais pas impossible. Si l'on souhaitait appliquer cette méthode malgré tout, il faudrait former l'ensemble du personnel pour que les étiquettes kanban soient correctement liées aux produits et pour cela il faudrait calculer le nombre d'étiquettes kanban nécessaires. En plus de tout cela, il faudrait définir une procédure précise pour ne pas induire des erreurs dans le flux.

3.2.7 Le bilan des outils

Si l'on souhaite faire un bilan des outils cités précédemment, on peut les classer selon trois (3) paramètres : le besoin en formation du personnel, la simplicité d'application sur le terrain et la capacité de l'outil à chiffrer les sources de pertes et agir pour améliorer la capacité de production critique (c'est-à-dire lorsque c'est réellement nécessaire). Cela est représenté au Tableau 3.1. On note que le troisième paramètre est celui qui nous intéresse en priorité. Si plusieurs outils nous permettent d'obtenir des résultats intéressants, alors nous pourrions regarder si l'un de ces outils est plus particulièrement adapté à notre type de cas. Comme on a pu l'expliquer précédemment, l'outil le plus adapté est clairement le SMED dans notre type de cas.

Tableau 3.1 Récapitulatif des outils d'amélioration

	Besoin en formation du personnel	Simplicité d'application	Chiffre les sources de pertes et aide à améliorer la capacité de production critique
SMED	A	A	A
5S	B	A	C
TPM	C	C	B
MRP	B	C	C
Analyse des stocks	C	C	C
Kanban	B	B	C

3.3 Les cadres globaux

Tout comme dans le cas des outils, il est impossible de citer de manière exhaustive l'ensemble des méthodologies développées. Nous allons nous contenter de quelques méthodologies globales qui sont très populaires. Les raisons qui vont nous mener à exclure ou limiter l'application de ces méthodologies sont généralement transposables à d'autres méthodologie et sont causées par le contexte très particulier du cas d'étude. Cela va nous mener à choisir une méthodologie adaptée à notre cas particulier.

3.3.1 La philosophie *lean*

Cette méthodologie est très intéressante et moderne. Elle est applicable à notre cas si l'on considère que la méthodologie globale *lean* correspond à un état d'esprit : le *lean thinking*. Il

s'agit de penser *lean* pour appliquer les outils d'amélioration de la qualité et des processus dans le cadre d'une amélioration continue. L'élément important à retenir est que l'on doit, dans le cadre d'une petite entreprise, faire attention à prioriser ce qui apporte un gain critique, immédiat et simple à mettre en œuvre. Nous retiendrons par exemple que les outils liés à l'amélioration de la non-qualité des produits uniquement ne seront pas des outils intégrés au plan d'action en priorité.

Dans les formations au *lean*, il est en général conseillé d'appliquer en premier un chantier 5S (ou 5S plus sécurité) avant d'appliquer d'autres méthodes. L'idée qui est portée est que le chantier 5S permet d'améliorer l'état des lieux initial des ateliers pour pouvoir travailler dans de bonnes conditions. En plus d'avoir de nombreux avantages (coût, simplicité, ...) le chantier 5S est une source majeure d'amélioration en soi dans de nombreuses entreprises. Dans ces entreprises le chantier 5S est souvent prioritaire, notre cas est différent à cause de ses spécificités.

3.3.2 Le six sigma

La méthode six sigma aurait pu être adaptée si nous avions un volume de production annuel très important et que les améliorations simples d'ordonnancement des tâches avaient déjà été poussées. De plus, cette méthode convient d'abord à des productions en très grande série de produits identiques. L'analyse de la non-qualité nous montrera aussi que cette méthode n'est pas à appliquer en priorité car les taux effectifs de non-qualité sont finalement assez faibles. Une autre raison qui limite l'usage de cette méthode à des petites entreprises comme celle de notre cas d'étude est que cette méthode demande un investissement en temps important et que les membres de l'entreprise qui vont être liés au projet doivent avoir au minimum des notions de statistique mathématique. Il est généralement difficile de trouver du personnel et une direction formés aux méthodes statistiques dans ce type d'entreprise. L'application de la méthode six sigma demande également une grande rigueur et a un effet à très long terme qui n'encourage pas autant les membres du projet à pérenniser les bonnes pratiques que s'ils y voient immédiatement des gains concrets dans leur quotidien.

3.3.3 Le *lean* six sigma

La méthodologie du *lean* six sigma reprend le fonctionnement du *lean* avec encore une fois la priorité mise en général sur un quelques chantiers simples comme le 5S avant l'application d'autres méthodes en parallèle. Ces méthodes et outils vient du *lean* (par exemple la TPM) et du six sigma. Il peut s'agir de réorganiser les processus de production avec des outils *lean* en systématisant des acquisitions de données statistiques traitées ensuite avec le six sigma.

L'inconvénient majeur de cette méthode par rapport à notre type de cas d'étude est le même que pour le six sigma. Il est nécessaire de réaliser un grand nombre de produits identiques ou semblables pour obtenir des données statistiques valables. C'est-à-dire que l'on pourrait usiner des produits avec seulement quelques paramètres simples qui varient. Dans ce cas on pourrait considérer des familles de produits quasi identiques. De plus, nous avons déjà expliqué que nous montrerons que les problèmes de non qualité sont secondaires par rapports aux sources de gain potentiel d'autres sources. Cette méthode serait plus adaptée à des entreprises ayant quelques produits fabriqués en volumes important tout au long de l'année.

3.3.4 La méthodologie ACE (Pratt & Whitney)

La méthodologie Achieving Competitive Excellence (ACE) est une méthodologie globale développée par l'entreprise Pratt & Whitney et a pour but d'appliquer des méthodes qualité et des méthodes *lean* dans l'ensemble de l'entreprise de façon uniforme et avec des termes, des documents et des formations standardisés. La démarche est intéressante dans une grande entreprise. Elle permet une meilleure communication entre les différents opérateurs de l'entreprise, une meilleure mobilité, une uniformisation des documents de travaux communs aux fournisseurs et clients. Le tout peut aussi aider à appliquer les méthodes qualité choisies de façon plus automatique avec une sorte de boîte à outils connue de tous.

Dans les faits cela améliore la qualité globale des produits et des processus grâce à des méthodes qui ont fait leurs preuves. L'ensemble de la méthode ACE comporte 10 étapes. La première est un chantier 5S+1 (5S plus sécurité), puis un chantier TPM et ensuite viennent d'autres outils de génie industriel qui sont souvent renommés ou légèrement modifiés. On notera entre autre le Poka Yoke, le SMED et les diagrammes Ishikawa.

Dans notre cas, il n'est pas intéressant de choisir cette méthode globale car elle comporte un nombre important d'étapes, certaines étapes étant longues et peu pertinentes pour notre cas d'étude. En revanche, l'idée de standardiser la méthodologie d'amélioration des processus est intéressante dans le cas où le processus de production serait reproduit dans une nouvelle usine sœur appartenant à la même entreprise.

3.3.5 La méthodologie 8D (Ford)

La méthodologie 8D développée par l'entreprise Ford cherche à résoudre des problèmes. Cette méthodologie est généralement décrite par un logigramme en huit (8) étapes (les 8D). L'utilité de la méthode est claire lorsqu'un problème se présente, la méthode ne détermine pas si il y a ou non un problème. Dans la pratique, la méthode exige de passer par les huit (8) étapes de façon séquentielle. Parmi ces étapes, il y a la création d'une équipe de résolution de problème, la description du problème, la détermination de la ou des causes du problème et leur résolution. La fin de ce processus intègre aussi une pérennisation des résultats et une félicitation des membres de l'équipe.

Cette méthodologie est intéressante dans le sens qu'elle apporte une structure de raisonnement standardisée qui aide à la résolution de problème. Elle n'apporte pas d'outil particulier qui aide plus à résoudre un problème ou un autre. Ce choix est laissé à la discrétion des membres de l'équipe. Ce point particulier à pour avantage que les membres de l'équipe pourront appliquer des outils qu'ils maîtrisent au mieux. Le biais possible dans ce cas est que l'outil qui sera choisi par une équipe parce qu'elle le maîtrise sera encore plus maîtrisé, dès lors cet outil sera probablement réutilisé de plus en plus. Cela n'encourage pas

la diversité des outils à utiliser face à des problèmes divers et peut causer des problèmes sur le long terme.

Nous ne choisirons pas d'utiliser cette méthodologie car elle est trop générale, par exemple elle ne permet pas de quantifier les sources de pertes qui sont déjà identifiées.

3.4 La méthodologie adaptée a notre type de cas d'étude

Cette partie a pour but d'expliquer quelle sera la méthodologie à utiliser dans notre type de cas d'étude en la décrivant mais aussi en donnant un exemple d'aide pratique utilisable. Cette aide pratique (capsules) sera utilisable sur le terrain et pourra servir comme aide mémoire ou comme formation accélérée pour des personnes qui ne sont pas familières des outils de génie industriel.

3.4.1 Description et explication des choix

Il existe un grand nombre de méthodes et d'outils valables qui peuvent être intégrés à une méthodologie globale pour servir à améliorer un processus de production. Pour nous aider à résoudre le problème particulier de l'entreprise, nous allons utiliser le schéma de raisonnement de la Figure 3.1.

Lorsque le goulot de production n'est pas sollicité au maximum, alors il n'y a pas de problème, la capacité de production n'est pas utilisée au maximum. Le problème est d'améliorer ce qui est critique, c'est-à-dire la capacité de production maximale pour répondre au besoin même lorsque ce besoin est maximal. Cela n'aura pas d'impact majeur pour les périodes de temps où la demande sera moindre. Dans le cas d'une petite entreprise qui a structurellement un flux tiré car la production commence à la réception de la commande, les sources de perte sont souvent connues des opérateurs. Le but de la méthode que l'on va appliquer ne sera pas de déterminer les causes de pertes mais de déterminer l'importance de chaque source de perte par rapport aux autres sources de pertes. Le TRS remplit ce rôle.

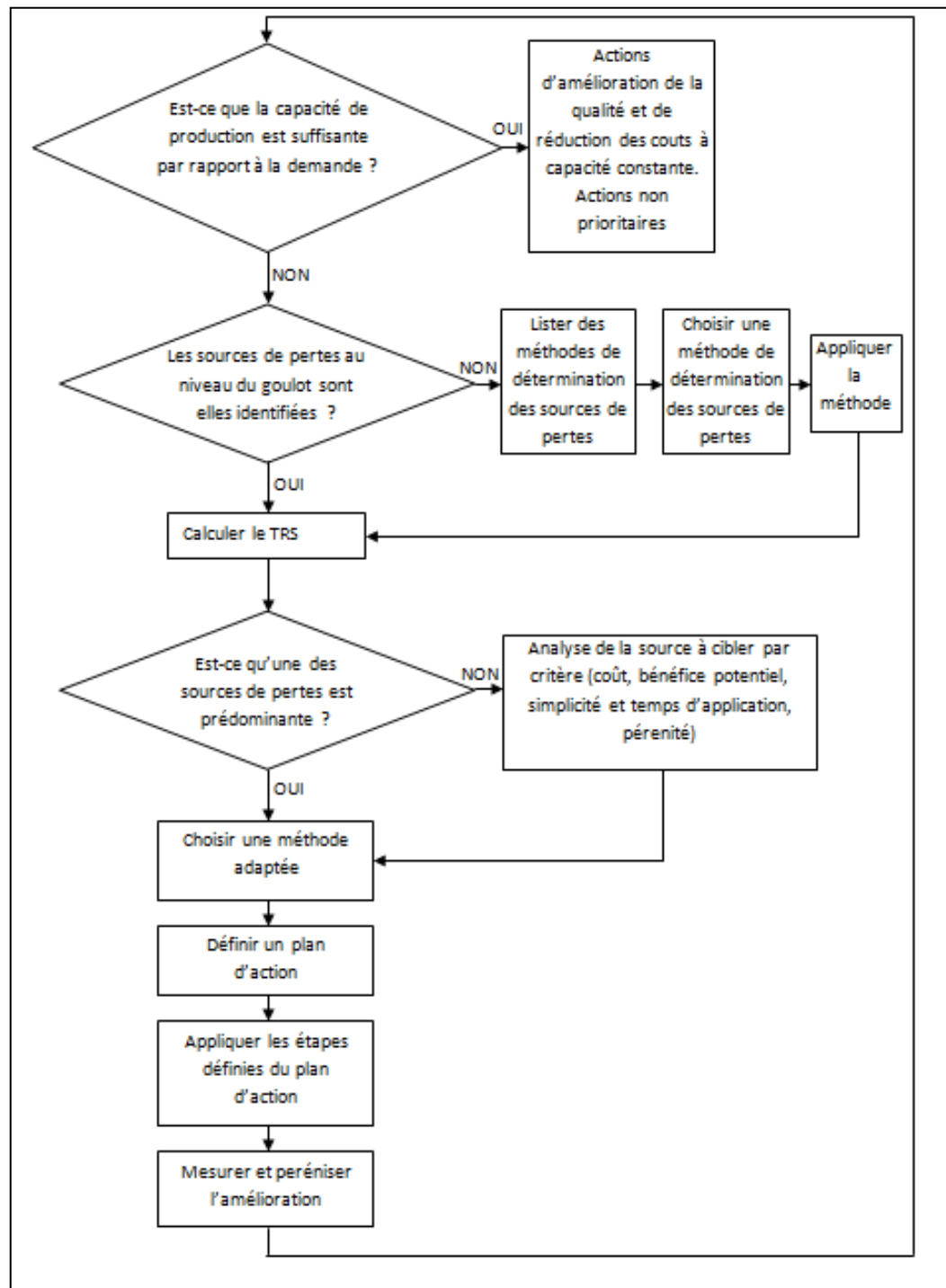


Figure 3.1 Description de la méthodologie adaptée à notre cas d'étude.

Ensuite, il faut choisir une cause de pertes sur laquelle il est possible d'agir pour obtenir un gain maximal pour l'ensemble du processus de production. Il y a plusieurs possibilités. S'il y a une source de pertes qui génère la plupart des pertes alors une réduction, même moyenne, des pertes dues à cette source a un impact sensible sur l'ensemble du flux. Dans cette situation, il ne faut pas complètement négliger de réaliser des gains sur les causes secondaires de pertes. Mais pour travailler sur ces causes secondaires, il doit y avoir des conditions précises. Un exemple extrême qui illustre cela serait une amélioration secondaire mais qui serait rapide à implanter, simple, gratuite, souhaitée par la direction et le personnel, ayant un effet immédiat, et qui ne nécessite pas d'effort pour être maintenue. Il est rare de trouver ce type de solutions caricaturales car elles découlent souvent du bon sens et ont été appliquées naturellement. Si ce type de solution (moins caricaturale) est envisageable, elle peut être mise en place mais de façon secondaire après le travail d'amélioration sur la source principale de perte. Cela diminue les risques d'interférence et permet de réaliser les améliorations étapes par étapes. Ce processus par itération a aussi l'avantage de pouvoir attribuer les gains à un type d'amélioration défini. Cette information a de la valeur pour les futurs chantiers d'amélioration en production, par exemple dans d'autres ateliers.

Dès lors, il nous faut des outils adaptés qui aident à améliorer les résultats en agissant sur la cause principale choisie. Ici ce sont des pertes à cause d'arrêts machine pour diverses raisons. Si l'on ne compte pas les bris de machine qui sont très rares, l'essentiel des pertes dues à des arrêts divers viennent de problèmes d'organisation des tâches et de temps de réglage. Pour améliorer ces temps de réglage et l'organisation des tâches, l'outil le mieux adapté est le SMED. Ce sont les principes de cet outil qui seront le plus utilisés et qui seront à appliquer en priorité pour obtenir des gains visibles.

3.4.2 Aide pratique à l'utilisation des outils d'amélioration : les capsules

Lors de l'application des méthodes et outils sur le terrain, ce mémoire de maîtrise n'est pas utilisable sous cette forme. Les opérateurs de production et le responsable de production ont besoin d'outils simples, concis, précis et très visuels. Si le message est bon mais que la forme

est inutilisable alors cela ne sera pas appliqué et l'ensemble du travail sera presque inutile. Il a été nécessaire de réaliser des capsules d'information imagées avec seulement quelques idées fondamentales qui font le cœur de chaque méthode.

Il y a trois (3) capsules. La première a pour but de faire comprendre comment se calcule le TRS. Dans cette capsule il y a d'abord la définition du TRS sous forme de la division de deux (2) temps. Pour arriver à cette division les sous éléments de temps (les pertes et le temps utile par rapport au temps total et au temps d'ouverture) sont explicités par quatre (4) schémas (voir Figure 3.2). Enfin, l'application peut se faire grâce à une marche à suivre simple en deux (2) diapositives.

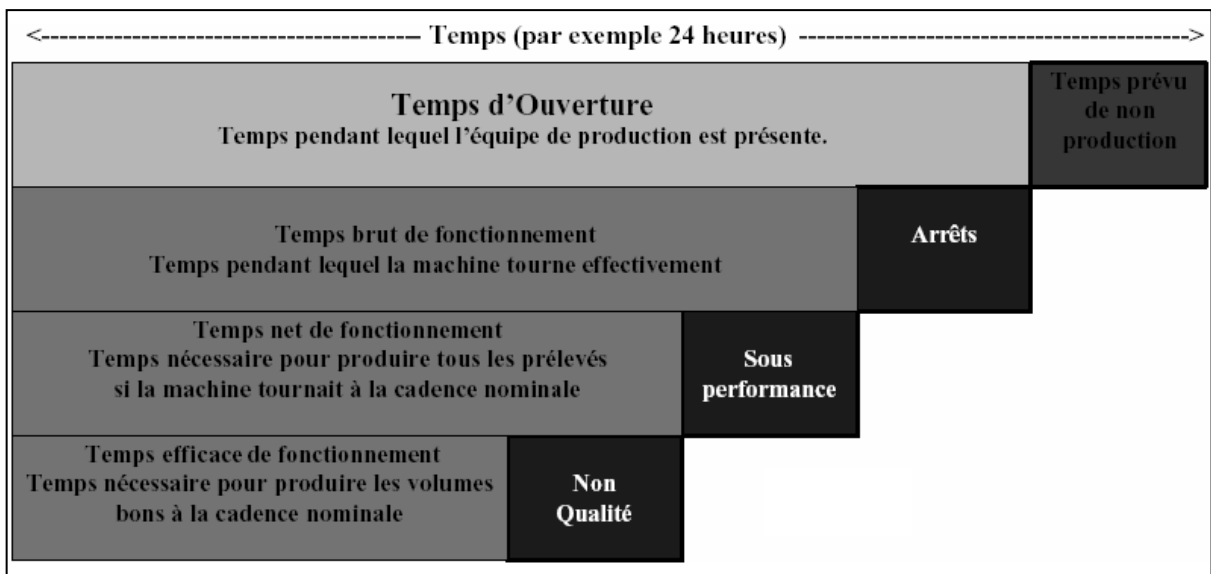


Figure 3.2 Définition visuelle du TRS.

La seconde capsule d'information concerne le SMED. C'est une fois de plus une simplification extrême de la méthodologie pour que ce soit applicable dans l'atelier. La capsule commence par donner une courte définition ainsi que le but du chantier SMED. Le procédé qui permet de faire le changement rapide d'outil (de lot dans notre cas) est imagé avec un exemple sur un passage au stand dans une course automobile (voir Figure 3.3). L'intérêt est de montrer que pour les opérateurs, le moment de pression est peut être très court et très intense avec tout le reste du temps qui est calme est qui sert juste à préparer le prochain passage aux stands critiques. Il y a un parallèle entre la voiture de course et la

machine à commande numérique ainsi que les mécaniciens et l'opérateur de production. Il y a ensuite une autre image qui montre qu'il y a beaucoup d'opérations à réaliser en peu de temps mais que bien organisé, cela est finalement assez simple et rapide.



Figure 3.3 Parallèle illustré avec les arrêts aux stands.

Cette capsule se termine par deux (2) diapositives qui donnent la marche à suivre pour réaliser ce chantier SMED et un exemple de liste de contrôle utilisable par les opérateurs de production. Il est clair que ce sont des exemples applicables mais qu'en pratique, les opérateurs pourront modifier cette liste comme ils le souhaitent, et en accord avec le responsable de production, afin que la performance soit maximale.

La dernière capsule d'information apporte une aide pour implanter un chantier 5S dans un atelier. Elle commence par une explication synthétique de l'état d'esprit à avoir pour se lancer dans ce chantier. Ensuite, un plan visuel montre les 5S (plus la sécurité) avec l'ordre

dans lequel les appliquer. Le mot O.R.D.R.E. est un moyen mémo-technique qui aide à se souvenir des cinq (5) étapes et de leur séquence, ce mot est ajouté en couleur sur le plan. Les cinq (5) étapes sont données sur des diapositives séparées. Chaque diapositive est essentiellement visuelle avec des dessins simples et explicatifs de chaque étape. A chaque étape correspond un mot d'ordre qui se rapporte au dessin (voir la Figure 3.4).

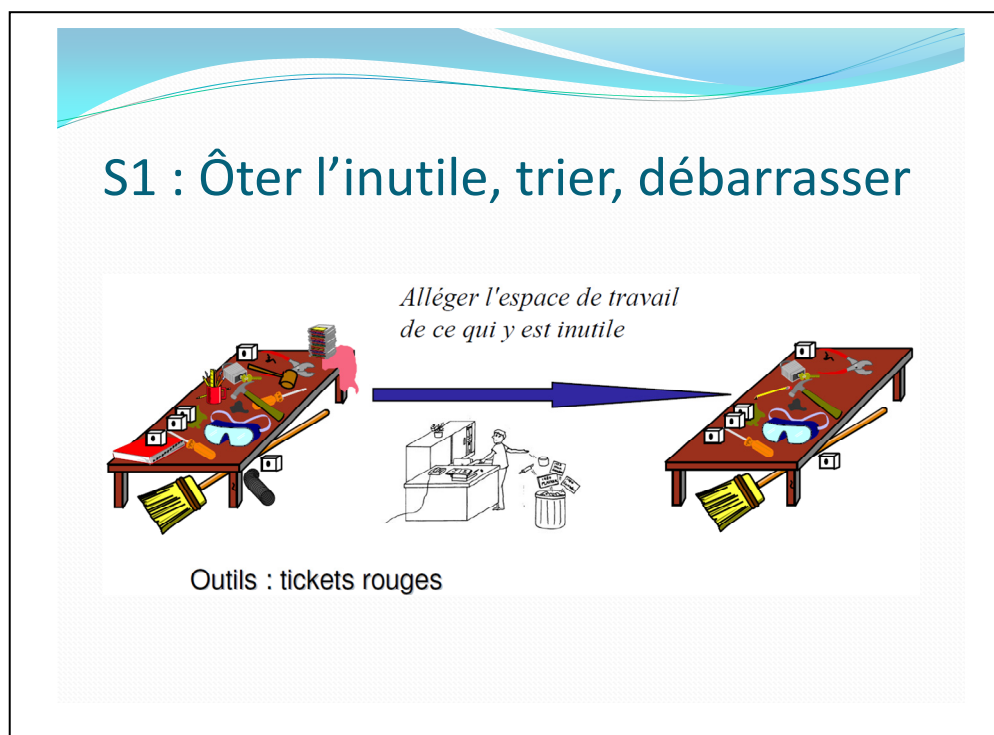


Figure 3.4 Un exemple de fiche de formation aux 5S

Après ces cinq (5) étapes, une dernière diapositive donne des exemples d'outils (tickets rouges) ou d'applications de chantiers 5S avec des photographies dans une usine.

La capsule TRS est disponible en annexe III, la capsule SMED est disponible en annexe IV et la capsule 5S est disponible en annexe V.

CHAPITRE 4

DIAGNOSTIC DE LA SITUATION

4.1 Taux de rendement synthétique sur les fraiseuses numériques

Le but du taux de rendement synthétique (TRS) est de mettre en évidence la proportion du temps où la machine travaille à produire des pièces de qualité par rapport au temps total où la machine est disponible (quand l'atelier est ouvert). On exprime cette proportion en pourcentage. Ce calcul permet de mettre en évidence des pertes et des possibilités d'optimisation. Il permet aussi de quantifier la part de chaque type de perte (non qualité, arrêts, ...) par rapport au total des pertes. Cet outil sera utilisé comme outil diagnostic.

Il est aussi important de rappeler que le travail d'optimisation sur une partie du processus de production a un intérêt uniquement si cette partie du processus est goulot. Or, l'atelier des machines à commande numérique est l'atelier le moins flexible et c'est dans cet atelier que la vitesse de l'ensemble du flux de production est déterminée. En agissant sur cet atelier, on agit sur l'ensemble du flux de production. L'une des raisons qui confirme le fait que cet atelier est goulot est le fait que tant qu'aucune amélioration n'est réalisée, la seule manière d'augmenter la capacité de production de l'usine c'est d'investir dans une nouvelle machine à commande numérique pour usiner plus d'orthèses plantaires ou alors de recruter du personnel qualifié pour travailler sur ces machines pendant un temps plus important chaque semaine. Ces solutions ont des coûts élevés.

Nous savons que pour calculer le TRS, nous devons quantifier les pertes. Nous allons commencer par les pertes dues à la non-qualité. Ce sont les pertes les plus évidentes à appréhender, ces pertes consistent en un temps d'usinage qui sert simplement à usiner des mauvais produits. C'est du temps machine purement perdu. Nous avons mesuré que sur une semaine moyenne avec une production de 300 paires d'orthèses plantaires, il y a 10 paires qui sont refusées à la sortie du fraisage et 15 paires refusées par les cliniciens. Les 10 paires refusées à la sortie de fraisage seront comptées comme de la non qualité (essentiellement à

cause d'un problème de succion de la table de fraisage ce qui crée un décalage de l'usinage). Les 15 paires refusées par les cliniciens sont des paires correctes du point de vue de la production. Ces 15 paires ne sont pas fournies au client final car le clinicien estime qu'elles ne corrigent pas correctement la pathologie. La cause du problème vient du clinicien, il a fait un mauvais diagnostic ou alors il a demandé une paire d'orthèse plantaire avec les mauvais paramètres. C'est une erreur humaine qui est extérieure au processus de production. Nous considérons que ces paires d'orthèses plantaires sont valides pour la qualité. Au final, sur 300 paires nous avons 10 paires non valides soit 3,33%. C'est un chiffre très positif.

Pour calculer le TRS, il y a deux (2) cas : une journée simple avec un seul opérateur et une journée avec deux (2) opérateurs. Ce sont les deux (2) cas qui sont possibles mais nous allons travailler uniquement sur le cas simple avec un opérateur. Le cas d'une journée avec deux (2) opérateurs ne change rien au diagnostic. Les problèmes traduits en pertes sont identiques. De la même manière, les propositions d'amélioration qui s'appliquent à une journée simple seront les mêmes pour une journée avec deux (2) opérateurs.

Pour la journée simple avec un seul opérateur, la production demandée est de six (6) lots de huit (8) paires d'orthèses entre 6h00 et 14h00. L'atelier des machines à commandes numériques est ouvert pendant huit (8) heures soit 480 minutes. Le nettoyage de la machine (vider les bacs de poussière de mousse du système l'aspiration) dure 30 minutes en fin de journée. Le responsable de la production demande à l'opérateur de produire six (6) lots de huit (8) paires d'orthèses plantaires sur deux (2) machines à commande numérique pendant ces huit (8) heures.

Le temps d'usinage d'un lot se calcul à partir de trois (3) étapes : l'usinage des trous (3 minutes), l'usinage du dessous (40 à 45 minutes), l'usinage du dessus (65 à 75 minutes). Il est important de comprendre que la fourchette de temps correspond à une contrainte réelle et impossible à modifier. Il s'agit de deux (2) causes principales. D'une part, chaque paire d'orthèses plantaire est différente, si un lot est composé de 8 paires qui nécessitent beaucoup de travail de la part de l'outil alors l'usinage sera plus long. D'autre part, les deux (2)

machines à commande numérique sont légèrement différentes, l'une des machines est plus lente que l'autre. Cette deuxième réalité a un impact moindre que la première.

Le temps total d'usinage est donc de $3 + 40 + 65 = 108$ minutes à $3 + 45 + 75 = 123$ minutes pour un lot de huit (8) paires, soit en moyenne 115,5 minutes. Dans une journée chaque machine usine trois (3) lots, soit un temps total d'usinage de $115,5 \times 3 = 346,5$ minutes. Le TRS est donc de $346,5 / 480 = 72,19 \%$.

Sur une telle journée, les machines ont produit six (6) lots de huit (8) paires soit 48 paires. 3,33 % du temps d'usinage a servi à produire des paires refusées au contrôle qualité, c'est-à-dire un temps d'usinage perdu de $346,5 \times 3,33 \% = 11,55$ minutes. Au total, la non-qualité représente une perte en TRS de $11,55 / 480 = 2,41 \%$. Les 30 minutes de nettoyage et maintenance représentent une perte de TRS de $30 / 480 = 6,25 \%$.

Les temps de préparation de la machine, des lots, les temps qui servent à retourner les blocs de mousse entre deux (2) phases de l'usinage sont tous des temps où la machine est disponible mais à l'arrêt. Ces temps représentent un total de $100 - (2,41 + 6,25 + 72,19) = 19,75 \%$. Le Tableau 4.1 résume les causes de perte de TRS.

Tableau 4.1 Causes de perte de TRS

Causes de perte de TRS	Pourcentage de perte	Perte relative
Non qualité	2,41%	8,48%
Maintenance et nettoyage	6,25%	22,00%
Arrêts divers	19,75%	69,52%

La Figure 4.1 montre que la répartition des pertes suit des valeurs semblables à un diagramme Pareto et dans ce cas particulièrement l'appellation de classes ABC. La classe A représente 70% du volume, un gain même limité sur cette classe a un impact majeur sur le résultat final, c'est donc sur cette classe que l'on doit focaliser les efforts. Les classes B et C représentent les 30% restants. Il est inutile de travailler sur ces éléments sauf si un gain très important et très simple à mettre en œuvre peut intervenir.

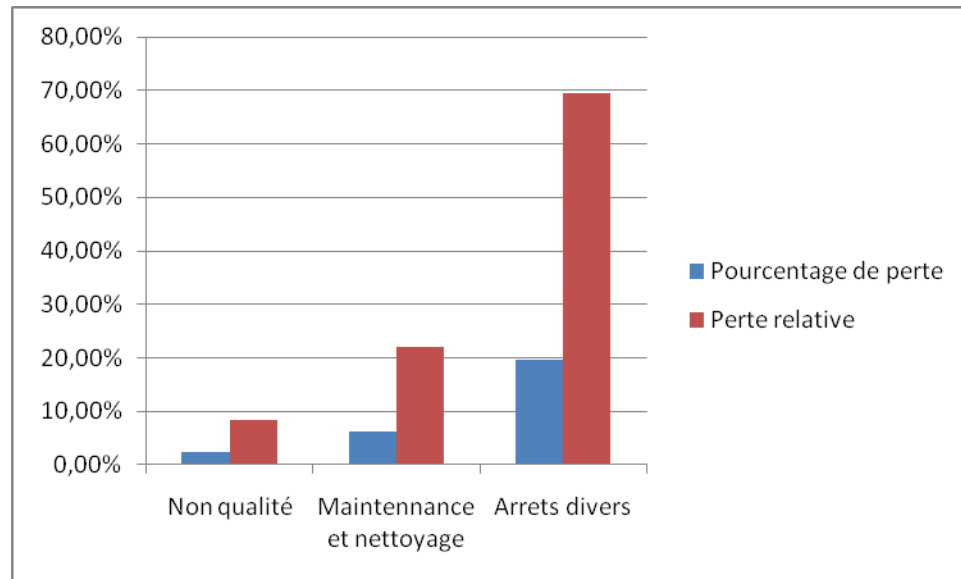


Figure 4.1 Causes de perte de TRS, relatives et absolues.

La seule nuance à ajouter est le fait que dans une journée à deux (2) opérateurs, le temps de maintenance et de nettoyage n'est pas exactement deux (2) fois plus long que dans une journée avec un (1) seul opérateur. Au lieu d'une demi-heure, cela passe à moins d'une heure. La conséquence c'est que le TRS peut varier légèrement et le pourcentage de perte due à la maintenance et au nettoyage est légèrement diminué.

4.2 Diagrammes de Gantt et PERT

Si l'on souhaite visualiser les tâches et leur enchaînement il est possible de réaliser un diagramme Gantt (voir Figure 4.2). Pour simplifier la compréhension et la lecture, nous allons commencer par donner le diagramme de Gantt correspondant à la fabrication d'un lot entier de huit (8) paires d'orthèses plantaires sur une machine à commande numérique.

On note U1 pour le cycle d'usinage des trous, U2 pour le cycle d'usinage du dessous et U3 pour le cycle d'usinage du dessus. Les S1, S2 et S3 sont les réglages des usinages correspondants.

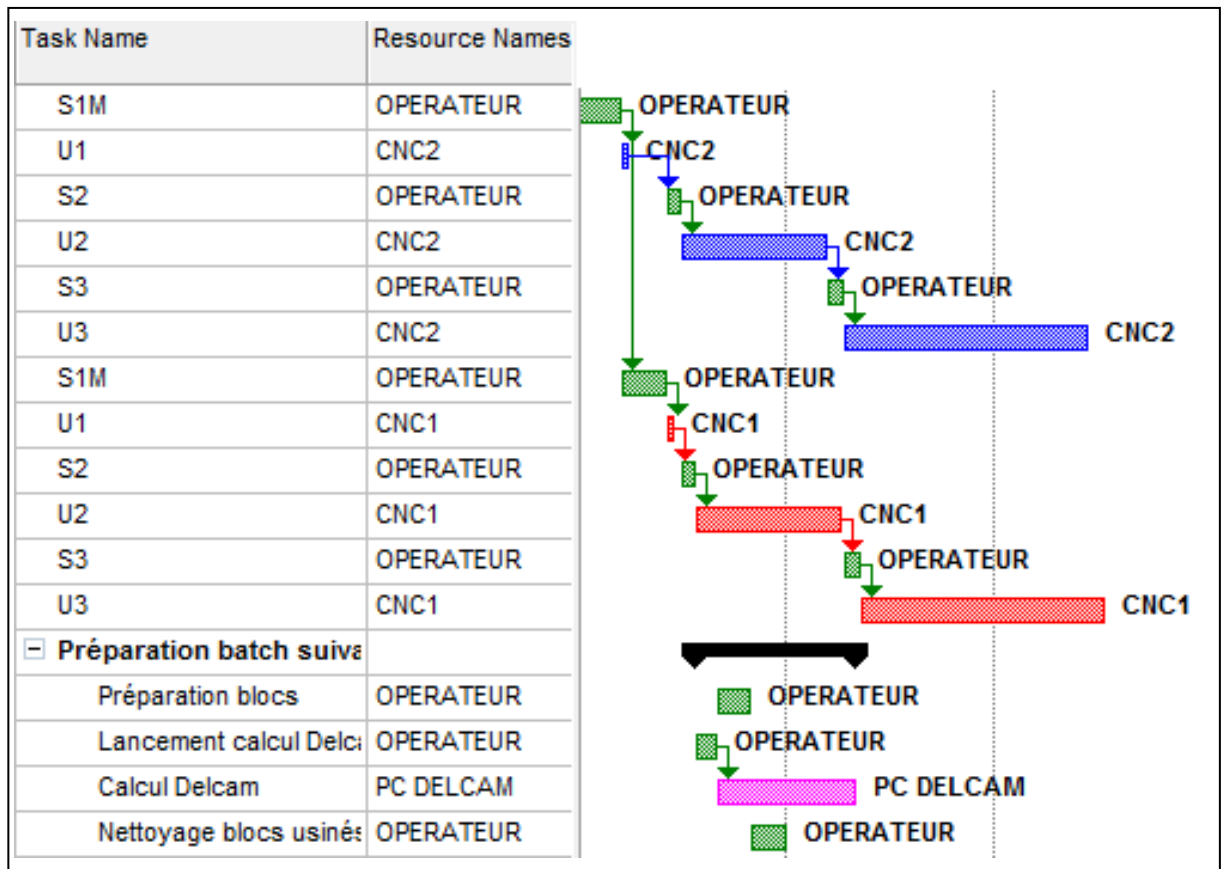


Figure 4.2 Diagramme Gantt synthétique de la fabrication de un lot de huit paires d'orthèses (avant modifications).

En plus de ce processus, il faut tenir compte de la particularité de la fabrication du premier lot du matin. En effet, le matin pour le premier lot, il est nécessaire de laisser la machine se mettre à température. Pour la préparation du premier lot du matin, il faut aussi faire attention car la suite de tâche varie étant donné qu'il n'y a pas de produits à enlever de la machine comme après l'usinage d'un lot précédent. On pourra retrouver cela sur le diagramme final.

La complexité vient d'abord du fait que deux (2) machines travaillent en parallèle à usiner chacune un lot de huit (8) paires et l'opérateur est seul à faire fonctionner ces deux machines.

Ensuite la complexité vient de l'enchaînement des lots entre eux. Il est possible de réaliser la représentation de l'ensemble du travail d'une journée sous la forme d'un diagramme de Gantt également. Ce diagramme est très grand et peu lisible c'est pourquoi il est possible de

simplifier les tâches. Pour refléter la journée de production selon un modèle plus simplifié nous avons agrégé les tâches des setups. A partir de ce modèle nous représentons toute la journée sur le diagramme disponible en annexe.

Ce diagramme est équivalent à un diagramme PERT qui met en évidence le chemin critique. Ce diagramme est assez grand il est donc également disponible en annexe.

On note que dans cette organisation les usinages sont sur le chemin critique tout comme les temps de setup. En revanche, si la préparation des batch et le calcul Delcam sont effectués correctement ils sont en temps masqués.

CHAPITRE 5

APPLICATION DES MÉTHODES D'AMÉLIORATION : PLAN D'ACTION

5.1 Atelier des machines à commande numérique

Comme nous avons pu l'expliquer précédemment, c'est dans cet atelier que le goulot de production est présent. Nous allons donc proposer des améliorations selon certaines priorités qui auront pour but d'améliorer les flux. Les améliorations à forte priorité améliorent la capacité maximale de production et ont des coûts de mise en place limités. En effet, ces améliorations agissent sur le cœur du problème qui est le goulot et dans le même temps elles ont des coûts qui sont acceptable pour une PME en tant qu'investissement. Nous recommandons de commencer par une réorganisation des tâches et l'intégration du cycle des trous en amont de cet atelier. Ensuite, il sera possible dans un second temps d'améliorer les cycles d'usinage, de réduire la-non qualité et d'optimiser le poste Delcam.

5.1.1 Réorganisation des tâches

Après avoir observé le fonctionnement de l'atelier des machines à commande numérique, nous avons diagnostiqué que les gains potentiels de productivité en réduction des pertes se situaient principalement au niveau des arrêts divers. Dans un premier temps nous proposons de réorganiser les tâches sans les modifier.

Les tâches de début et de fin de journée sont un peu particulières, donc nous allons commencer par les tâches du milieu de journée. A chaque réglage, autrement dit à chaque fois que la machine a fini d'usiner une phase, l'opérateur a une série d'actions à mener pour que la machine puisse usiner la prochaine phase. On se place donc du point de vue de la machine et nous essayons de faire en sorte qu'au moment précis où la machine s'arrête, tout soit prêt. L'opérateur doit être à son poste, les outils et la matière première, doivent être disponibles à portée de main. C'est un des principes du SMED. Toutes les actions qui

peuvent être faites en temps masqué seront faites en temps masqué. Les autres tâches sont critiques, ce sont celles qui seront nécessaires pour que la machine puisse recommencer à usiner.

Dans notre cas d'étude, nous avons toute la préparation des blocs de mousse qui peut être faite en temps masqué. Ce sont quelques minutes qui servent à sélectionner la bonne mousse par rapport à la commande, noter sur chaque bloc de mousse le numéro de commande pour tracer quel bloc donne quelle paire d'orthèses plantaires, et il faut aussi amener les blocs de mousse au plus près possible de la machine. Tout cela avant que la machine soit arrêtée. Il y a également tout ce qui est lié au calcul Delcam qui doit être prêt à l'instant où la machine à commande numérique s'arrête. Les tâches correspondantes sont le lancement du calcul Delcam par l'opérateur (glisser-déposer des blocs sur l'outil informatique, vérification des erreurs éventuelles du logiciel, *etc.*), le calcul en lui-même qui est assez long et enfin le passage du résultat du calcul depuis le PC avec Delcam vers la mémoire du contrôleur de la machine à commande numérique. La dernière tâche importante à effectuer en temps masqué est le nettoyage des blocs de mousse usinés pour en sortir le corps des paires d'orthèses plantaires. Cela inclut de recopier sous les semelles le numéro de commande inscrit sur le bloc de mousse, de jeter les chutes de mousse et d'enlever la poussière et les « copeaux » de mousse qui sont collés aux orthèses pour enfin mettre chaque fiche-commande et sa paire d'orthèses usinée dans un bac de couleur. Dans les faits, toutes ces dernières opérations sur les semelles usinées étaient généralement effectuées alors que les machines étaient arrêtées. C'est là une des améliorations majeures à apporter.

Pour appliquer ce principe, nous proposons de créer une liste de contrôle des éléments à avoir prêts et d'afficher cette liste sur un mur visible de l'atelier. De plus, il serait possible d'installer un système qui prévient quand une machine à commande numérique va s'arrêter pour s'apprêter à réaliser le réglage et pour avoir le temps d'être sur place et de vérifier la liste. A cela, s'ajoute le fait que l'opérateur n'est pas stressé par un oubli éventuel car il a le temps d'y remédier avant que la machine ne s'arrête. Il est possible de régler l'avertisseur sur 3 minutes ou 5 minutes par exemple. Dans l'idéal, il pourrait y avoir quelques jours de tests

afin d'adapter le système en fonction des retours de l'opérateur. L'avertisseur peut être lumineux, sonore ou autre, cela représente un coût d'installation tout à fait minime.

5.1.2 Intégration du cycle de fraisage des trous en amont

L'usinage des paires d'orthèses comprend trois (3) phases distinctes et donc trois (3) réglages différents. Chaque usinage et chaque réglage est critique car sa durée impacte tout le flux de production. Nous avons le premier usinage qui est très simple et qui consiste à réaliser deux (2) trous sur chaque plaque du lot de huit (8) paires. Ces trous servent ensuite d'origine pour l'usinage, ils n'ont aucune fonction pour le client final. La caractéristique essentielle c'est l'écartement des trous qui doit être précis, il est donc fait précisément par la machine à commande numérique. En revanche, le positionnement des trous sur la plaque est important mais, s'il y a un léger décalage, cela n'impacte pas le produit final, cela impacte seulement les chutes de mousse qui sont jetées de toute façon.

Nous proposons donc que la machine à commande numérique ne réalise plus cette phase de l'usinage. Cette phase serait faite en amont, systématiquement sur toutes les plaques après qu'elles aient été découpées et que leur hauteur ait été rectifiée. Cela peut être fait avec une perceuse à colonne ayant le bon foret. Plusieurs solutions techniques existent. Il est par exemple possible de poser la plaque sur un support et de l'amener en butée dans un coin, de percer un premier trou, puis de placer la plaque avec un trou sur un deuxième support avec un plot de positionnement et une butée pour percer le deuxième trou. Une autre solution est de fixer à la perceuse à colonne un mandrin double ayant un écartement très précis (c'est-à-dire celui des plots de positionnement sur la machine à commande numérique). Il existe de nombreuses autres solutions simples ayant des coûts variant de quelques dizaines ou centaines de dollars à plusieurs milliers de dollars. Il n'est pas nécessaire de choisir un système coûteux, un système économique et efficace est recommandé.

5.1.3 Propositions portant sur les cycles d'usinage

Il y a trois (3) cycles d'usinage. Le premier cycle sert à usiner les deux (2) trous de positionnement. Nous avons proposé que ce cycle soit « externalisé », c'est-à-dire qu'il soit réalisé sur une autre machine en dehors du chemin critique des tâches. Le second cycle d'usinage usine le dessous de la semelle et le troisième cycle d'usinage usine le dessus de la semelle. Ce sont les deux (2) cycles les plus longs et ils sont tous deux sur le chemin critique. Cela signifie qu'un gain de temps sur ces cycles donne un gain de productivité sur l'ensemble du processus de production. Après avoir observé l'usinage, nous avons noté que l'outil usinait les paires d'orthèses une par une et que le trajet entre ces paires d'orthèses pouvait être amélioré. Actuellement sur un lot de huit (8) paires d'orthèses le trajet forme une sorte de zigzag comme représenté sur le schéma de la Figure 5.1.

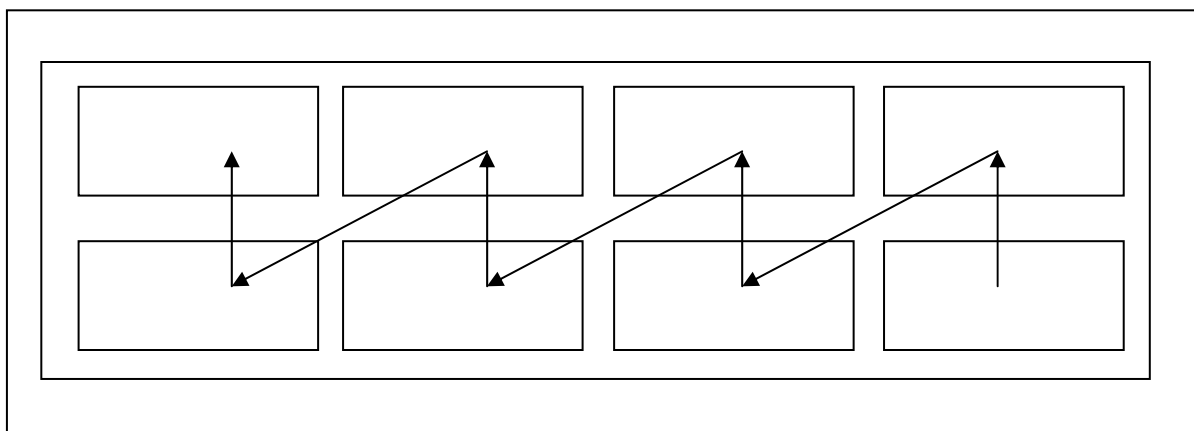


Figure 5.1 Ordre d'usinage des plaques (avant modifications).

Il est possible, sans modifier l'usinage en lui-même, de changer le trajet entre les plaques. Voici deux (2) exemples représentés à la Figure 5.2. Le dernier trajet est clairement plus efficace par rapport au trajet de référence, les mouvements de droite à gauche (ou inversement) sont équivalents et les mouvements de haut en bas sont plus courts puisqu'ils sont directs. Historiquement les trajets « inter plaques » avaient été défini simplement par rapport à la numérotation par défaut des plaques, il suffirait alors soit de changer la numérotation des plaques, soit de modifier l'ordre d'usinage par rapport à la numérotation de

base. Un calcul économique des gains potentiels par rapports aux coûts de réalisation de cette amélioration par un spécialiste serait à effectuer.

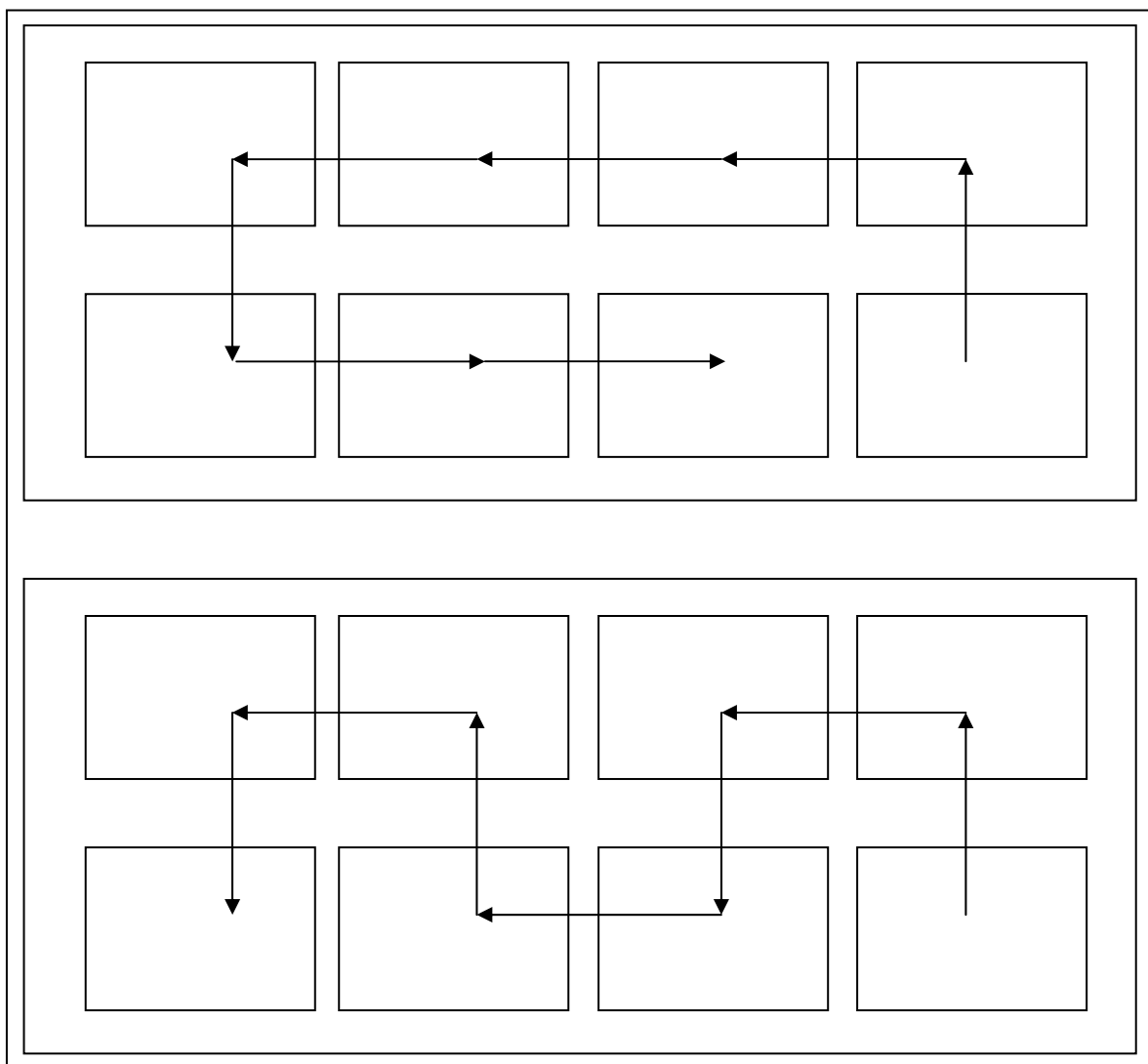


Figure 5.2 Ordre d'usinage possible des plaques.

Au niveau du cycle d'usinage, il y a une autre source d'amélioration importante. Il s'agit de réaliser des sous-lots et de s'inspirer de méthodes de palettisation. Dans notre cas, cela permettrait d'améliorer le TRS en réalisant des opérations de réglage en temps masqué et de gagner en flexibilité. Un exemple applicable serait de séparer le lot de huit (8) plaques en deux (2) sous-lots de quatre (4) plaques. Chaque sous-lot serait usiné à une extrémité de la table de la machine à commande numérique comme sur le schéma de la Figure 5.3.

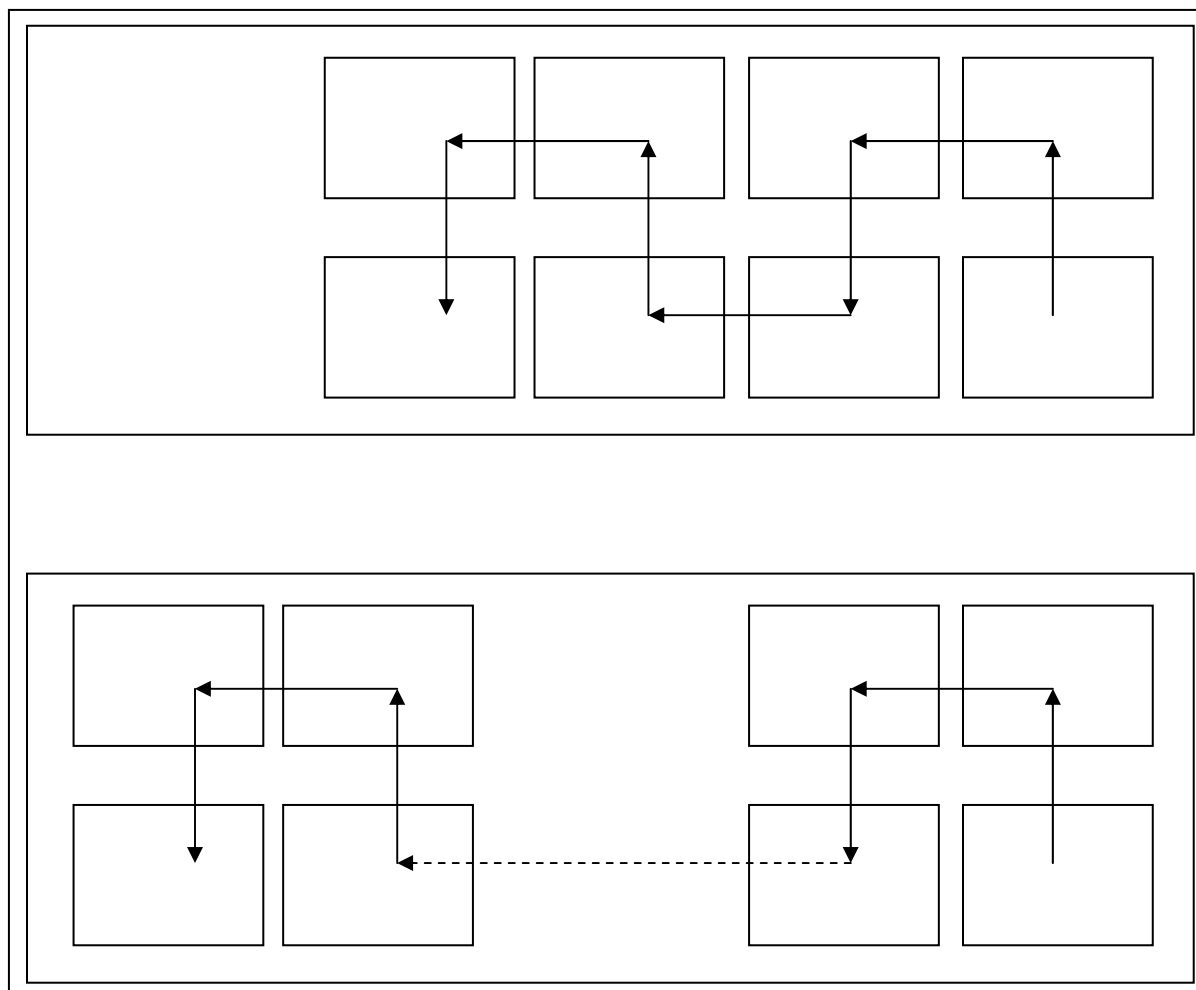


Figure 5.3 Autre ordre d'usinage possible des plaques (avant et après).

Ce schéma n'est qu'une des possibilités. Dans la pratique, la machine à commande numérique commencerait à usiner les quatre (4) premières plaques, puis se déplacerait de l'autre côté de la table d'usinage pour usiner les quatre (4) dernières plaques. Pendant l'usinage des 4 dernières plaques, l'opérateur pourrait réaliser le réglage des quatre (4) premières plaques (par exemple le réglage numéro 3 qui revient à retourner les plaques et bien les fixer). Si la machine usine en même temps que l'opérateur travaille, alors il y a théoriquement un danger pour l'opérateur. Afin de parer à ce danger, il y a plusieurs solutions simples et applicables. La première solution revient à poser une barrière optique entre les deux (2) sous-lots. Cette barrière s'active au passage de la machine du premier sous-lot vers le second sous-lot et lorsque la machine revient vers le premier sous-lot alors elle

s'arrête automatiquement. Seul l'opérateur peut la relancer. Le même principe serait appliqué pour l'usinage du premier sous-lot pendant que l'opérateur réalise le réglage du second sous-lot. D'autres solutions simples existent et impliquent des coûts de mise en œuvre modérés.

L'avantage principal de cette méthode serait de réaliser toutes les opérations de réglage en temps masqué sauf le premier réglage de la journée. De plus chaque réglage est divisé en deux (2) petits réglage pour chacun des sous-lots. Cela permet de laisser à l'opérateur plus de temps pour réaliser correctement les opérations de réglage sans être sous pression puisqu'il sait que les opérations de réglage ne sont plus sur le chemin critique des tâches.

5.1.4 Propositions portant sur le poste du PC Delcam

Les opérations réalisées par l'opérateur et le calcul réalisé par le PC Delcam ne sont pas sur le chemin critique des tâches. En conséquence, les améliorations à réaliser sur ce poste ne sont pas prioritaires.

La première source d'amélioration est très simple mais elle implique un investissement. Il s'agit de doubler le PC et le logiciel Delcam. En effet, cela permettrait d'avoir un PC Delcam par machine à commande numérique, chaque PC Delcam pouvant calculer les trajets d'outil et le code associé de son côté. Le principal avantage de ce système est d'apporter de la robustesse au système de production. Si l'un des deux (2) PC Delcam a un problème quelconque, alors la production n'est pas complètement stoppée, elle peut être assurée sans souci majeur. Le second avantage est marginal. Il s'agit d'améliorer la performance dans un cas particulier. Lorsque les commandes reçues la veille par le système informatique sont peu nombreuses (moins de 8 par machine) alors il est impossible de lancer le calcul par le logiciel Delcam avant le matin car il n'est pas possible de constituer un lot de (8) orthèses ayant des caractéristiques et donc des trajets d'usinage encore inconnues. Dans ce cas, le calcul par le logiciel Delcam prend 20 minutes comme d'habitude pour huit (8) paires d'orthèses plantaires, mais il se retrouve sur le chemin critique. Ce gain est marginal car il s'agit d'un

gain de productivité à un moment où l'outil de production n'a pas besoin d'être sollicité au maximum pour produire la quantité commandée.

Une autre source d'amélioration peut être apportée au niveau de ce poste. Il est possible de traiter automatiquement les commandes reçues informatiquement depuis les cliniciens pour que le serveur les achemine vers une liste d'attente sur le PC Delcam. Dès que le PC Delcam à 8 commandes, il effectue lui-même l'opération de glisser-déposer sur le logiciel Delcam et lance le calcul. À la fin du calcul, si aucune erreur n'est signalée, il peut envoyer le résultat vers la machine à commande numérique qui attend simplement la validation du lancement de l'usinage par l'opérateur. Si une erreur est signalée, alors le logiciel n'envoie pas le résultat du calcul, il attend que l'opérateur vienne corriger manuellement l'erreur.

Dans un second temps, il serait possible d'améliorer le système pour qu'il puisse trier les commandes reçues en fonctions de certains critères à définir suivant les besoins. Le premier exemple serait un besoin de garantir un délai ferme, réduit au minimum et identique à tous les cliniciens. Dans ce cas, les cliniciens qui envoient une commande et vers qui le délai de livraison est le plus long seraient traités en priorité. Dès qu'une de leur commande arrive dans le système informatique, cette commande serait prise en premier dans le logiciel Delcam. Une autre possibilité serait de définir que la machine à commande numérique 1 (CNC1) serait la machine « rapide » et la CNC2 serait la machine « lente ». Cela signifierait que toutes les paires d'orthèses ayant certains critères identifiés comme ralentissant l'usinage seraient regroupées sur la CNC2 et inversement pour la CNC1. Ces critères peuvent être la taille de la paire d'orthèse, le volume de mousse à usiner ou même certains critères d'usinage comme les courbures, le nombre de phase d'accélération de la machine, *etc.* Au final cela apporterait un découplage des cycles sur les deux (2) machines à commande numérique qui permettrait à la machine la plus rapide de faire les cycles d'usinage numéro 2 en 40 minutes et numéro 3 en 65 minutes. En contrepartie la machine la plus lente réaliserait les usinages numéro 2 en 45 minutes et numéro 3 en 75 minutes. La machine la plus rapide gagnerait 7 à 8 minutes par lot par rapport à la moyenne, de même la machine la plus lente perdrait 7 à 8

minutes par lot par rapport à la moyenne. Cette possibilité offre une plus grande flexibilité dans l'ordonnancement de la production.

Tout ce temps de travail libéré à l'opérateur de production affecté aux machines à commande numérique n'est pas sur le chemin critique. Cela fait que ce n'est pas une priorité, néanmoins cela donne du temps disponible à cet opérateur. Ce temps peut alors être réaffecté, par le directeur de production, à d'autres tâches comme par exemple de l'entretien, de la découpe des bandes de mousse de matière première, de la formation, ou autre suivant les besoins de l'entreprise.

5.1.5 Réduction de la non-qualité

Le diagnostic de la situation nous a montré que dans notre cas d'étude, la non-qualité au niveau de l'atelier à commande numérique est secondaire. Néanmoins, cela reste une source potentielle d'amélioration. Sur les huit (8) positions possibles pour l'usinage des paires d'orthèses plantaires, seules trois (3) génèrent de la non-qualité. A partir de cette hypothèse, on peut immédiatement comparer l'utilisation actuelle à une utilisation qui ne générerait aucun défaut de qualité. Pour cela, il suffit de ne plus faire de lots de huit (8) mais simplement des lots de cinq (5). On obtient alors un temps d'usinage qui est multiplié par $5/8$. La question que l'on se pose est de savoir si cela devient rentable. On prendra pour hypothèse que le coût de matière première économisée et l'usure de l'outil évitée sont considérés comme négligeables. Les 42 minutes d'usinage du dessous des orthèses deviennent $42 \times 5/8 = 26$ minutes (après arrondi). De même, les 70 minutes d'usinage du dessus des orthèses deviennent $70 \times 5/8 = 44$ minutes (après arrondis).

Il est possible de supposer que la réduction de la taille de lot va aussi réduire le temps de calcul Delcam dans la même proportion. Dans ce cas le calcul fait en 40 minutes (2 fois 20 minutes) peut se faire en un total de 25 minutes mais le temps de lancement du calcul par l'opérateur ne va probablement pas varier d'autant puisqu'il aura toujours un même nombre d'opérations informatiques à effectuer.

A partir des données du diagnostic, si l'on considère le processus d'usinage actuel (avec le cycle de perçage des trous) on obtient qu'il est possible de réaliser quatre (4) lots en 435 minutes, quatre (4) lots plus les deux (2) premières phases d'usinage du cinquième lot en 478 minutes et cinq (5) lots en 506 minutes.

Même en envisageant de proposer du temps de travail supplémentaires (troisième cas) la production nous donne cinq (5) lots de huit (8) paires sur deux (2) machines soit un total de 50 paires d'orthèses de bonne qualité dans la journée. En temps normal, avant optimisation, la production est de 48 paires d'orthèses dans la journée avec une moyenne de 2,41 % de non-qualité. Cette non-qualité représente l'équivalent d'environ une paire refusée par jour soit un total de 47 paires produites par jour.

Il y a une deuxième option à considérer. Il serait possible de faire un suivi précis pendant plusieurs semaines du nombre de paires d'orthèses refusées pour non qualité et venant de chacune des trois (3) positions problématiques. En effet, chaque position ne provoque pas un taux de non-qualité équivalent aux autres positions. Une fois ce comptage des taux de non-qualité par position effectué, il serait possible de comparer les différentes options (usinages par lots de 5, 6, 7 ou 8 plaques et en faisant varier les positions).

La dernière option consisterait à travailler sur la cause de la non-qualité. En l'occurrence, il s'agit d'un problème essentiellement dû aux vibrations de la fraiseuse numérique et au système de fixation des plaques de mousse par succion plus le rouleau adhésif. Les travaux d'amélioration de la qualité semblent complexes et coûteux et le taux de non-qualité est assez faible. En conséquence, il n'est pas recommandé de travailler cette option. Afin d'en être certain, il faudrait avoir une idée précise des coûts de telles améliorations techniques comparés aux faibles gains que la réduction du taux de non-qualité apporterait.

5.2 Autres ateliers

Les autres ateliers sont l'atelier de finition et l'atelier de stockage et préparation de la mousse. Ces ateliers font partie du flux de production mais le goulot de production n'y est pas présent. C'est pourquoi ils ne sont pas prioritaires, les actions à mener dans ces ateliers doivent intervenir une fois que les actions d'amélioration sur l'atelier goulot (atelier des machines à commande numérique) auront eu lieu.

5.2.1 Finition : réorganisation des postes et chantier *lean*

Comme cela a été expliqué, les tâches de l'atelier de finition sont principalement des tâches manuelles et quasiment artisanales. Cet atelier est flexible et il a potentiellement une capacité de production supérieure à l'atelier des machines numériques qui est en amont. Cela est vrai si l'on regroupe l'ensemble des sites sur lesquels les opérations de finitions sont réalisées et donc cet atelier n'est pas goulot.

Même si cet atelier n'est pas goulot, il y a des améliorations qui peuvent être apportées, le but n'étant pas en priorité d'augmenter la capacité de production. Sur le site de production principal, l'ensemble des postes de finition ont été revu en utilisant des principes issus du 5S. Par exemple, les outils les plus utiles et les éléments tels que les *inserts* sont à portée de l'opérateur avec des stocks de proximité, une prise d'air comprimé, une prise électrique, des rangements, une table à découper, une table à coller les recouvrements. Il n'est plus nécessaire que les opérateurs aillent à différents endroits de l'atelier de finition pour qu'ils finissent une paire d'orthèse au complet.

Un chantier 5S complet n'a pas été réalisé pour obtenir ce résultat mais c'est l'étape suivante. Dans les faits le chantier 5S aura pour but de maintenir propre et en ordre les postes de travail comme ils ont été conçus. Puis, il y aura un retour d'expérience sur l'utilisation en condition réelles de production de ces postes de travail. Si des éléments (outils, meubles, machines) se sont avérées inutiles elles seront retirées, si d'autres éléments ont été sous utilisées alors ils

seront remisés ou rangés à l'écart. Toutes les améliorations proposées seront à étudier et à implanter si elles font consensus entre les opérateurs et le directeur de production. Il sera important d'essayer d'ajouter des éléments visuels (exemple : code couleur, photographies, schémas sans texte, ...) qui permettent d'abord d'améliorer la sécurité mais aussi de standardiser les opérations entre les différents opérateurs de finition. Si l'entreprise peut assurer une finition standardisée de ses produits, alors c'est une plus value de qualité comparativement à des produits finis différents. Autant que possible, ces standardisations si elles s'avèrent efficaces seront à exporter vers les autres sites de production de l'entreprise. Ces éléments de standardisation seront aussi un gain de temps de formation des nouveaux employés. Plus ces employés apprennent vite avec des techniques et du matériel identique pour tout le monde et simple, plus vite ces employés seront rentables pour l'entreprise. Enfin, il faudra pérenniser les bonnes pratiques comme pour l'ensemble des ateliers.

D'autres chantiers *lean* peuvent apporter un gain pour l'entreprise dans le futur en fonction des difficultés rencontrées. Il faudra adapter les outils et les méthodes à la situation réelle du moment mais l'essentiel sera de garder l'état d'esprit d'amélioration continue.

5.2.2 Stockage et atelier de découpe en amont

Dans cet atelier des tâches ont été ajoutées après avoir fait les modifications prioritaires sur l'atelier des machines à commande numériques. En plus du stockage de la mousse, de la découpe et de la rectification des plaques, il faudra réaliser les deux (2) trous de positionnement.

Nous avons déjà proposé des solutions techniques pour la réalisation des trous avec une perceuse à colonne. Nous pouvons maintenant proposer de réaliser une suite logique d'actions de production qui soient rationalisées dans cet atelier de stockage.

Après la réorganisation des actions dans l'atelier de fraisage numérique, nous avons vu que l'opérateur de ces machines à un temps disponible non utilisé important. Cet opérateur peut

utiliser une partie de ce temps pour préparer des plaques. Cela est particulièrement vrai pour les moments de l'année qui ont des besoins faibles. Dans ce cas, l'opérateur de production remplace l'embauche de l'opérateur temporaire qui a comme mission de simplement découper et rectifier les blocs, ce qui est une économie. Cet opérateur temporaire peut toujours être embauché pour des missions plus courtes en cas de besoin urgent pendant des périodes de demande importante qui se succéderaient et si dans le même temps l'opérateur des machines à commande numérique n'a pas suffisamment de temps disponible pour ces tâches.

L'organisation des machines dans cet atelier peut être revue. Il est possible de réaliser un enchaînement logique des actions. Un exemple proposé consiste d'abord à passer chaque bande de mousse au complet dans la machine à rectifier pour environ cinq (5) bandes d'affilées puis de découper avec la scie à ruban ces bandes qui se sont retrouvées empilées à la sortie de la rectifieuse. Les blocs découpés sont empilés à la sortie de la scie à ruban (du côté opposé à l'arrivée des bandes). Ces blocs peuvent alors être percés sur la perceuse à colonne un par un ou si possible plus à la fois suivant la faisabilité. Une fois les blocs finis à partir des cinq (5) bandes, ces blocs peuvent être stockés par l'opérateur. En déposant les blocs dans le stock l'opérateur peut alors prendre au retour les bandes suivantes qui seront rectifiées, découpées et percées. Ces sortes de lots peuvent être constituées de cinq (5) bandes comme proposé mais ce chiffre peut évoluer en fonction du retour d'expérience de l'opérateur. L'avantage de ce fonctionnement est qu'il limite la valeur de la matière première stockée. En effet, les immobilisations de matière première ont une valeur moyenne plus faible car le nombre de bandes de mousse « traitées » et donc qui ont pris de la valeur en étant transformés en blocs de mousse rectifiés et percés, est plus faible.

Si cette pratique est appliquée, il faudra tout de même rappeler à l'opérateur de production assigné aux machines à commande numérique que sa priorité reste les machines à commande numérique. Il faudra donc rappeler que l'avertisseur sonore et/ou visuel qui lui indique la fin d'une phase d'usinage dans 5 minutes et que pour lui ce signal soit signifier qu'il laisse le travail dans l'atelier de stockage en plan car ce travail n'est pas critique.

5.3 Pérenniser les bonnes pratiques : les gammes de fabrication

Pérenniser les bonnes pratiques de production peut paraître simple au premier abord. Dans les faits, cela est plus compliqué. Les gammes de fabrication sont un outil qui permet de garder une méthode adoptée. L'objectif lorsque l'on améliore le système de production n'est pas de l'améliorer pour avoir de bons résultats puis de retomber dans des travers qui font perdre de bonnes habitudes et donc diminuer la performance. Une bonne gamme de fabrication est simple, visuelle et contient peu de texte. Elle fait une seule page, ou au maximum deux si le processus est très complexe. Le but est de décrire la méthode pour réaliser une opération sur un poste de travail jusqu'à ce que le produit passe au poste de travail suivant (client, interne ou externe).

Dans notre cas d'étude, il y a trois (3) gammes de fabrication principales à réaliser. Une (1) gamme de fabrication pour le stockage et la préparation des blocs de mousse, une (1) pour l'usinage des blocs de mousse sur les machines à commande numérique et une (1) pour la réalisation des opérations de finition. Pour réaliser ces gammes nous devons faire un travail collaboratif entre l'opérateur (celui qui connaît le mieux le travail au quotidien) et le responsable de production.

La gamme de fabrication au niveau du stockage de la mousse peut contenir plusieurs informations clés : la méthode de rangement des palettes dans le stock (schéma ou plan par type de mousse), la méthode de découpe des plaques avec la scie à ruban (avec une photographie idéalement), la méthode de rectification de la hauteur des plaques de mousse (avec une photographie) et enfin la méthode de perçage des deux (2) trous sur la perceuse à colonne avec positionnement (avec une photographie). Cette gamme de fabrication, comme celle des autres ateliers doit être imprimée en grand format et affichée sur chaque poste de travail de façon claire et visible et non pas derrière une porte ou sur un mur non éclairé. De plus les gammes de fabrications comprennent une liste des équipements de sécurité que les

opérateurs doivent porter pendant l'exécution des opérations ainsi qu'une liste des points de contrôles qualité à effectuer avant de passer le produit à l'étape suivante.

La gamme de fabrication au niveau de l'usinage des blocs de mousse doit comporter tous les éléments génériques (sécurité, qualité, *etc.*) plus la méthodologie pour chaque réglage précis, la méthodologie pour le lancement de la machine à commande numérique et la méthodologie d'utilisation du logiciel Delcam. Les cas particulier d'utilisation (panne, fonctionnement en mode dégradé, erreurs diverses) ne sont pas précisés sur les gammes de fabrication, dans ces cas précis, il faut se reporter aux manuels des machines ou à la formation des opérateurs.

La gamme de fabrication au niveau de l'atelier de finition doit comporter une liste de contrôle des éléments présents au poste de travail (matière première, outils), les éléments de sécurité et de qualité, ainsi que la méthode de finition « classique », c'est la méthode de finition pour les produits les plus simples, sans *inserts* par exemple. En effet, ce cas est particulier. Il est impossible de définir une méthode qui fonctionne tout le temps puisque c'est une opération manuelle qui adapte la paire d'orthèse à la pathologie de chaque patient. Il est toutefois possible de définir une méthode généralisée pour la plupart des cas avec des options possibles. Par exemple, il est possible de dire que la présence d'*insert* dépend de la commande.

La réalisation ou la mise à jour de ces gammes de fabrication après chaque chantier d'amélioration de la production permet d'avoir des documents de travail à jour et utilisables. Cela permet aussi d'avoir la possibilité, dans le futur si cela devient nécessaire, d'avoir une base de travail claire pour une éventuelle mise aux normes comme, par exemple, une mise aux normes de type ISO-9000 pour garantir la qualité du processus de fabrication ou des produits.

CHAPITRE 6

DISCUSSION

6.1 Les hypothèses

Des hypothèses de travail ont été utilisées et peuvent être discutées. Par exemple, l'hypothèse que seule trois (3) positions parmi les huit (8) sur la table de la machine à commande numérique génèrent de la non-qualité d'usinage. Cette hypothèse est en théorie fausse car il est possible que la machine produise des erreurs d'usinage à toutes les positions. En réalité, la pratique a montré que tous les problèmes d'usinage viennent de ces trois (3) positions.

Le fait que l'on considère que l'on a toujours huit (8) paires d'orthèses plantaires commandées au moment où l'opérateur doit lancer le calcul Delcam d'un lot de huit (8) paires a aussi eu une conséquence particulière. En effet, le calcul Delcam nécessaire pour lancer le premier lot de la journée est fait le jour précédent. Il devrait donc avoir 16 commandes en attente la veille de chaque journée. Dans la pratique, nous avons remarqué que ce n'était pas toujours vrai. Il faut se rappeler que cette hypothèse est toujours vérifiée lorsque la demande est importante et donc que le système de production fonctionne à sa capacité maximale. C'est bien le cadre de notre étude. S'il y a moins de commandes lorsque la demande est moins forte, le système de production ne sera pas à capacité maximale et l'optimisation de ces tâches ne sera pas parfaite. Dans ce cas, cela revient par exemple à lancer le calcul Delcam le lendemain matin à l'ouverture de l'usine.

6.2 Les résultats espérés après implantation

Grâce au calcul du TRS dans le diagnostic de la situation, nous allons pouvoir garder cet indicateur comme référence pour comparer nos résultats attendus. Nous avons un TRS d'environ 72 % pour une journée simple où un opérateur produisait $3 \times 2 = 6$ lots de huit (8) paires d'orthèses plantaires.

Après avoir réorganisé les tâches et réalisé le cycle d'usinage des trous en temps masqué, il est possible de réaliser sept (7) lots de huit (8) paires d'orthèses plantaires par journée de 480 minutes. Cela vient du fait qu'il est possible de fabriquer six (6) lots par jour et une partie de l'usinage d'un septième lot. Le lendemain, le premier usinage à réaliser est la fin de l'usinage du lot commencé la veille. Autrement dit, pendant la première journée, il est possible de réaliser six (6) lots et d'usiner le dessous des orthèses plantaire de deux (2) lots alors que la deuxième journée, il est usiné le dessus des paires d'orthèses de ces deux (2) lots puis les six (6) lots « normaux ». Au global, cela revient à réaliser deux (2) lots supplémentaires sur une période de deux (2) jours. Le temps nécessaire pour la pause de 30 minutes de l'opérateur est toujours disponible en temps masqué pendant la dernière phase d'usinage des deux (2) derniers lots. L'organisation des tâches correspondante est disponible en annexe VI.

On note que le temps théorique est de 483 minutes pour la première journée et de 506 minutes pour la deuxième journée. L'explication principale de cette différence vient du fait que lors de la première journée, l'usinage U2 (42 minutes en moyenne) est réalisé pour les deux (2) lots supplémentaires alors que lors de la deuxième journée l'usinage U3 (70 minutes en moyenne) est réalisé pour ces deux (2) lots supplémentaires.

Le temps de travail d'une journée est de 480 minutes. La journée de 483 minutes peut être considérée comme une journée complète. Les trois minutes de plus ne sont pas significatives car nous avons travaillé sur des temps moyens et nous avons fait des arrondis à la minute près. Dans le cas où cela représenterait plutôt 5 minutes dans la réalité, il est possible soit de compter ce temps comme du temps de travail en heures supplémentaire ou alors de décompter ces quelques minutes sur une autre journée dans une période qui ne nécessite pas de produire à capacité maximale.

La journée de 506 minutes peut être réalisée avec du temps supplémentaire. Néanmoins il serait plus judicieux de ne pas réaliser le nettoyage quotidien ce jour là pour gagner 30 minutes et donc faire une journée de 476 minutes ce qui serait correcte (d'ailleurs les 4

minutes gagnées par rapport au temps de base de 480 minutes peuvent aider à équilibrer avec la journée précédente). Dans ce cas, le nettoyage peut être fait par un opérateur de l'atelier de finition par exemple. En effet, nous avons vu que le travail dans l'atelier de finition n'est pas critique et il est très flexible. Cette méthode de nettoyage dérogatoire est exceptionnelle, c'est un (1) jour sur deux (2) pendant les quelques périodes critiques de l'année qui sont connues du responsable de production. Il est aussi possible de trouver d'autres formes d'organisation en collaboration avec les opérateurs du site de production. Une dernière possibilité serait de diminuer au maximum ces 30 minutes de nettoyage. Dans cette optique il serait possible de prévoir une évacuation directe des déchets d'usinage, et des poussières aspirées, dans une benne extérieure.

Avant toute modification sur les cycles d'usinage long, ou sur la-non qualité, on obtient un meilleur TRS. Pour le calculer, on a toujours 3,33 % de non qualité

Sur chaque machine, le temps d'usinage de chaque lot est de 42 minutes pour le cycle du dessous et de 70 minutes pour le cycle du dessus, soit un total de 112 minutes. Chaque machine a usiné sept (7) lots en deux (2) journées, et donc trois (3) lots et demi par jour, soit un temps d'usinage total de $3,5 \times 112 = 392$ minutes.

Le TRS est alors de $392/480 = 81,66 \%$, soit un gain de presque 10 %, ce qui est non négligeable. Si l'on chiffre ce gain en nombre d'orthèses plantaires produites, cela représente 56 paires usinées au lieu de 48 paires, soit 8 paires par jours avant le contrôle qualité. Le pourcentage de non-qualité étant constant, on obtient un nombre absolu supérieur de paires refusées pour cause de mauvais usinage. Ce nombre atteint $56 \times 3,33 \% = 1,86$, soit une moyenne d'un peu moins de deux (2) paires au lieu de $48 \times 3,33 \% = 1,59$. Cela représente 0,27 paires de perdue en plus par jour pour cause de non qualité, c'est-à-dire environ une paire de perdue en plus tous les quatre (4) jours.

Au total sur une semaine de cinq (5) journée simples de production à un seul opérateur, on passe de $(48 - 1,59) \times 5 = 232,05$ soit environ 235 paires produites à $(56 - 1,86) \times 5 =$

272,05 soit environ 272 paires. L'augmentation de la production brute de 40 paires par semaines à moyens équivalents représente un gain de production de 17,24 %.

On notera que le gain en production est plus robuste comme estimation que le simple gain en temps. En effet, rien ne garanti que les temps moyen soient respectés chaque jour. Dans l'idéal, chaque lot de huit (8) paires aura une durée d'usinage la plus proche possible du temps moyen. Pour s'approcher de cette situation, il pourrait être intéressant que l'ordinateur calcul automatiquement une estimation rapide du temps d'usinage pour chaque combinaison possible parmi les commandes qu'il a en attente et qu'il définisse lui-même les lots.

Une autre possibilité serait de définir trois (3) ou quatre (4) critères simples qui permettent de classer les paires en trois (3) types (les orthèses plantaires longues, moyennes ou courtes à usiner). Ces critères seront imparfaits mais donnent une idée qui soit valable dans la grande majorité des cas. On peut donner l'exemple de la taille : si une paire d'orthèse plantaire est usinée pour une personne ayant des grands pieds, il est beaucoup plus long que des orthèses plantaires pour un enfant avec des petits pieds. D'autres critères pourraient être la largeur du pied, le volume de mousse à enlever, la complexité des formes, la densité de la mousse (si cela influe sur le temps d'usinage), *etc.*

6.3 Les pistes d'amélioration futures

Une des pistes d'amélioration que l'entreprise peut rechercher c'est la réduction des coûts. Si l'on permet de produire plus avec des moyens constants, cela revient à réduire les coûts unitaires de production. C'est une amélioration importante du processus de production. Pour réduire les coûts, il serait possible de comparer façons de s'approvisionner en matière première. L'une des possibilités à étudier serait de comparer le coût de la location de l'espace de stockage comparé au même espace de stockage mais deux (2) fois plus petit. Si l'espace de stockage est plus petit cela implique d'avoir des livraisons de matière première deux (2) fois plus petites et deux fois (2) plus fréquentes. Cette option permet d'économiser du loyer mais risque d'augmenter les couts fixes et variables par commande. Il serait probablement

difficile d'appliquer la formule de la quantité économique dans notre cas mais il serait possible de faire un comparatif de trois (3) ou quatre (4) solutions différentes. Dans un premier temps il serait intéressant de comparer la taille de la commande actuelles a une taille de commande divisée par (2), par (3) et par (4). En fonction des résultats de la comparaison nous affinons ensuite la quantité.

Deux (2) autres éléments seraient aussi à étudier si l'on souhaite travailler du côté des fournisseurs. Il serait intéressant de chercher un fournisseur de mousse alternatif plus proche de Montréal que l'Asie. En effet, en cas de problème ou en cas d'un besoin urgent de matière pour une raison quelconque (détérioration de matière première due à un incendie, une inondation, une perte dans les transports, *etc.*) alors le temps pour se faire livrer ne permet pas forcément de garantir d'être approvisionné. Ce fournisseur alternatif sera probablement plus cher mais aura des délais de livraison meilleurs s'il est situé en Amérique par exemple.

Le deuxième élément à travailler se situe par rapport à la définition de ce qui est livré. Il serait possible pour l'entre prise de se faire livrer des blocs déjà découpés et rabotés par le fournisseur. Dans l'idéal, il serait également possible de faire percer les deux (2) trous de positionnement pas ce fournisseur. Cela implique plusieurs contraintes. D'abord, le fournisseur doit prouver que ce qu'il fourni aura précisément les caractéristiques définies et qu'il ne sera pas nécessaire de refaire ces opérations après lui. Ce point est essentiel car le diamètre et l'écartement des trous permettent de réaliser l'usinage. L'épaisseur de la plaque de mousse a un impact sur le produit usiné. Le seul point qui soit moins critique c'est la longueur et la largeur de la plaque qui peut varier d'un ou deux millimètres par exemple, cela ne changera pas fondamentalement le résultat de l'usinage. Ces opérations peuvent être externalisées car elles ne représentent pas le savoir faire de l'entreprise ni son cœur de métier. Le cœur de métier de l'entreprise c'est tout ce qui est lié à l'usinage numérique et à la finition manuelle ainsi que son système de distribution des produits. De plus, ces étapes ne répondent pas directement à un besoin du client, elles sont juste nécessaires pour le processus. Ces étapes ne sont pas techniquement difficiles. Elles peuvent alors être réalisées sans problème dans un pays où le coût de la main d'œuvre est bon marché. A l'extrême, il

serait possible de délocaliser entièrement la production mais il semble que cela pose plus de problèmes que cela n'apporte de solution, notamment au niveau de la protection du savoir faire face aux concurrents, de la garantie de livraison suivant un certain délai, *etc.* En revanche pour réduire les coûts, il serait opportun d'étudier la possibilité de regrouper les différents sites de finition en un seul site qui serait sur le même site de production que l'atelier d'usinage. Il est probable que les coûts de production soient réduits avec des synergies.

Une piste d'amélioration est le délai de production et livraison au client. Cette piste nous pousserait à réaliser une cartographie précise des processus du client final qui commande via son clinicien jusqu'à ce qu'il soit finalement livré. Chaque processus pourrait avoir un temps donné. Il est possible de proposer quelques idées dont la livraison directe sans repasser par le clinicien si celui-ci donne son accord en amont (s'il a confiance). D'autres possibilités tournent autour de l'automatisation du flux d'information du client jusqu'à la fraiseuse numérique ou de la possibilité fabriquer 24 heures sur 24 et sept jours sur sept avec l'automatisation de processus, ou encore la création de travail de nuit. Ces dernières possibilités engendrent des contraintes et des coûts importants. Il faut donc être sûr que cela apporte un plus que le client demande réellement quitte à éventuellement proposer une augmentation du prix.

Une dernière piste d'amélioration serait liée à la qualité ou au service. L'implantation d'un logiciel ERP dans l'entreprise signifie qu'il sera possible de relier les opérateurs avec les flux des livraisons, les responsables, les commandes, *etc.* Une des applications serait la génération d'envoi automatique de messages (courriels, SMS, ou autres) au client et/ou au clinicien lorsque la fabrication du produit atteint une certaine étape. Voici plusieurs envois possibles : confirmation de la réception de la commande avec date estimée ou garantie de livraison, usinage terminé, finition et emballage terminé, livraison en cours, réception chez le clinicien. Évidemment, il n'est pas intéressant de faire tout ces envois, seuls quelques uns sont à réaliser mais il faut faire un choix en fonction du besoin des clients.

CONCLUSION

Ce projet nous a montré le contexte d'une petite entreprise industrielle avec un certain nombre de particularités et de contraintes. Cette entreprise produit des orthèses plantaires, ce sont des produits qui sont réalisés à l'unité. On a alors expliqué que c'était de la production de masse personnalisée car chaque produit est adapté aux caractéristiques de chaque personne cliente. Nous avons aussi signalé qu'il est possible de trouver d'autres entreprises ayant des caractéristiques et des problématiques similaires.

Ensuite, nous avons regardé quel était l'état des connaissances dans le domaine. Pour résoudre les problématiques de l'entreprise, il a été nécessaire d'étudier un certain nombre d'outils et de méthodes existantes. Les outils et les méthodologies rejetées l'ont été sur la base de critères. Ces critères servaient à évaluer la pertinence de leur utilisation dans notre type de cas d'étude c'est-à-dire une PME fabriquant des produits de masse personnalisée. Nous avons choisi un outil de diagnostique (le TRS) et un outils de résolution de problème de capacité de production (le SMED). Cela nous a permis d'intégrer ces éléments dans une méthodologie globale.

Cette méthodologie a pu être appliquée à notre cas d'étude. Cela a consisté essentiellement à faire un diagnostique de la situation pour chiffrer les problèmes avec un calcul de TRS et définir des priorités et enfin nous avons proposé un plan d'action. Le plan d'action comporte des éléments prioritaires pour résoudre le problème immédiat. D'autres éléments sont proposés comme améliorations possibles dans un second temps.

Dans un premier temps le plan d'action a pour but de résoudre les problèmes de capacité maximale de production pour les périodes les plus chargées de l'année. Dans un second temps, il est question d'améliorer l'environnement et la qualité de la production ainsi que de pérenniser les bonnes pratiques acquises.

Des propositions d'amélioration futures ont aussi été faites. Ces propositions ont portées sur l'atelier de stockage pour améliorer la préparation des blocs de mousse (matière première), sur l'atelier des machines à commande numériques en proposant des diminutions de taille de lot et des systèmes adaptés pour que l'intégralité des temps de changement de lot soient fait en temps masqué. Il y a aussi eu des propositions en atelier de finition notamment pour accélérer la formation de nouveaux opérateurs et pour maintenir ou améliorer le niveau de qualité du produit fini.

Une discussion a été utile pour justifier la pertinence des hypothèses, mettre en évidence les résultats espérés à la suite de l'application du plan d'action et citer des pistes d'amélioration futures.

Les pistes de recherche future peuvent se baser sur des études statistiques des commandes en fonction de leurs différents paramètres. Cela pourrait avoir un but de réduction des coûts ou de simplification de l'interface utilisée par les cliniciens. Une autre piste de recherche pourrait être une réorganisation de l'atelier de finition afin de se rapprocher d'un processus en ligne et d'étudier les avantages et les inconvénients d'une telle organisation dans ce type de cas d'étude.

BIBLIOGRAPHIE

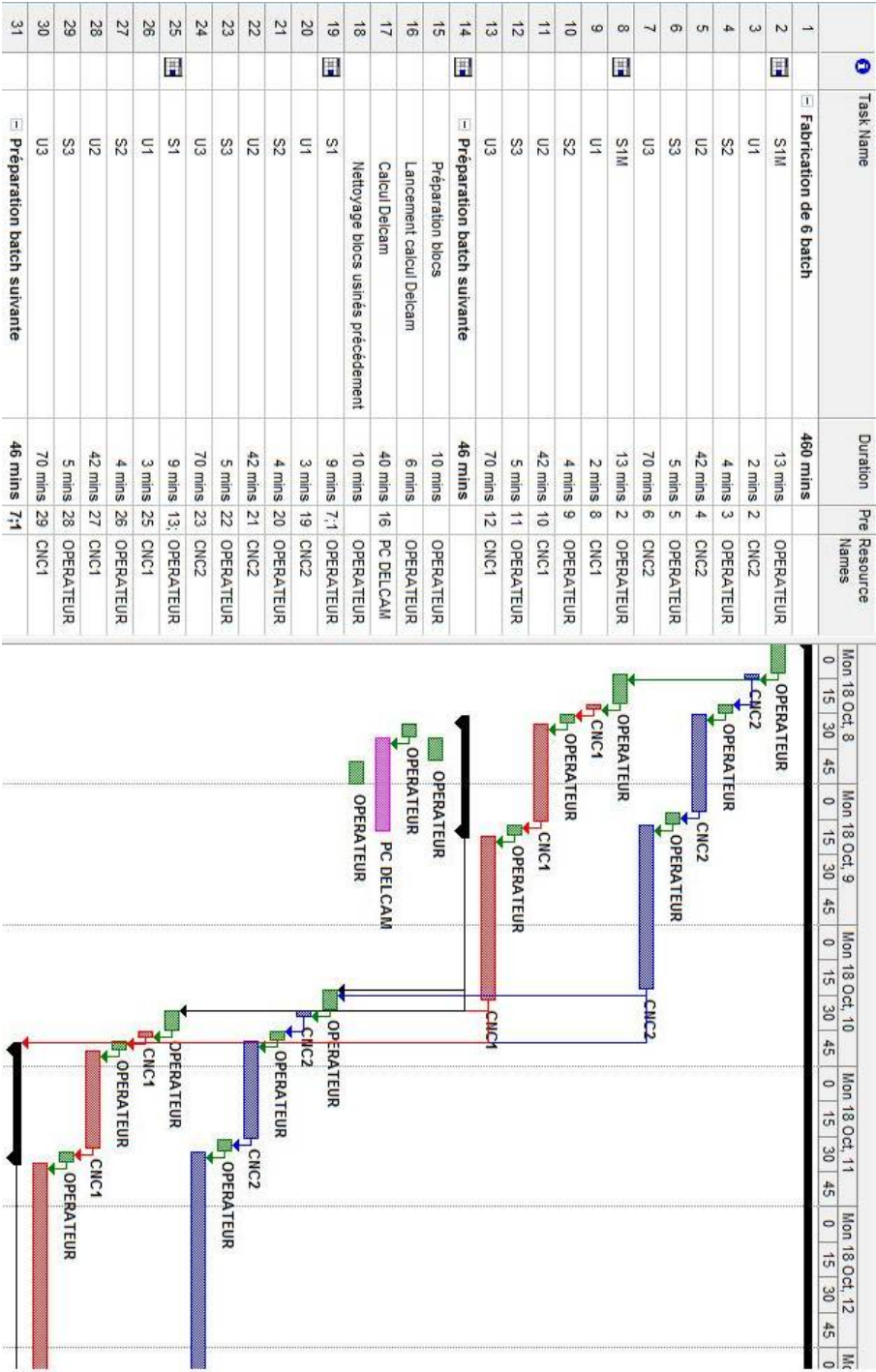
- Adler, P. S. 1993. « TIME- AND- MOTION REGAINED ». HARVARD BUSINESS REVIEW, vol. 71, no 1, p. 97-108.
- Adler, P. S. 1999. « Flexibility versus efficiency? A case study of model changeovers in the Toyota production system ». ORGANIZATION SCIENCE, vol. 10, no 1, p. 43-68.
- Baglin, Gérard, et Mario Capraro. 1999. « L'entreprise Lean Production ou la PME compétitive par l'action collective ». Presses Universitaires de Lyon.
- Ball, et Michael. 2005. « Lean attitude ». Manufacturing Engineer, vol. 84, no 2, p. 14-19.
- Ballé, Freddy. 2006. « Le Lean, un mécanisme de progrès continu ». Ingénieurs de l'automobile. mars-avril.
- Boer, C. R. 2007. « Mass customization and footwear myth, salvation or reality? : a comprehensive analysis of the adoption of the mass customization paradigm in footwear, from the perspective of the EUROShoE (Extended User Oriented Shoe Enterprise) Research Project ».
- De Jaegher, Thibault. 2006. « Avec le Takt time, Tokheim gagne en flexibilité ». L'Usine nouvelle. 23 février 2006.
- Emiliani, Bob. 2007. « Better thinking, better results case study and analysis of an enterprise-wide lean transformation ». Kensington, Conn. Center for Lean Business Management
- Fruin, W. Mark. 1997. « Knowledge works managing intellectual capital at Toshiba ». New York Oxford University Press
- Goldratt, Eliyahu M. 1984. « The goal excellence in manufacturing ». Croton-on-Hudson, New York North River Press
- Hayek, Jeff. 2009. Whaddata Mean, I Gotta Be Lean?. Velaction Continuous Improvement.
- Hino, Satoshi. 2006. « Inside the mind of Toyota management principles for enduring growth ». New York Productivity Press
- Imai, Masaaki. 1986. « Kaizen the key to Japan's competitive success ». New York, N.Y. McGraw-Hill

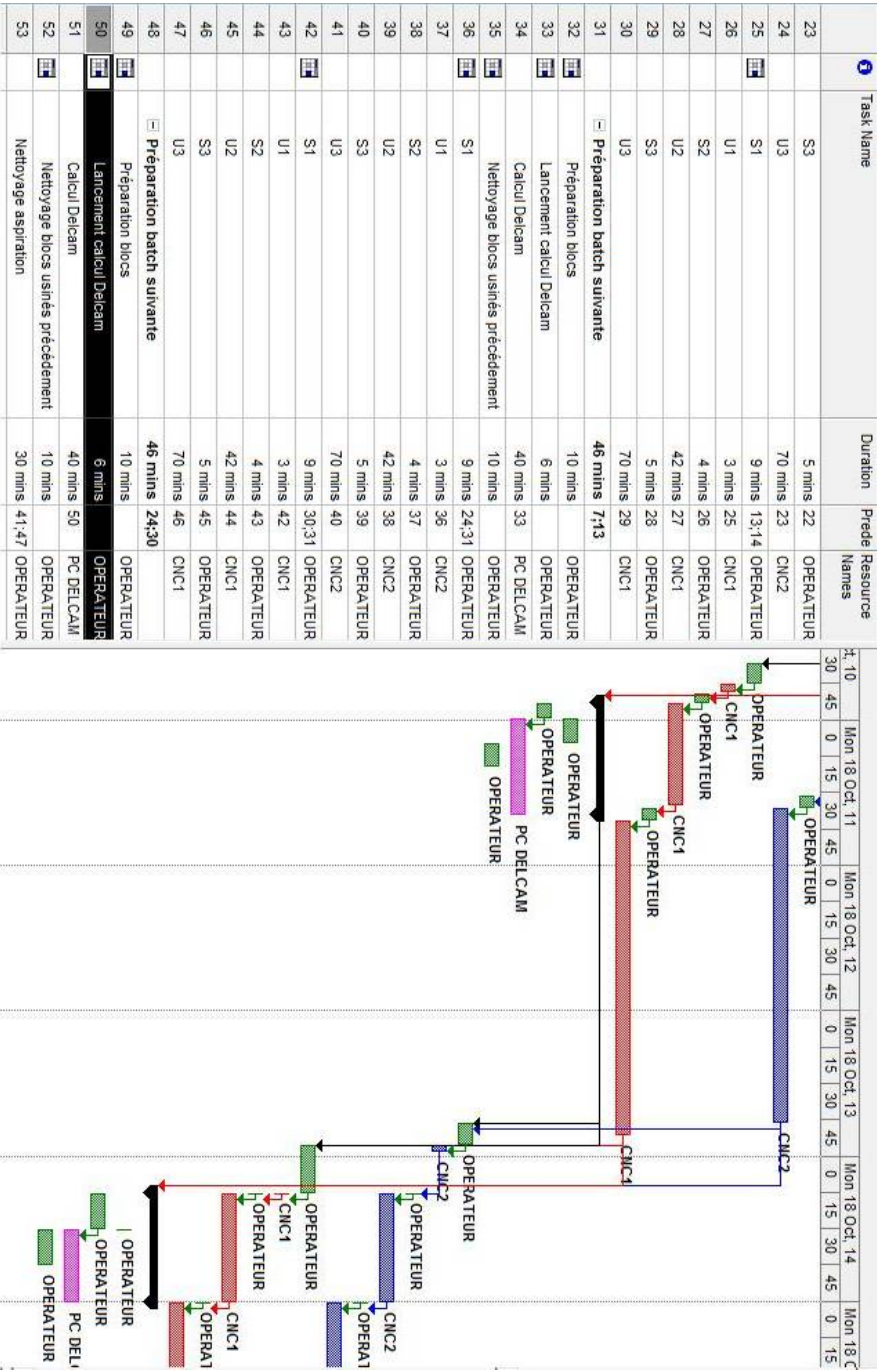
- Jianga, Kai, Hau L. Leeb et Ralf W. Seifert. 2006. « Satisfying customer preferences via mass customization and mass production ». IIE Transaction.
- Johnson, Elizabeth Wynne., Jonathan. Norton, Diane E. Bailey et Stanford Mediaworks. 2000. « Mass customization conversations with innovators in manufacturing ». New York, NY Insight Media
- Kennedy, Michael N. 2003. « Product development for the lean enterprise why Toyota's system is four times more productive and how you can implement it ». Richmond, Virg. The Oaklea Press
- Liker, Jeffrey K. 1998. « Becoming lean inside stories of U.S. manufacturers ». Portland, Or. Productivity Press
- Liker, Jeffrey K. 2006. Le modèle Toyota : 14 principes qui feront la réussite de votre entreprise. Paris]: Paris : Village mondial.
- Liker, Jeffrey K. 2006. « The Toyota way fieldbook a practical guide for implementing Toyota's 4Ps ». New York McGraw-Hill
- Liker, Jeffrey K. 2007. « Toyota talent developing your people the Toyota way ». New York McGraw-Hill
- Liker, Jeffrey K. 2008. « Talent Toyota les hommes au coeur de la réussite ». Paris Pearson/Village mondial
- Liker, Jeffrey K. 2008. « Toyota culture the heart and soul of the Toyota way ». New York McGraw-Hill
- Ma, Yu Fang, Fu Dong Wang et Yue Ming Zeng. 2009. « The method of making production plan in mass customization ». In Technology and Innovation Conference 2009 (12-14 Oct. 2009). Xian, China.
- Magee, David. 2007. « How Toyota became #1 leadership lessons from the world's greatest car company ».
- May, Matthew E. 2007. « The elegant solution Toyota's formula for mastering innovation ».
- McIntosh, R. I. 2000. « A critical evaluation of Shingo's 'SMED' (single minute exchange of die) methodology ». INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH, vol. 38, no 11, p. 2377-2395.
- Mehri, Darius. 2005. « Notes from Toyota-land an American engineer in Japan ». Ithaca, N.Y. Cornell University Press

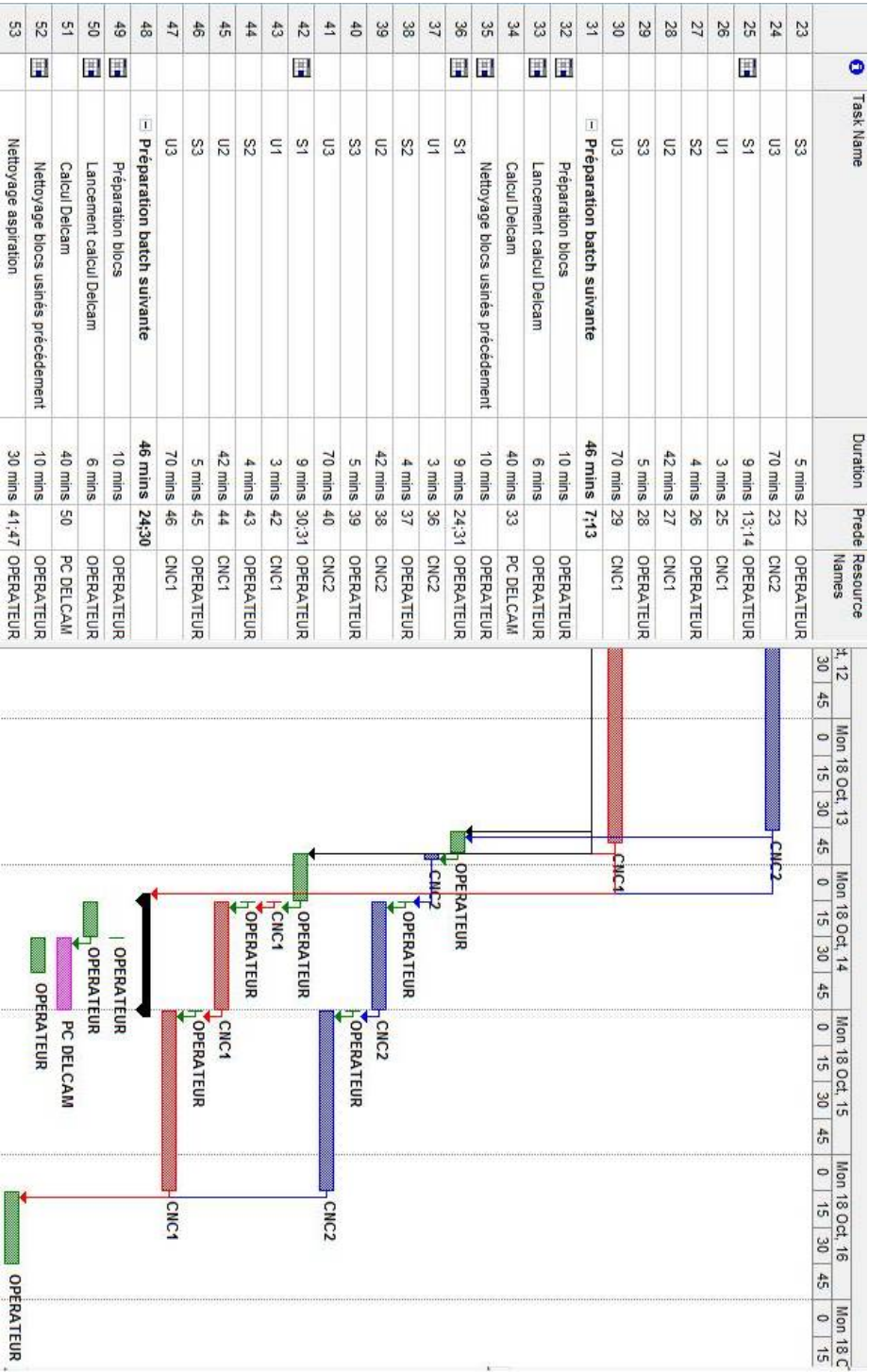
- Nonaka, Ikujiro. 2008. « The knowledge- creating company ». Boston, Mass. Harvard Business Press
- Ono, Taiichi 1988. Just-In-Time for Today and Tomorrow, Productivity Press
- Osono, Emi. 2008. « Extreme Toyota radical contradictions that drive success at the world's best manufacturer ». Hoboken, N.J. J. Wiley & Sons
- Sekine, Ken'ichi. 1983. « Kanban gestion de production a stock zero ». Boulogne-billancourt Editions Hommes et Techniques,) Shimizu, Koichi. 1999. « Le toyotisme ». Paris Éditions La Découverte
- Shingo, Shigeo. 1988. « Non-stock production the Shingo system for continuous improvement ». Cambridge, Mass. Productivity Press
- Spear, S. 1999. « Decoding the DNA of the Toyota Production System ». Harvard Business Review, vol. 77, no 5, p. 96-+.
- Suzaki, Kiyoshi. 1993. Reinventer l'unité de travail impliquer les hommes au plus près du terrain. Coll. « Les réalités de l'entreprise ». Paris: Dunod.
- Womack, James P. 1990. The machine that changed the world. New York Toronto: New York, Rawson associates.; Toronto : Collier Macmillan Canada.
- Womack, James P. 1992. « Le système qui va changer le monde : une analyse des industries automobiles mondiales dirigée par le Massachusetts Institute of Technology ». Paris Dunod
- Womack, James P. 1996. « Lean thinking banish waste and create wealth in your corporation ». New York, NY Simon & Schuster
- Womack, James P. 2005. « Lean solutions how companies and customers can create value and wealth together ». New York, NY Free Press
- Womack, James P. 2005. « Systeme Lean penser l'entreprise au plus juste ». [Paris] Village mondial
- Womack, Jim. 2005. « Problems with creativity ». Manufacturing Engineer, vol. 84, no 3, p. 5.

ANNEXE I

DIAGRAMME GANTT DE LA FABRICATION DE 6 LOTS (AVANT MODIFICATION)







ANNEXE II

DIAGRAMME PERT DE LA FABRICATION DE 6 LOTS (AVANT MODIFICATION)

Voir document numérique

ANNEXE III

CAPSULE TRS

Diagnostic de la situation

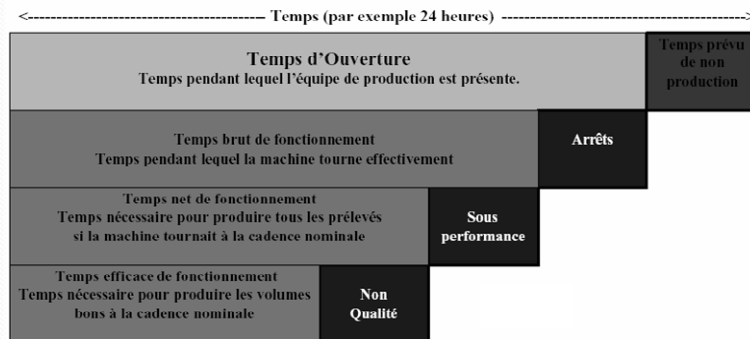
TRS/TRG : Taux de rendement synthétique / global

Définition du TRS

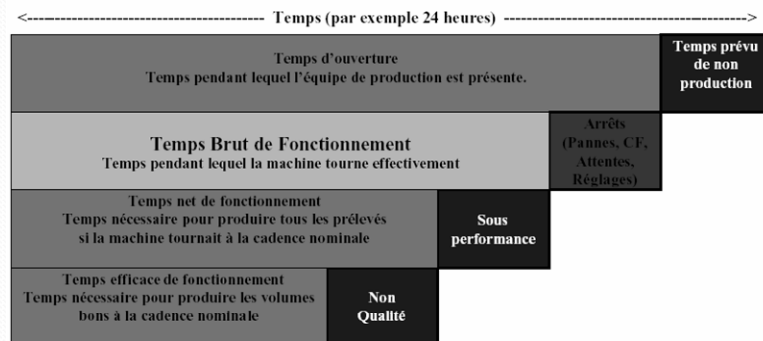
- Overall Equipment Effectiveness = Taux de Rendement Synthétique
- OEE = TRS
- TU = Temps utile = Temps efficace de fonctionnement

$$\text{TRS} = \frac{\text{T.U.}}{\text{T.O.}}$$

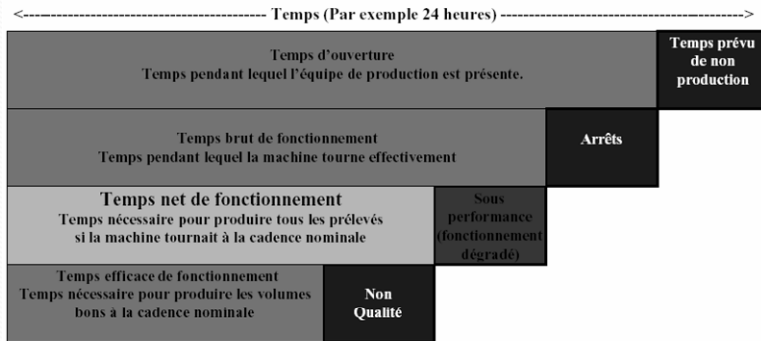
... Le TRS et les pertes ... Décomposition des temps Le Temps d'Ouverture (T.O.)



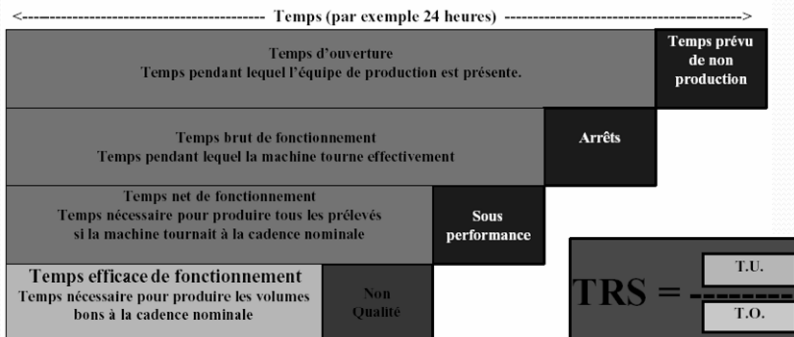
... Le TRS et les pertes ... Décomposition des temps Le Temps Brut de Fonctionnement (T.B.F.)



... Le TRS et les pertes ... Décomposition des temps Le Temps Net de Fonctionnement (T.N.F.)



... Le TRS et les pertes ... Décomposition des temps Le Temps Utile (T.U.)



Marche à suivre

1. Mesurer le temps d'ouverture
 - Par l'heure d'arrivée et de départ des équipes
 - Par la fiche quotidienne de travail
 - Vérifier si les données statistiques passées sont exploitables
2. Mesurer le temps machine total
 - Pour les deux machines
 - Noter chaque heure de départ et chaque heure d'arrêt
 - Pour chaque série de 8 paires
 - Attention a la précision de l'heure notée!

Marche à suivre

3. Peut on donner une cadence nominale de chaque machine?
 - Si oui, alors :
 - On comptabilise le nombre de paires produite (bonnes + rebuts) et on multiplie par cette cadence nominale. On trouve le temps utile en enlevant les rebuts.
 - Si non, alors :
 - On comptabilise le nombre de paires produite (bonnes + rebuts) pour trouver la pseudo cadence nominale. On trouve le temps utile en enlevant les rebuts.
 - La différence entre ces deux possibilités est juste la possibilité ou non de chiffrer la sous performance d'une machine.

ANNEXE IV

CAPSULE SMED

Changement de série rapide

Outil : le SMED

Définition, motivation et but

- Définition :
 - méthode systématique d'analyse et de diminution des temps de changement de série dont le but est d'améliorer le TRS de l'équipement
- Histoire de la caméra japonaise
- Motivation
 - Gagner de la productivité moyens constants
- But à atteindre : La formule 1 qui s'arrête aux stands

[illegible]

What a rush

The job in the pits is one of the most pressured in Formula 1. A pit stop is studied choreography and only the best are good enough to ensure comprehensive service for the driver in the race against the clock. Every individual role is practiced thousands of times and must be carried out perfectly.

Number games: This is how long it takes to...

- ... fit a new steering wheel **2s**
- ... change a tyre **3s**
- ... replace the nose **11s**

0.0s
Car is stationary, time is running

0.2s
High-powered airgun set to central wheel nuts

1.0s
Hydraulic jack lifts the front end, manual jack at rear

1.5s
Fueling hose onto tank nozzle; red light in refueller's helmet visor indicates fuel flow of 12 litres per second

2.5s
Wheels removed

3.5s
New wheels mounted and central nut is tightened

3.8s
Car lowered off jacks

4.3s
Lollipop man signals to driver to engage 1st gear

7.0s
Green light in refueller's visor; fuel hose is disconnected

7.3s
Lollipop man signals to driver to go

Source of the image : <http://www.f1technical.net/articles/envi/images/pitstop3-big.jpg>

Méthode

- Définir un standard qui sera le même pour tout le monde
 - Avec les employés
 - Se poser des questions sur les déplacements
 - Se demander quels sont les éléments nécessaires pour relancer la machine
 - Pré-positionnement des éléments possible?
- Gestion du temps de préparation pendant les cycle de production machine
 - Avertisseur ou pré-avertisseur visuel/sonore d'un arrêt machine
 - Compte à rebours

La check list

- Vérification que tout est prêt pour le changement de série optimal
- Exemple :
 - Est-ce que j'ai les outils nécessaires en position optimal?
 - Est-ce que le dégagement des plaque de mousse usinées est facilité?
 - Est-ce que ma matière première pour la série suivante correspond bien à la demande?
 - Est-ce que ma matière première pour la série suivante est prépositionnée?
- Avant chaque arrêt machine, l'ensemble des éléments de la check list doivent avoir été validés



Source de l'image :
http://blogs.technet.com/blogfiles/11/WindowsLiveWrite/2/SmallBusinessServerandMigrationChecklist.aspx?list_46a4g8-note-with-completed-checklist_3.jpg

ANNEXE V

CAPSULE 5S+1

Réorganisation de poste de travail et sécurité

Outil : le 5S+1

La façon de penser 5S + 1

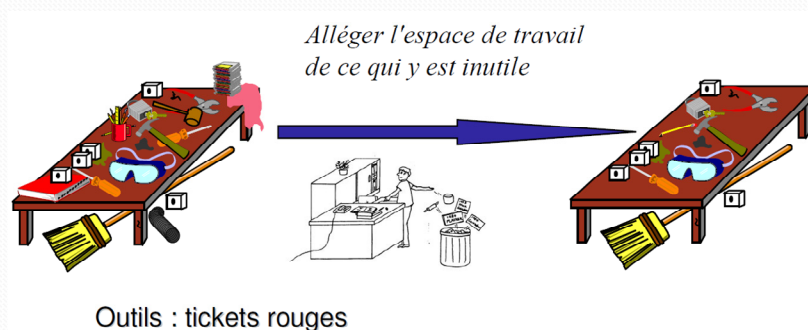
- Kaizen : l'amélioration continue, à petit pas
- L'implication de toute la hiérarchie de production jusqu'à l'employé, pour l'employé.
- Encourager les suggestions des employés
- Chaque étape sert à améliorer la sécurité

5S + 1 : O.R.D.R.E + Sécurité

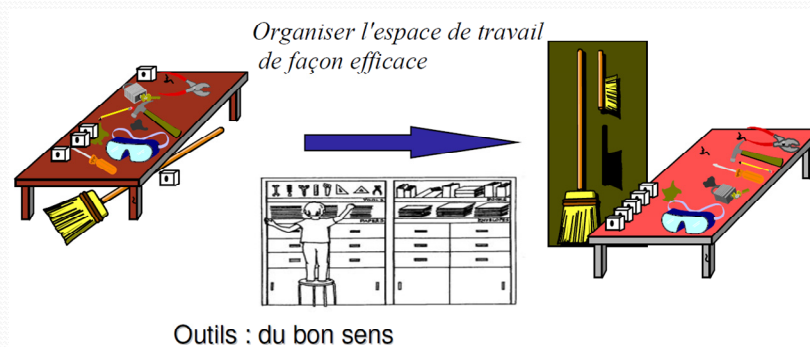
\$1 SEIRI :	O	Ôter l'inutile
\$2 SEITON :	R	Ranger
\$3 SEISO :	D	Décrasser / Détecter
\$4 SEIKETSU :	R	Rendre évident
\$5 SHITSUKE :	E	Etre discipliné

Sécurité

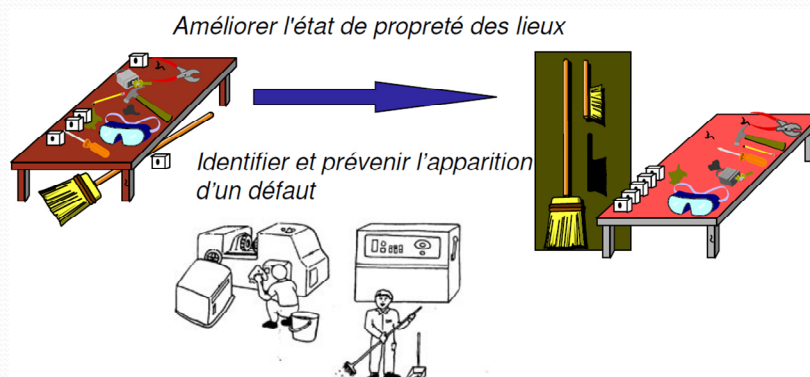
S1 : Ôter l'inutile, trier, débarrasser



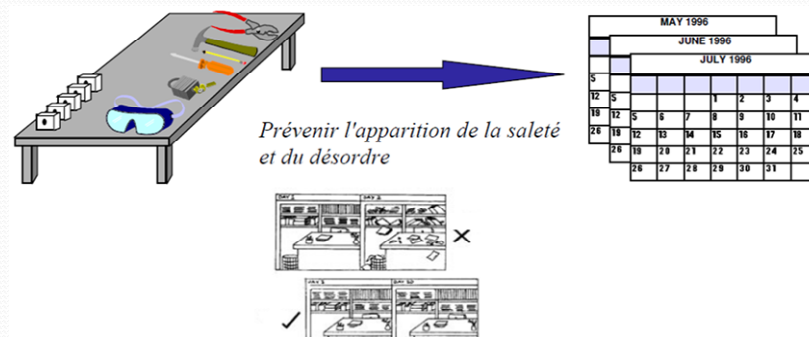
S2 : Mettre en ordre, Ranger/Arranger l'utile



S3 : Nettoyer, décraquer, détecter



S4 : Standardiser, maintenir la propreté



S5 : Suivre / Progresser

- Respecter But : ne pas régresser mais progresser
- Respecter sans effort = acquisition de réflexes
- Mise en place d'audit (planifié ou «surprise» si accord avec les acteurs)
- Mettre en place des indicateurs et les suivre
- Définir des responsabilités pour chaque personne



C'est l'étape la plus difficile



Exemples classiques

- Les panneaux d'outils avec les outils dessinés vs tiroirs



- Les étiquettes rouge



- Le marquage visuel au sol, en l'air, au mur,...



ANNEXE VI

DIAGRAMME DE GANTT DE LA FABRICATION DE 8 LOTS (APRES MODIFICATION)

Voir document numérique