UNIVERSITE DE MONTREAL

ESTIMATION POUR FINS DE SOUMISSION DES COUTS DE PREPARATION (SET-UP) EN TECHNOLOGIE DE GROUPE

par

Stateson Duplan

DEPARTEMENT DE GENIE INDUSTRIEL

ECOLE POLYTECHNIQUE

MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION

DU GRADE DE MAITRE EN INGENIERIE (M.ING.)

(GENIE INDUSTRIEL)

Février 1989

National Library of Canada
Bibliothèque nationale du Canada

Canadian Theses Service
Service des thèses canadiennes

Ottawa, Canada
K1A 0N4

The author has granted an irrevocable non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of his/her thesis by any means and in any form or format, making this thesis available to interested persons.

L'auteur a accordé une licence irrévocable et non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de sa thèse de quelque manière et sous quelque forme que ce soit pour mettre des exemplaires de cette thèse à la disposition des personnes intéressées.

The author retains ownership of the copyright in his/her thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without his/her permission.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège sa thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

ISBN 0-315-50200-2

Canada

UNIVERSITE DE MONTREAL

ECOLE POLYTECHNIQUE

Ce mémoire intitulé:

ESTIMATION POUR FINS DE SOUMISSION

DES COUTS DE PREPARATION (SET-UP) EN TECHNOLOGIE DE GROUPE

présenté par: Stateson Duplan

en vue de l'obtention du grade de: Maître en ingénierie

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. Mario Godard, M.Sc.A., président

M. Daniel Leblanc, Ph.D.

M. Michel Normandin, D.Sc.A.

SOMMAIRE

Dans un contexte de fabrication sur commande ou par lots, le coût unitaire des pièces diminue au fur et à mesure que la taille de la commande ou du lot à fabriquer augmente. En effet, certains coûts fixes pour le lot de pièces, dont les coûts de préparation des machines (set-up), se trouvant alors répartis sur un plus grand nombre de pièces décroissent sur une base unitaire. C'est en vertu de ce principe que la majorité des fabricants peut offrir des rabais sur quantités. Mais, de nos jours, la tendance est vers la fabrication par petits lots. La notion de rabais sur quantités devient donc de plus en plus difficile à appliquer. Cependant, la technologie de groupe permet d'agglomérer de petits lots de pièces différentes, mais similaires du point de vue des procédés de fabrication, pour leur faire partager les mêmes set-ups et simuler ainsi des lots de plus grosse taille. Il devient alors possible d'accorder un meilleur prix pour une commande dans la mesure où cette commande ressemble aux pièces actuellement dans le système de fabrication, plutôt que de se baser exclusivement sur la taille de cette commande. Lors de l'estimation des coûts de fabrication d'une commande pour fins de soumission, il faudra donc tenir compte de la relation entre cette commande et les autres pièces en production. Les coûts de set-up pour cette commande dépendront des

autres pièces à produire et du séquencement adopté pour ces pièces là. Un certain séquencement pourra causer de nombreuses opérations de set-up, alors qu'un autre en causera très peu.

Le but de ce travail est de développer pour une compagnie de fabrication sur commande, utilisant les principes de la technologie de groupe, une méthodologie lui permettant, lors de son processus d'élaboration des coûts de soumission pour une nouvelle commande, d'estimer les coûts de set-up qu'impliquerait cette nouvelle commande, en considérant l'état du système de production de la cellule appropriée au moment où elle aurait à la fabriquer, au lieu d'utiliser des valeurs moyennes pour les coûts de set-up.

La méthodologie proposée procède en deux étapes. D'abord, en fonction des pièces dans le carnet de commandes et des pièces déjà en production dans la cellule, on établit des limites inférieures et supérieures pour les coûts de set-up de la nouvelle commande. Pour ce faire, on élabore pour chaque machine se trouvant sur la gamme de fabrication de la nouvelle commande, une matrice de temps de set-up permettant de prédire le temps de changement d'une pièce à l'autre, pour toutes les pièces dans la cellule. Cette matrice permet de déterminer pour chaque machine quel est le nombre minimal et le nombre maximal d'opérations de set-up qu'on pourra être appelé à faire pour la nouvelle pièce, vu l'état du système de production dans la cellule.

Ensuite, après avoir établi les limites pour les coûts de set-up à estimer, on rapproche ces limites en se servant des caractéristiques de la technologie de groupe, pour finalement produire un estimé de ces coûts. Des exemples simples sont fournis pour illustrer le processus.

ABSTRACT

In a job shop or a make-to-order production environment, the unit cost of parts produced tends to decrease as the size of the order or of the batch increases. Because, certain fixed costs for the lot, like the set-up costs, being distributed over a larger number of parts, get smaller on a unit basis. That's why most of the manufacturers can allow themselves to offer discounts on quantities. But, the trend is now towards small batches manufacturing. So, the idea of discount on quantities is getting more and more difficult to apply. However, group technology allows to consolidate small batches of different parts but with similar manufacturing processes, into larger batches so that they can share the same set-ups. Then, it becomes possible to offer a better price for an order when it is similar to the other parts actually in the production system, rather than considering exclusively the size of that order. During the process of cost-estimating for bidding, the relationship between that new order and the other parts should be taken into account. Set-up costs for that order will depend on the other parts in production and on the sequence established to process those parts. A specific sequence may cause numerous set-up operations, while another one will generate only a few.

The objective of this thesis is to develop a methodology enabling a company, manufacturing on order and using the principles of group technology, to estimate the set-up costs of a new order, when cost-estimating for bidding, while taking the status of the production cell into account, instead of using average values for the set-up costs.

The proposed methodology proceeds in two steps. First, it establishes, for the new part, lower and upper limits for the set-up costs. Those limits depend on the parts already in production and the ones on the order list waiting to be manufactured. To determine the limits, we build a set-up times matrix for each production facility listed on the routing of the new order. This matrix gives the set-up times to change from any part to another one, for all the parts passing on that facility. Then, it is possible to calculate the smallest and the largest number of set-up operations that may be needed to process the new part.

Once the limits for the set-up costs are set, the next step is to reduce the gap between those limits by taking advantage of the characteristics of group technology. Essentially, the lower limit is the goal, the idea is to bring the upper limit closer to the lower one. Then, it will possible to calculate an estimate for the set-up costs. Simple examples are provided to illustrate the proposed set-up costs-estimating process.

REMERCIEMENTS

J'aimerais exprimer mes sincères remerciements et ma gratitude à mon directeur de recherche, Dr. Daniel Leblanc, pour le support continu fourni tout au long de mes études de maîtrise à l'Ecole Polytechnique de Montréal et pour le temps et l'énergie dépensés à me superviser et guider dans ce travail.

Je tiens aussi à remercier, mes professeurs Mario Godard, Michel Normandin (membres du jury) et Louis Lefebvre (co-directeur), pour l'enseignement reçu lors de mon séjour à l'Ecole Polytechnique et pour l'assistance prodiguée lors de la rédaction de cette thèse.

Je remercie aussi, du plus profond de mon coeur, mes parents, ma mère et mon défunt père, qui m'ont toujours incité à me dépasser et qui m'ont enseigné cette curiosité intellectuelle qui m'a poussé dans cette voie.

Et finalement, je dois remercier ma femme, Sylvie Lebeau, pour sa compréhension, sa patience, son soutien moral, ses encouragements et les longues heures passées à taper cette thèse.

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE..... iv

ABSTRACT..... vi

REMERCIEMENTS..... viii

LISTE DES TABLEAUX..... xii

LISTE DES FIGURES..... xiii

CHAPITRE 1 - INTRODUCTION..... 1

1.1 Généralités..... 1

1.2 Objectif du travail..... 3

1.3 Plan du travail..... 6

CHAPITRE 2 - TECHNOLOGIE DE GROUPE..... 9

2.1 Introduction..... 9

2.1.1 Définition..... 10

2.1.2 Bref historique de la technologie de groupe.. 13

2.1.3 Avantages de la technologie de groupe..... 14

2.2 Méthodes de formation des cellules de technologie de groupe..... 17

2.2.1 Recherche visuelle et/ou manuelle..... 18

2.2.2 Analyse du flot de production..... 18

2.2.3 Codage et classification..... 21

2.3 Principaux systèmes de codage et classification..... 22

CHAPITRE 3 - PLANIFICATION DE PROCEDES DE FABRICATION..... 31

3.1 Approche manuelle..... 31

3.2 Approche automatisée..... 33

3.2.1 Approche par variation..... 34

3.2.2 Approche par génération..... 36

3.2.3 Approche mixte..... 38

CHAPITRE 4 - COUTS..... 40

4.1 Coûts d'un produit..... 41

4.1.1 Coûts de développement..... 41

4.1.2 Coûts d'industrialisation..... 42

4.1.3 Coûts de fabrication..... 42

4.2 Coûts pertinents à notre travail..... 45

CHAPITRE 5 - METHODES D'ESTIMATION..... 50

5.1 Principales méthodes..... 51

5.1.1 Techniques d'ingénierie..... 51

5.1.2 Méthodes analogiques..... 53

5.1.3 Méthodes statistiques..... 53

5.2 Modèles d'estimation du coût d'un produit..... 55

5.2.1 Modèle basé sur le prix de revient standard.. 55

5.2.2 Modèle du taux horaire de machine..... 60

5.2.3 Modèle simple de système informatisé

d'estimation de coût..... 71

5.2.4 Modèle d'estimation au moindre coût avec la technologie de groupe..... 73

CHAPITRE 6 - ELABORATION DES MATRICES DE TEMPS DE SET-UP..... 77

6.1 Méthode de la classification multiple..... 80

6.2 Méthode des éléments de tâches de set-up..... 85

CHAPITRE 7 - ALGORITHME D'ESTIMATION DES COUTS..... 89

7.1 Introduction..... 89

7.2 Méthodologie d'estimation..... 92

7.3 Détermination des bornes de l'estimation..... 100

7.3.1 Exemple..... 105

7.4 Raffinement des bornes de l'estimation et estimé des coûts..... 109

7.4.1 Exemple..... 114

CHAPITRE 8 - CONCLUSION..... 120

BIBLIOGRAPHIE..... 124

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
2.1	Echantillon de systèmes de codage utilisés à travers le monde	25
2.2	Variables-clé des systèmes de codage	26
2.3	Comparaison de différents systèmes de codage	27
4.1	Principales sous-catégories de frais généraux	44
5.1	Taux horaire complet de machine	65
5.2	Taux horaire marginal de machine	66
5.3	Exemple de rapport	73
5.4	Exemple de résultats	75
6.1	Exemple de classification d'éléments de tâches de set-up	86
6.2	Exemple de temps de set-up élémentaires	86
7.1	Taux horaires d'opération des machines	107
7.2	Matrices de temps de set-up	107
7.3	Matrices de coût de set-up	107
7.4	Limites du coût de set-up	109
7.5	Estimé du coût de set-up	116

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
2.1	Similarité géométrique	11
2.2	Similarité des opérations de fabrication	11
2.3	Arrangement fonctionnel des machines	12
2.4	Arrangement cellulaire des machines	12
2.5	Principaux avantages de la technologie de groupe	15
2.6	Matrice d'incidence initiale	19
2.7	Matrice finale	20
2.8	Structure hiérarchique	23
2.9	Structure non-hiérarchique	23
3.1	Travail du planificateur	32
3.2	Approche par variation	34
3.3	Exemple de gamme type	36
3.4	Approche par génération	37
5.1	Illustration de la démarche d'estimation	59
5.2	Processus informatisé d'estimation de coût	71
6.1	Matrice de temps de set-up pour une machine donnée	79
7.1	Algorithme d'estimation	93
7.2	Matrice de temps de set-up pour la machine k	101

Figure		Page
7.3	Matrice de coût de set-up pour la machine k	103
7.4	Gamme de fabrication	107
7.5	Matrice d'incidence initiale	114
7.6	Matrice d'incidence finale	115

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 Généralités

Généralement, une compagnie manufacturière fabrique ses produits soit de façon continue, soit sur commande. La fabrication en continu sous-entend des lignes de production dédiées spécifiquement à des produits déterminés, et très souvent dans ces cas là, on a affaire à de la production en masse. La compagnie doit faire des prévisions de demande et établir un plan de production pour répondre à cette demande. Ce plan de production détermine alors les quantités à produire pour les différents mois de l'année.

La fabrication sur commande, fonctionnant suivant une philosophie tout à fait différente, implique nécessairement un autre environnement. D'abord, l'équipement n'est plus dédié à un type de produit, mais flexible pour accommoder plusieurs types, car d'une commande à l'autre, le produit demandé peut et va sûrement varier. Strictement parlant, il n'est plus nécessaire de prévoir la demande pour établir un plan de production, on n'a qu'à se baser que sur le

carnet de commandes.

Selon S. Shingo [21], la fabrication sur commande deviendra sûrement dans le futur le modèle privilégié de planification de la production. Au lieu de produire des articles qui doivent être vendus, les usines produiront des articles qui ont déjà été commandés. De petits lots seront alors produits pour répondre aux commandes déjà reçues. Cependant, au fur et à mesure que la taille des lots diminue, le nombre d'opérations de préparation (set-up)(1) du système de production augmente, car, avant chaque lot il peut être nécessaire de modifier l'état du système (des machines). Ceci veut dire que le rapport entre le temps pris pour effectuer les diverses opérations de "set-up" et celui passé à travailler effectivement les pièces d'un lot augmente. Il faut alors penser à des techniques de réduction de set-up [21] pour améliorer la performance des systèmes de production sur commande ou en petits lots. La technologie de groupe, tout en étant plus qu'une technique de réduction de set-up, présente l'avantage, entre autres, de diminuer le nombre d'opérations de set-up nécessaires entre des pièces consécutives sur une machine.

---

(1) Dans la suite, chaque fois qu'il faudra faire référence aux opérations de préparation, nous utiliserons le terme "set-up" généralement utilisé dans l'industrie.

Le principe de la technologie de groupe est basé sur l'agglomération systématique des pièces identiques ou similaires en familles de telle sorte que toutes les pièces regroupées dans la même famille soient sujettes aux mêmes procédés de planification et de fabrication. L'usine est alors divisée en cellules de fabrication, chaque cellule pouvant traiter complètement une ou plusieurs familles de pièces. Par opposition à l'arrangement fonctionnel des machines, où toutes les machines de même type sont regroupées ensemble (département des presses, département de soudure,...), l'arrangement cellulaire permet de combiner dans un même groupe différents types de machines nécessaires à fabriquer n'importe quelle pièce de la famille assignée à la cellule.

Une des situations les plus fréquentes dans un environnement de fabrication sur commande est que, suite à une proposition de commande, la compagnie devra rapidement estimer des coûts de fabrication en vue de soumissionner pour l'obtention de cette commande en question. De façon générale, la méthodologie pour établir des coûts de soumission consiste à évaluer les différentes classes de coûts de production, soit: les matières premières, la main d'oeuvre directe, la machinerie et les frais généraux.

1.2 Objectif du travail

Dans ce travail, parmi les différentes composantes du coût de fabrication, nous allons principalement nous intéresser aux coûts de set-up. Généralement, lors de l'estimation des coûts de fabrication,

on considère les divers coûts de set-up comme des valeurs moyennes constantes établies de façon statistique sur l'ensemble des pièces produites par la compagnie. Cependant, en réalité, ces coûts ne sont pas constants. Le set-up à faire sur une machine pour une nouvelle pièce qui arrive dépend de celle qui était précédemment sur cette machine. Il y a donc une relation entre les coûts de set-up et le séquencement adopté pour les lots de pièces à produire. Un certain séquencement peut maximiser les coûts de set-up tandis qu'un autre pourra les minimiser.

Dans un contexte de fabrication continue ou en masse où le rapport entre le temps de set-up et celui d'opération pour un lot de pièces est faible, on peut se permettre d'assigner aux coûts de set-up des valeurs moyennes constantes établies statistiquement. Mais dans un environnement de fabrication sur commande ou en petits lots, nous croyons que l'utilisation de ces valeurs moyennes peut fausser les estimés des coûts de fabrication. Il faut alors tenir compte de la relation entre le set-up et le séquencement. Lorsque l'usine est arrangée de façon fonctionnelle (machines regroupées par type), il peut être très difficile d'essayer de tenir compte de cet aspect, car les lots de pièces, selon leur gamme de fabrication, se promènent d'un endroit à l'autre de l'usine et vu leur disparité, il serait très complexe de déterminer quelles pièces se suivront, à un moment donné, sur telles machines. Cependant, dans un contexte de technologie de groupe où les pièces sont regroupées en familles et les machines en cellules, il devient plus aisé de pouvoir estimer les coûts de set-up en tenant compte de l'état du système.

Le but de ce travail est donc de développer, pour une compagnie utilisant la technologie de groupe, une méthodologie d'estimation des coûts de fabrication pour une nouvelle commande, plus précisément des coûts de set-up, en prenant en considération l'état du système de production au moment où on aurait à fabriquer cette commande. Autrement dit, les coûts de fabrication pour une nouvelle commande dépendent de plusieurs facteurs tels que:

- les autre pièces qu'il y a dans le carnet de commandes
- les pièces déjà en production
- et l'état du système de production

Nous croyons qu'en tenant compte de ces facteurs plutôt que d'utiliser des valeurs moyennes, on peut arriver à produire des estimés plus proches des coûts réels. L'objectif du présent travail est de proposer un algorithme d'estimation des coûts incorporant cet aspect, sans entrer dans les détails du séquencement des lots de pièces. L'algorithme procède en deux étapes. D'abord, il permet de déterminer des limites pour les coûts de set-up; quel que soit le séquencement adopté, les coûts de set-up resteront bornés par ces limites. Ensuite, ces limites sont raffinées pour finalement produire un estimé des coûts de set-up, en se basant sur les caractéristiques de la technologie de groupe.

Pour définir le contexte du type de compagnie visé, posons les hypothèses suivantes:

- la compagnie considérée est une compagnie manufacturière utilisant des procédés mécaniques
- elle fonctionne suivant la philosophie de technologie de groupe; les groupes de machines (cellules) et les familles de pièces associées sont déjà constituées
- elle fabrique sur commande en moyennes et petites séries
- plusieurs commandes sont en cours d'exécution et il y a des commandes en attente au moment d'estimer les coûts pour la nouvelle commande.

1.3 Plan du travail

Ce travail est divisé en huit chapitres. Le chapitre 1 définit le cadre et l'objectif du travail et présente des concepts généraux sur la fabrication sur commande ou en petits lots.

Le chapitre 2 introduit le concept de technologie de groupe. Après un bref historique de cette nouvelle philosophie de fabrication, les avantages découlant de son application sont présentés. Ensuite, le chapitre expose les différentes méthodes de formation des cellules de technologie de groupe, pour finalement faire une synthèse sur les principaux systèmes de codage et de classification utilisables pour l'application de la technologie de groupe.

Lors de l'estimation des coûts de fabrication d'un lot de pièces, l'une des informations des plus pertinentes est la gamme de fabrication de ce type de pièces; alors, le chapitre 3 fait une revue

des principales méthodes de planification automatisée de gammes de fabrication et décrit comment ces méthodes peuvent s'inscrire dans le cadre global de la technologie de groupe.

Le chapitre 4 détaille les différentes composantes du coût de fabrication et mentionne, parmi tous ces coût, lesquels sont pertinents à ce travail. Le chapitre 5, après avoir présenté les principales méthodes d'estimation de coûts, revoit les modèles, basés sur les méthodes présentées, utilisés dans l'industrie pour estimer les coûts de fabrication. A la fin de ce chapitre, deux modèles informatisés d'estimation sont présentés et leur intégration possible dans le contexte très informatisé de la technologie de groupe est analysée.

Comme on l'a déjà mentionné, et on y reviendra, il y a une relation entre le temps de set-up et le séquencement des pièces à produire. C'est d'ailleurs de cet aspect que cette thèse cherche à profiter pour améliorer l'estimation des coûts de set-up. Alors, sur chaque machine, il faudrait connaître les différents temps de changement de set-up pour passer d'une pièce à une autre. Le chapitre 6 présente deux méthodes d'élaboration de temps de set-up pour chaque machine dans la cellule appropriée de technologie de groupe. Ces matrices incluent toutes les pièces pouvant passer sur la machine considérée.

Le chapitre 7 décrit la méthodologie d'estimation des coûts de set-up proposée. Le processus est divisé en deux étapes. D'abord, on détermine des limites supérieure et inférieure pour les coûts réels de set-up. Ensuite on raffine ces bornes pour produire un estimé de

ces coûts.

Finalement, le chapitre 8 discute des conclusions qui peuvent être tirées des résultats de ce travail et complète en faisant des recommandations pour des travaux futurs.

CHAPITRE 2

TECHNOLOGIE DE GROUPE

2.1 Introduction

La compétition de plus en plus acharnée sur le marché et entre les nations industrialisées en général, le cycle de vie très court des produits, causé par le besoin pour des produits de plus en plus diversifiés, ont énormément contribué à changer le point de vue de l'industrie manufacturière. La tendance est passée de la production de masse à la production en petites et moyennes quantités et en fabrication sur commande. D'ailleurs, aux Etats-Unis, 75% de la production industrielle est faite sur une base de fabrication en lots de taille limitée. L'approche traditionnelle pour ce genre de production est d'utiliser un arrangement fonctionnel des machines où celles-ci sont groupées par types (département des presses, département de soudage, etc...). Chaque produit, selon sa gamme de fabrication, passe à travers tous ou quelques uns des départements de fabrication. Avec un tel arrangement, un certain stock de réserve doit être gardé en avant de chaque machine afin d'accroître son taux d'utilisation. Ceci résulte en un niveau d'inventaire de produits en

cours élevé, en un délai de livraison très long et en un certain nombre de conséquences désastreuses économiquement. Donc, contrairement à la production de masse, la production en lots de façon traditionnelle est très inefficiente, avec un niveau de productivité médiocre. Cependant, on a découvert récemment qu'en regroupant de petits lots de pièces similaires, utilisant les mêmes machines selon des séquences semblables, il était possible d'obtenir de larges quantités qui rendaient les lignes de production économiques. On a de plus remarqué [4] que même si les machines étaient utilisées selon des séquences différentes par des pièces différentes, et même si toutes les pièces n'utilisaient pas toutes les machines, il était quand même possible de tirer certains avantages comparables à ceux des lignes de production en arrangeant les machines en groupes, pouvant compléter chacun toutes les opérations sur un ensemble particulier ou famille de pièces. Ceci est l'essence de la technologie de groupe.

2.1.1 Définition

Selon R.H. Phillips [20], le principe de la technologie de groupe est basé sur l'agglomération systématique des pièces identiques ou similaires en familles de telle sorte que toutes les pièces combinées dans la même famille soient sujettes aux mêmes procédés de planification et de fabrication. E.A. Arn [3] donne une définition un peu plus complète: «Le terme **technologie de groupe** signifie une méthode qui consiste à analyser et à arranger le spectre des pièces et les procédés de fabrication correspondants en fonction de la

similarité de conception et de machinage de telle sorte qu'une base de groupes et de familles puissent être établie afin de rationaliser les procédés de production dans le domaine de la fabrication en petites et moyennes quantités».

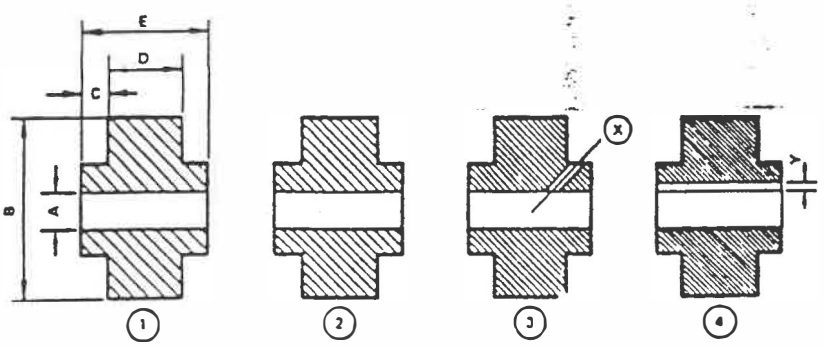


Figure 2.1. Similarité géométrique [4]

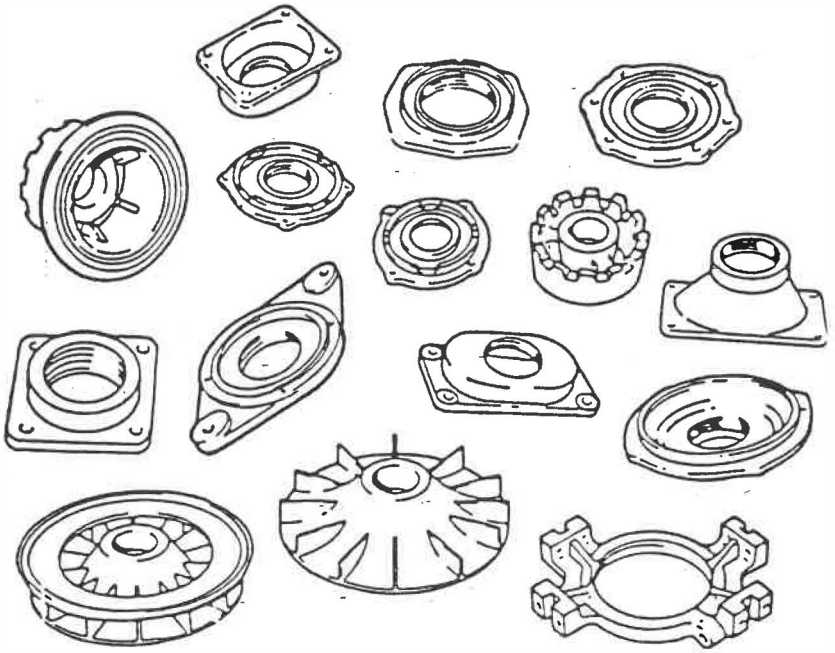
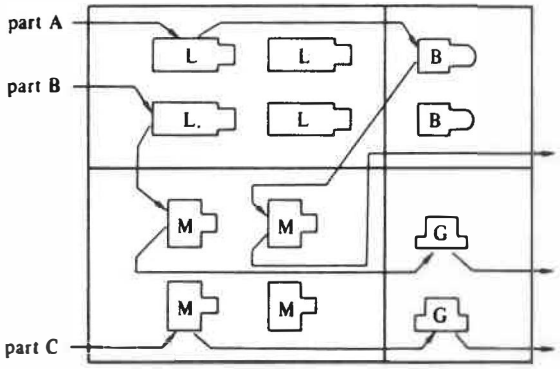


Figure 2.2. Similarité des opérations de fabrication [4]

Les figures 2.1 et 2.2 montrent deux exemples d'application de la technologie de groupe: une famille de pièces peut être formée en se basant sur la similarité géométrique ou sur la similarité des opérations de fabrication (machines, procédés, outillage, etc...).

Au niveau de l'implantation, avec la technologie de groupe on n'utilise plus l'arrangement fonctionnel des machines (figure 2.3). Les désavantages reliés à ce type d'arrangement ont été soulignés précédemment. Les machines sont plutôt organisées en cellules (figure 2.4) où chaque cellule est capable de traiter principalement une famille spécifique de pièces.



(Note) L: Lathe; M: Milling machine; G: Grinding machine; B: Boring machine.

Figure 2.3. Arrangement fonctionnel des machines [6]

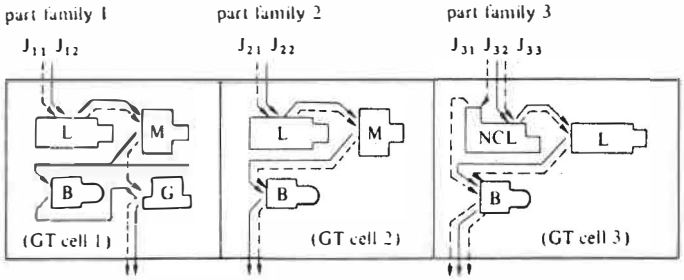


Figure 2.4. Arrangement cellulaire des machines [6]

2.1.2 Bref historique de la technologie de groupe

La technologie de groupe trouva ses origines dans les efforts de Frederick Taylor, vers la fin du 18e siècle et le début du 19e, pour identifier et profiter des moyens d'améliorer la productivité. En analysant les méthodes de travail, Taylor nota des similarités entre certaines tâches, il put les normaliser et les catégoriser par attribut. Toutefois, ce n'est qu'en 1940 que S.P. Mitrofanov, un Russe, proposa formellement la technologie de groupe. Son but était de créer un système qui pourrait minimiser le temps de "set-up"(1). En 1958, il publia le premier livre sur le sujet: The Scientific Principles of Group Technology [14] (traduit en anglais par Inyong Ham en 1977). En Allemagne, le professeur H. Opitz du "Aachen Technical University" fut l'un des pionniers de ce nouveau concept. Ses travaux de recherche aux environs des années '60 permirent de développer le système de classification Opitz pour les pièces machinées, un des systèmes les plus populaires présentement.

---

(1) Par set-up, on entend les opérations de préparation nécessaires avant de pouvoir lancer la fabrication.

Bien qu'il y eut, entre 1965 et 1972, une abondante litterature sur le sujet, cela vaut la peine de mentionner les efforts du professeur J.L. Burbidge du "International Center for Advanced Technical and Vocational Training", à Turin en Italie qui publia, en 1971, le premier livre sur l'Analyse du Flot de Production (Production Flow Analysis) [4], une approche de la technologie de groupe différente de celles présentées à date. Celles-ci étaient principalement basées sur le codage et la classification des pièces, alors que la nouvelle approche faisait appel surtout aux gammes de fabrication de ces pièces-là. Il faut aussi ajouter que déjà vers cette même période (1970-1975), beaucoup de systèmes de codage et de classification, tels que: Multi-class, Dclass, Code, Brisch et Sagt avaient déjà été développés. Présentement, la technologie de groupe est bien implantée en Asie et en Europe. Elle attire maintenant, de plus en plus d'attention en Amérique, bien que celle-ci ait tardé à s'y intéresser comparativement aux autres continents pré-cités.

2.1.3 Avantages de la technologie de groupe

Les principales caractéristiques de la technologie de groupe [4] sont:

- l'organisation de l'ensemble des pièces
- l'arrangement cellulaire des machines
- la séquence planifiée de chargement des machines
- et un cycle très court de contrôle du flot de matières.

L'utilisation combinée de ces quatre grands principes permet d'obtenir plusieurs avantages comparativement à l'approche traditionnelle de fabrication en petites et moyennes quantités, tant au niveau de la conception et de la fabrication que de la production. Les principaux avantages découlant de la TG sont synthétisés sur la figure 2.5.

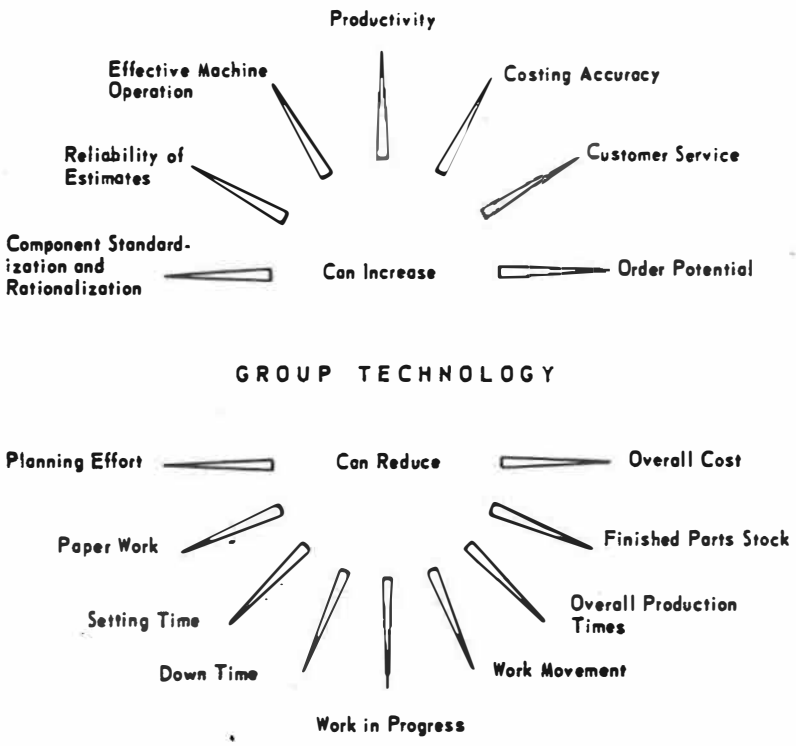


Figure 2.5. Principaux avantages de la TG [3]

L'un des avantages les plus appréciés de la TG est la réduction du temps de set up (setting time), car ce temps constitue l'un des handicaps majeurs de l'approche traditionnelle. En effet, lorsqu'on a à fabriquer en petits lots et que la séquence d'arrivée de ces petits lots aux différentes machines se trouvant sur leur gamme de

fabrication, soit complètement aléatoire, comme c'est souvent le cas avec un arrangement fonctionnel, on peut passer son temps à ne faire que du set-up plutôt qu'à produire. Pour contourner ce problème, on avait décidé, toujours selon la philosophie conventionnelle, de fabriquer en plus gros lots pour amortir les coûts de set-up. Evidemment, ceci a créé une multitude d'autres problèmes tels que: niveaux élevés d'inventaire de produits en cours et de produits finis, investissements élevés, incapacité à suivre rapidemment les changements du marché, longs délais de livraison, etc.... La séquence planifiée de chargement des machines, combinée à la réduction des temps de set-up offre un moyen de rémédier à ces problèmes et de tirer beaucoup de bénéfices dont les plus importants sont:

1. Une augmentation de la capacité des machines (plus de temps productif)
2. Une réduction de l'investissement en outillage
3. Une réduction des coûts de set-up
4. Une réduction des coûts d'opération

Il faut préciser que la séquence planifiée de chargement n'est surtout possible qu'avec un arrangement cellulaire. Dans un environnement fonctionnel, où il y a une file d'attente en avant de chaque machine et où le temps d'arrivée des pièces à un département quelconque est difficile à prévoir, sinon aléatoire, planifier la séquence de chargement ne peut évidemment pas donner les mêmes résultats. Les longs délais de livraison rencontrés dans ce type d'environnement sont

en partie attribuables à ce genre de problèmes.

De plus, l'arrangement cellulaire permet de réduire les coûts de manipulation, car il est beaucoup plus simple et rapide de transférer une pièce ou un lot de pièces d'une machine à une autre lorsque celles-ci sont situées dans la même cellule que lorsqu'elles se trouvent dans deux départements différents. Entre autres, cela simplifie aussi le côté administratif et réduit les coûts indirects, tout en améliorant le travail de planification, du fait que la responsabilité soit centralisée. La même cellule s'occupant de la pièce du début à la fin, la planification devient plus facile.

2.2 Méthodes de formation des cellules de technologie de groupe

Comme on l'a mentionné précédemment, la technologie de groupe fait appel à une approche cellulaire de l'usine. Les pièces doivent être regroupées par familles et des cellules doivent être aménagées pour pouvoir traiter ces familles. Idéalement, on aura autant de cellules qu'il y a de familles et chaque famille pourra être complétée entièrement dans sa cellule. Il existe différentes méthodes pour former ces cellules de fabrication. On peut former les familles de pièces d'abord, et ensuite déterminer un groupe de machines correspondantes à chaque famille. Au lieu de diviser ce processus en deux étapes (formation des familles de pièces, puis formation des groupes de machines), d'autres méthodes permettent de le faire de façon combinée, c'est-à-dire, former les familles (pièces) et les groupes (machines) sans vraiment faire une distinction entre les deux

étapes.

Il existe trois méthodes principales pour regrouper les pièces en familles:

1. recherche visuelle et/ou manuelle
2. analyse du flot de production
3. codage et classification

2.2.1 Recherche visuelle et/ou manuelle

La recherche visuelle et/ou manuelle est très simple. On détermine à l'oeil quelles pièces ressemblent à telles autres et on les regroupe. Mais malheureusement cette méthode n'est applicable que dans les cas où la variété de produits n'est pas grande. Quand on a affaire à un grand nombre de pièces, ce serait très inefficace et tout à fait irréaliste de penser pouvoir s'en sortir avec cette méthode. Dans ces cas-là, les deux autres méthodes sont plus appropriées.

2.2.2 Analyse du flot de production

Introduite par Burbidge [4] en 1971, cette méthode permet de former les familles de pièces et les groupes de machines de façon simultanée. La principale information dont on a besoin pour appliquer cette méthode est une gamme de fabrication précise pour chaque pièce. Dans un environnement où les machines sont arrangées de manière fonctionnelle, chaque pièce possède déjà une feuille de route,

indiquant son cheminement à travers les différents départements de l'usine et sur les machines appropriées de chaque département. A partir de cette information de base (la liste des machines visitées par chaque pièce), il est possible de dresser une matrice, dite d'incidence (figure 2.6), dont les rangées représentent les machines et les colonnes, les pièces.

PIECES

MACHINES	1	2	3	4	5	6	7
1		1		1	1	1	
2	1		1				
3	1		1				1
4		1		1		1	
5	1						1

Figure 2.6. Matrice d'incidence initiale

Si un élément de la matrice $a_{ij}=1$, cela signifie que la machine "i" sert à fabriquer la pièce "j", ou, si $a_{ij}=0$, il n'y a aucune relation entre les deux. A partir de ce moment, le problème consiste à diagonaliser la matrice d'incidence initiale pour aboutir à une matrice semblable à celle de la figure 2.7, si cela est possible, où on peut observer une certaine délimitation des machines et des pièces pour former les cellules. Par exemple, sur la figure 2.7, les pièces 1,3,7 et les machines 3,2 et 5 forment la cellule #1, tandis que les pièces 2,4,6,5 et les machines 1 et 4 constituent la cellule #2.

PIECES

MACHINES	1	3	7	2	4	6	5
3	1	1	1				
2	1	1					
5	1	1	1				
1				1	1	1	1
4				1	1	1	

Figure 2.7. Matrice finale

Il existe un grand nombre d'approches permettant de diagonaliser la matrice d'incidence initiale, lorsque cela est possible. A ce propos, King [10] et Sundaram [23] ont fait respectivement une revue des techniques de diagonalisation apparues avant et après 1982.

On notera cependant que le passage de la gamme de fabrication des pièces à la matrice d'incidence fait perdre de l'information. En effet, sur les feuilles de route des pièces, non seulement la liste des machines sur lesquelles elles passeront est indiquée, mais aussi l'ordre selon lequel ces machines seront visitées. La matrice d'incidence n'est pas capable de fournir cette information. Cela peut causer des problèmes lors de la formation des familles et des cellules. Car on pourrait avoir dans la même famille des pièces utilisant les mêmes machines mais selon un ordre diamétralement opposé. Ce qui causera sûrement des complications au niveau du set-up.

2.2.3 Codage et classification

Presque toutes les premières applications de la technologie de groupe étaient basées sur le codage et la classification des pièces. En fait, jusqu'à l'apparition de la méthode présentée précédemment, le codage et la classification des pièces était la seule méthode connue pour trouver les familles. Selon cette méthode, le regroupement des pièces en familles se fait en deux étapes: d'abord coder chacune des pièces, ensuite classer ces pièces en familles.

On peut définir [4] la classification comme étant la division d'une liste d'articles en classes selon leurs différences ou leurs similarités. Par exemple, des pièces peuvent être classées suivant leur forme, leurs méthodes de fabrication, leur valeur, le type de produit sur lequel elles sont utilisées, bref, suivant divers attributs.

Tandis que le codage peut être défini comme étant l'assignation de symboles à des classes, de telle façon que les symboles contiennent de l'information pertinente à la nature des classes. Chaque pièce doit être examinée et se voir attribuée un code indiquant des valeurs pour certaines caractéristiques telles que les dimensions, la forme, et d'autres caractéristiques spéciales. Une fois toutes les pièces codées, cela devient relativement aisé de former des familles répondant à certains critères spécifiques. A ce sujet, il existe plusieurs méthodes de cloisonnement [7] permettant de spécifier les critères selon lesquels on voudrait faire le regroupement en familles. Ces critères, si on le désire, peuvent être variés d'une fois à

l'autre en fonction de ses besoins, car on peut être interessé à avoir le regroupement soit en fonction de la similarité géométrique, soit en fonction du matériau, soit en fonction de la forme de départ, etc.... Les méthodes de cloisonnement rendent le processus de formation des familles plus flexible.

Après avoir formé les familles de pièces, il ne s'agira qu'à déterminer un ensemble de machines par famille, capable de traiter complètement toutes les pièces de cette famille.

2.3 Principaux systèmes de codage et de classification

Les systèmes de codage et de classification peuvent être classés de différentes manières. Ils peuvent être classés selon les symboles utilisés et à ce propos, on distingue:

1. les codes numériques - composés uniquement de chiffres
2. les codes alphabétiques - composés uniquement de lettres
3. les codes alphanumériques - composés de chiffres et de lettres.

Ils peuvent aussi être classés selon leur structure de construction:

1. structure hiérarchique (ou monocodes)
2. structure non-hiérarchique (ou polycodes)

3. structure hybride (ou codes mixtes).

Un monocode est un code dans lequel chaque symbole amplifie l'information contenue dans le symbole précédent (voir figure 2.8). Ainsi chaque symbole, excepté le premier, pris séparément ne peut pas être interprété. Un polycode est un code dans lequel chaque symbole est indépendant des autres (voir figure 2.9). Chaque symbole du code contient assez d'informations pour pouvoir être interprété sans se référer aux autres.

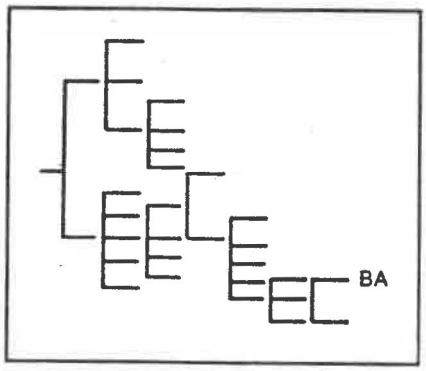


Figure 2.8. Structure hiérarchique [5]

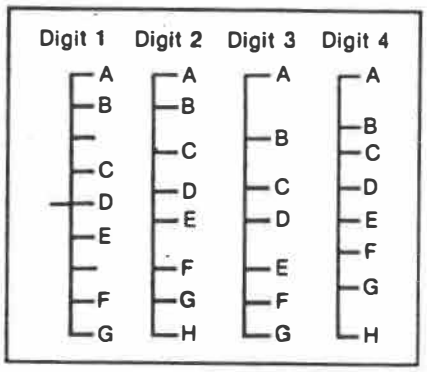


Figure 2.9. Structure non-hiérarchique [5]

Et finalement, dans un code hybride, certains des symboles peuvent avoir une structure hiérarchique, tandis que les autres sont plutôt de stucture non-hiérarchique.

Les monocodes sont difficiles à construire, mais contiennent beaucoup d'informations dans relativement peu de symboles. Tandis que les polycodes, tout en étant faciles à construire, ont tendance assez souvent à devenir très longs. Les codes hybrides combinent les avantages des monocodes et des polycodes et sont très versatiles. D'où leur très grande popularité pour les systèmes modernes de codage.

Finalement, les codes peuvent être classés selon leur universalité, en:

1. codes universels (applicables à différents types d'industries manufacturières)
2. codes spécifiques (à la compagnie l'ayant développé en fonction de ses besoins).

Les systèmes de codage, en formalisant le processus de codage, indiquent le code approprié pour les pièces et permettent leur enregistrement, leur tri, et la recherche d'informations les concernant. Il existe présentement une grande variété de systèmes de codage et de classification en utilisation à travers le monde. Le tableau 2.1 en présente un échantillon.

SYSTEME	ORGANISATION ET PAYS
OPITZ	Univ. Tech. d'Aachen (Rép. Féd. All.)
OPITZ's SHEET METAL	Univ. Tech. d'Aachen (Rép. Féd. All.)
STUTTGART	Univ. de Stuttgart (Rép. Féd. All.)
PITTLER	Pittler Mach. Tool Co. (Rép. Féd. All.)
GILDEMEISTER	Gildemeister Co. (Rép. Féd. All.)
ZAFO	(Rép. Féd. All.)
SPIES	(Rép. Féd. All.)
PUSCHMAN	(Rép. Féd. All.)
DDR	DDR Standard (Rép. Dém. All.)
WALTER	(Rép. Dém. All.)
AUERSWALD	(Rép. Dém. All.)
MITROFANOV	(URSS)
LITMO	Leningrad Inst. for Pre & Optics (URSS)
NITTMASH	(URSS)
VPTI	(URSS)
GUREVICH	(URSS)
VUOSO	Prague M/T Res. Inst. (Tchécoslovaquie)
VUSTE	Res. Inst. Eng. Tech. & Econ. (Tchécos.)
MALEK	(Tchécoslovaquie)
IAMA	IAMA (Yougoslavie)
PERA	Prod. Engr. Res. Assn. (U.K.)
SALFORD	(U.K.)
PGM	PGM Ltd. (Suède)
KC-1	(Japon)
KC-2	(Japon)
KK-1	(Japon)
KK-2	(Japon)
KK-3	(Japon)
SHEET METAL SYSTEM	(Japon)
CASTING SYSTEM	(Japon)
HITACHI	Hitachi Co. (Japon)
TOYODA	Toyoda Ltd. (Japon)
TOSHIBA	Toshiba Machine Co. (Japon)
BRISCH	Brisch-Birn Inc. (U.K. et Etats-Unis)
MICLASS	TNO (Hollande et Etats-Unis)
CODE	Mfg. Data Systems (Etats-Unis)
PARTS ANALOG	Lovelace, Lawrence & Co. (Etats-Unis)
ALLIS CHALMERS	Allis Chalmers (Etats-Unis)
SAGT	Purdue Univ. (Etats-Unis)
BUCCS	Boeing Co. (Etats-Unis)
ASSEMBLY PART CODE	Univ. of Massachusetts (Etats-Unis)
HOLE CODE	Purdue Univ. (Etats-Unis)
DTH/DCLASS	Brigham Young Univ. (Etats-Unis)
CINCLASS	Cincinnati Milacron Co. (Etats-Unis)

Tableau 2.1 Echantillon de systèmes de codage utilisés à travers le monde [6]

En dépit de leur nombre, tous ces systèmes possèdent certaines variables-clé, qui sont résumées au tableau 2.2.

Variable	Alternative ou étendue
Structure	Monocode Polycode Hybride
Usage	Privé Public
Symboles utilisés	Numériques Alphabétiques Alphanumériques
Procédure de codage	Manuelle Assistée par ordinateur
Logiciel de support	Aucun à très nombreux
Coût	Gratuit à plus d'un million
Service après vente	aucun à étendu
Utilisation par les manufacturiers américains	nombre d'utilisateurs américains limités à étendus

Tableau 2.2. Variables-clé des systèmes de codage [19]

Des nombreux systèmes de codage orientés vers la technologie de groupe, quatre des plus connus sont les systèmes Brisch, Code, Miclass et Opitz [17]. Le tableau 2.3 présente les principales caractéristiques et la capacité à capturer diverses informations concernant la conception et la fabrication, de ces quatre systèmes et de deux autres moins connus, mais qui ont été conçu pour améliorer certaines faiblesses des quatre premiers, soit: Sagt [1] et Appocc [16].

Comme on peut le remarquer au tableau 2.3, certains codes contiennent assez d'informations pour servir à la conception et à la fabrication, tandis que d'autres se limitent seulement à la conception.

	SYSTEMES DE CODAGE ET DE CLASSIFICATION					
Paramètres	BRISCH	CODE	MICLASS	OPITZ	SAGT	APPOCC
Structure du code	hybride	hybride	hybride	hybride	hybride	hybride
Longueur du code	6+	8	12	9+	18	18
Symboles utilisés	numériq.	numériq.	numériq.	numériq.	alphanum.	alphanum.
Orientation	concept.	concept.	conc.+fab.	concept.	conc.+fab.	conc.+fab.
Forme des extrémités	x	-	x	x	x	x
Forme extérieure	x	x	x	x	x	x
Forme intérieure	x	x	x	x	x	x
Protusions	-	x	x	x	x	x
Trous additionnels	x	x	x	x	x	x
Filets	x	x	x	x	x	x
Rainures	x	x	x	x	-	x
Plats	x	x	x	-	x	x
Dents d'engrenages	x	x	x	x	x	x
Chemins de clés	x	-	x	-	x	x
Intervalle de diamètre ext.	x	x	x	x	x	x
Intervalle de diamètre int.	x	-	x	-	x	x
Intervalle de longueur	x	x	x	x	x	x
Rapports de grandeur	x	x	x	x	x	-
Tolérance	-	-	x	x	x	x
Traitement à la chaleur	-	-	x	x	-	-
Forme du brut	-	-	-	x	x	x
Type de matériel	-	-	x	x	x	x
Fini de surface	-	-	x	-	x	x
Grosseur du lot de production	-	-	-	x	-	-

Tableau 2.3. Comparaison de différents systèmes de codage [20,19]

En général, tous les codes contiennent certaines informations géométriques telles que:

- la catégorie principale de la pièce (cylindrique, rectangulaire,...)
- ses caractéristiques cylindriques externes
- ses caractéristiques externes non-cylindriques
- ses caractéristiques cylindriques internes
- ses caractéristiques internes non-cylindriques
- les trous auxiliaires
- les dents d'engrenage
- etc...

Assez souvent, ce type d'informations suffit pour créer une base de données adéquate pour la conception. A l'aide de cette base, on peut rechercher les pièces répondant à certaines caractéristiques spécifiques, ce qui permettra de réduire leur variété, d'éviter de concevoir des pièces déjà existantes dans la base de données, bref, de normaliser les pièces qui seront conçues.

Cependant, pour qu'un système de codage et de classification puisse servir à la fabrication, il doit incorporer certaines données essentielles aux procédés de fabrication, telles que:

- le matériau de la pièce (type, dureté,...)
- les tolérances géométriques et dimensionnelles
- le fini de surface

- la taille du lot à produire
- les dimensions maximales de la pièce (diamètre, longueur,...)

Ce n'est qu'à partir de ce genre d'informations qu'on peut déterminer les procédés de fabrication, les types de machine à utiliser et la séquence d'utilisation.

Les systèmes Brisch, Code et Opitz sont donc orientés vers la conception, tandis que Miclass, Sagt et Appocc conviennent et à la conception et à la fabrication. Signalons toutefois que le système Opitz, bien qu'étant globalement dédié à la conception, peut incorporer dans ses codes supplémentaires, des données orientées vers la fabrication.

Il existe des logiciels, comme on le verra au chapitre suivant, capables de générer la gamme de fabrication d'une pièce à partir de son code. Mais, il faut que le code provienne d'un système de codage contenant des informations relatives à la fabrication. Donc, tout système de codage devant servir d'intrant à un de ces logiciels en question doit avoir été conçu ou modifié pour incorporer ces informations.

Rappelons, avant de terminer, que lorsque les cellules de fabrication ont été formées en diagonalisant la matrice d'incidence, le facteur déterminant dans la constitution des cellules est de regrouper les pièces utilisant les mêmes machines. Même si la séquence de toutes les pièces assignées aux cellules formées en diagonalisant la matrice d'incidence pourra être réalisée sur les machines de leur

cellule respective, le fait que ces pièces utilisent les mêmes machines ne signifie pas qu'elles les utilisent selon la même séquence. Il était nécessaire de préciser cette notion, car on y fera appel par la suite quand on parlera de la génération automatique des séquences de fabrication et lorsqu'on considérera la méthodologie de raffinement des bornes maximales des coûts de set-up au chapitre 7.

CHAPITRE 3

PLANIFICATION DE PROCEDES (OU GAMMES) DE FABRICATION

Dans un contexte manufacturier, la planification de procédés est définie comme la fonction qui spécifie la méthode de fabrication d'un ensemble de produits à fabriquer. Elle établit les procédés et les paramètres de machinage à utiliser, de même que les machines capables d'éxécuter les opérations associées à ces procédés. En d'autres termes, elle détermine le processus pour convertir une pièce de sa forme initiale à une forme finale prédéterminée, habituellement par un ingénieur en conception, sur un dessin détaillé.

3.1 Approche manuelle

Dans le passé, la planification des procédés était plutôt un art qu'une science. Le planificateur typique de procédés est habituellement un technicien expérimenté, ayant occupé une position lui ayant permis de devenir familier avec les procédés et la capacité de production de l'atelier. En se basant sur son expérience et l'équipement disponible, il lui est possible d'établir une séquence

d'opérations réalisables, capables de produire la pièce en question. La planification de procédés est une discipline très complexe, englobant plusieurs activités de nature très précise. Le planificateur a à sa disposition une liste des procédés disponibles dans son atelier ou dans l'usine, et des possibilités de chaque procédé. Les exigences à respecter, en ce qui concerne la pièce, sont indiquées sur un dessin.

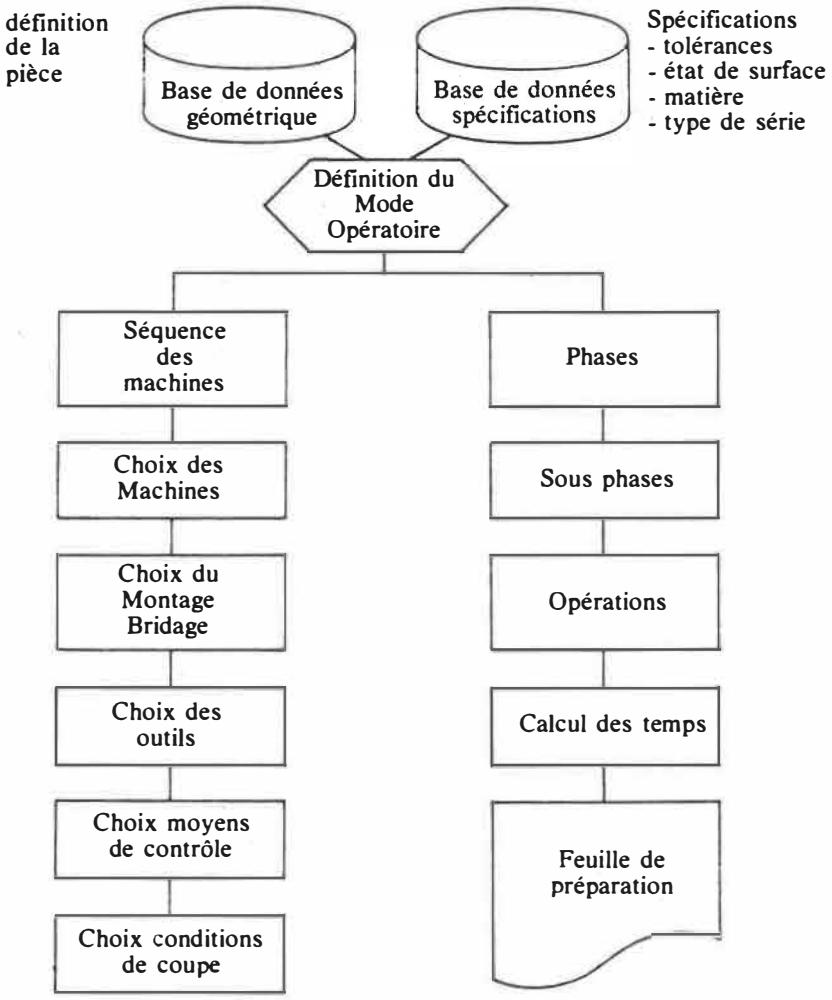


Figure 3.1. Travail du planificateur [27]

Ces variables étant données, le planificateur détermine une liste des procédés spécifiques pour réaliser la pièce. Ensuite, il doit entrer dans le détail de chaque opération incluse dans le procédé établi, en spécifiant les machines, les outils et les paramètres.

Très souvent, il existe plusieurs procédés permettant de réaliser la même pièce, et pour faire un choix entre ces différents procédés, un certain nombre de critères tels que les coûts et les temps d'opération doivent être considérés. Généralement, pour faire ce qu'il pense être le meilleur choix, le planificateur se base sur ses expériences précédentes avec des pièces similaires ou avec des pièces ayant certaines caractéristiques semblables. Il fait alors appel au procédé utilisé dans ces cas là. De cette manière, le planificateur passe à travers toute une série d'étapes de décision pour pouvoir aboutir à un procédé final. Une telle procédure (figure 3.1) constitue ce qu'on appelle l'approche manuelle de planification de procédés.

3.2 Approche automatisée

L'approche présentée précédemment est ardue et longue. Une économie de temps et d'effort peut être réalisée en automatisant la procédure de planification. Les approches automatisées sont divisées en deux catégories, soit:

- l'approche par variation (variant process planning)
- l'approche par génération (generative process planning)

3.2.1 Approche par variation

Cette approche (figure 3.2) fait appel aux systèmes de codage et de classification. Les codes sont utilisés pour créer des familles de pièces ayant sensiblement les mêmes gammes de fabrication. Il est possible de déterminer alors une gamme-type pour chaque famille et celle-ci est définie par des paramètres variables. Chaque gamme-type (pour chaque famille de pièces en technologie de groupe) contient des données normalisées et éventuellement les règles de variation. Toutes les gammes effectuées, et classées, constituent une base de données.

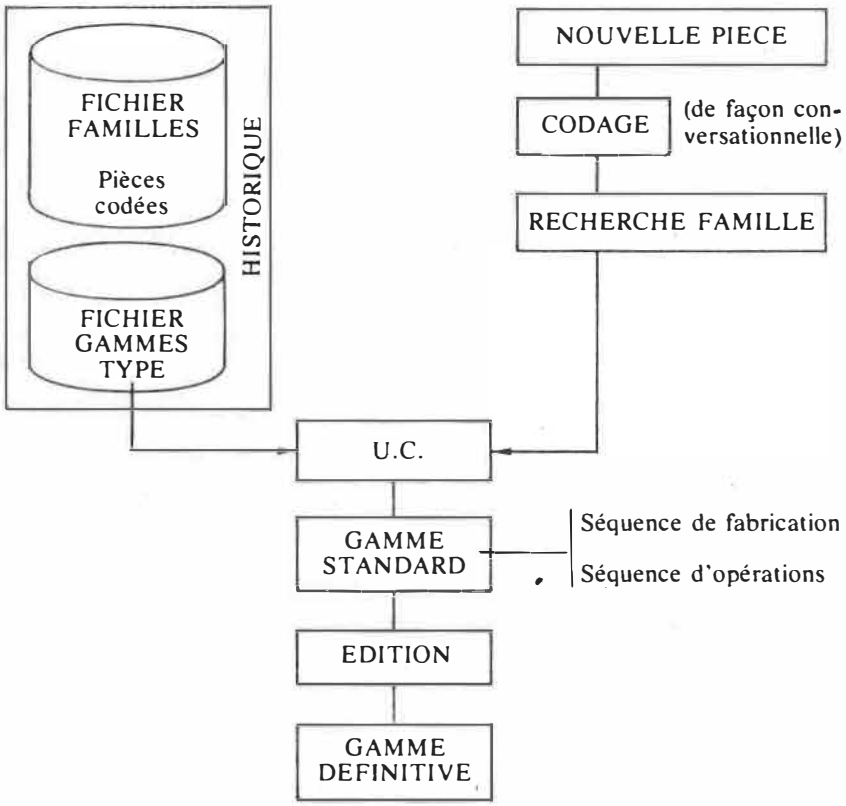


Figure 3.2. Approche par variation [27]

Lorsque vient le moment d'établir une gamme de fabrication pour une nouvelle pièce, on n'a qu'à suivre le processus décrit par la figure 3.2. D'abord, on code la nouvelle pièce, puis on compare ce nouveau code à ceux des familles de pièces existantes et s'il y a correspondance parfaite avec une famille, on va chercher la gamme-type de cette famille. C'est cette gamme qu'on utilisera désormais pour fabriquer la nouvelle pièce. S'il n'y a pas correspondance parfaite entre le code de la nouvelle pièce et celui d'une des familles, on choisit la gamme-type d'une famille dont le code est similaire. Cette gamme est modifiée pour tenir compte des spécificités de la nouvelle pièce, et emmagasinée dans la base de données comme étant la gamme définitive de cette nouvelle pièce. La gamme type (figure 3.3) inclut toutes les opérations et toutes les machines possibles qu'on peut utiliser pour fabriquer les pièces de la famille en question. Si deux machines peuvent exécuter la même opération, on choisit celle qui serait la plus économique en fonction de la quantité à produire.

Cette méthode est simple mais fastidieuse à cause de la saisie de l'historique. Cependant, c'est l'approche la plus utilisée de nos jours. Des logiciels de planification (automatisée) par variation, de gammes de fabrication, ont été développés pour la majorité des systèmes de codage présentés au chapitre 2 tels que: OPTITZ, CODE, MICLASS, TEKLA.

FAMILY GROUP—BTTH 1875DDHG139E04TCNB

Sequence No.	Operation	Min. - Max.
1	Cold Head	2501 - INF.
2	Cut Off Slugs	1 - 2500
3	Hot Head Slugs	1 - 2500
4	Face and Chamfer—Hand	1 - 4000
5	Face and Chamfer—Auto	4001 - INF.
6	Head Form and Drill—Hand	1 - 1000
7	Head Form and Drill—Semiauto	1001 - 3000
8	Head Form and Drill—Auto	3001 - INF.
9	Stamp Head	1 - INF.
10	Thread Roll—Hand	1 - 4000
11	Thread Roll—Auto	4001 - INF.
12	Fillet Roll	1 - INF.
13	Heat Treat	1 - INF.
14	Plate	1 - INF.
15	Pack	1 - INF.

Lot Size	Computer Generated Routing Sequence Numbers
100	2-3-4-6-9-10-12-13-14-15
1,200	2-3-4-7-9-10-12-13-14-15
3,000	1-4-7-9-10-12-13-14-15
5,000	1-5-8-9-11-12-13-14-15
10,000	1-5-8-9-11-12-13-14-15

Figure 3.3. Exemple de gamme type [22]

3.2.2 Approche par génération

Contrairement à l'approche précédente, l'approche par génération ne fait pas appel aux gammes de fabrication de pièces similaires. Les gammes sont développées à partir de zéro. Cette approche, comme on peut le voir sur la figure 3.4, utilise comme intrants:

- la description géométrique et les caractéristiques technologiques de la pièce
- les procédures connues de production (les opérations de fabrication)
- et finalement, l'équipement de fabrication disponible

La description géométrique et certaines opérations de fabrication peuvent être capturées à l'aide des systèmes de codage et de classification.

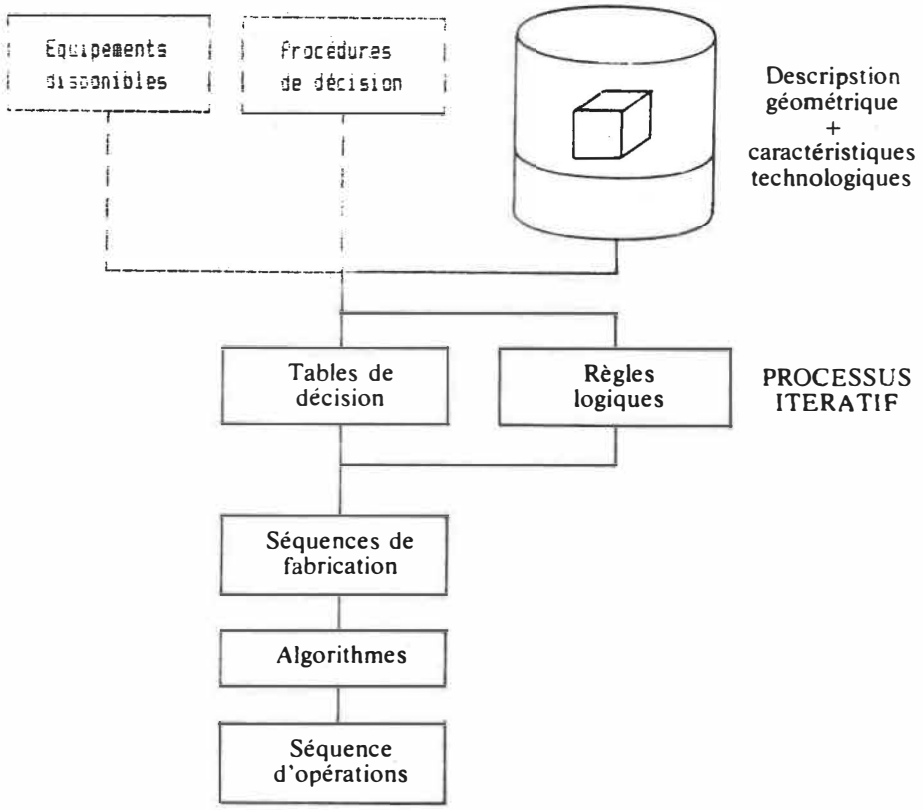


Figure 3.4. Approche par génération

A partir de la description totale de la pièce, on fait une analyse pour déterminer les types d'opérations nécessaires pour produire la géométrie et les tolérances requises, et en se référant à l'équipement disponible, on utilise des tables de décision qui associent à chaque condition technologique les modes de fabrication.

En général, les systèmes à approche générative s'arrêtent au stade de génération des séquences de fabrication. Dans certains cas,

la génération des séquences d'opérations peut être assurée par des algorithmes qui effectuent le choix des outils et la détermination des conditions d'usinage.

Les systèmes utilisant cette approche ne sont pas tellement répandus car ils sont considérés comme lourds et complexes. Cependant, il y a actuellement beaucoup de recherches qui se font dans ce domaine, car l'approche par génération permet une meilleure conception et une meilleure optimisation des gammes. Le développement accéléré des systèmes experts pourrait permettre à cette approche de devenir bientôt industriellement viable.

3.2.3 Approche mixte

Les recherches s'orientent vers une solution mixte pour une large famille de pièces appartenant à une même technnologie, avec des groupements analogiques pour les surfaces et des principes générateurs pour le processus global de fabrication.

La démarche inverse existe aussi, avec une technologie de groupe pour formaliser l'ensemble du processus et la méthode générative pour le détail des phases.

Comme on l'a mentionné au chapitre précédent, il y a principalement deux méthodes pour former les cellules de technologie de groupe: les systèmes de codage et classification et l'analyse du flot de production. Si la première méthode a été utilisée, on n'aura pas trop de difficulté à utiliser l'approche automatisée de planification de gammes de fabrication, puisque dans beaucoup de cas,

le système de codage utilisé peut servir d'intrant à un logiciel de planification. Mentionnons encore que l'approche par variation est la plus employée présentement, parce que plus facile à appliquer. Si, cependant, les cellules ont été formées par l'analyse du flot de production, il devient plus compliqué d'utiliser l'approche automatisée. Ne pouvant coder la pièce, on ne peut pas déterminer "a priori" à quelle famille (donc à quelle cellule) elle appartient. Ce n'est qu'après avoir établi la gamme de fabrication de la pièce (manuellement ou par génération) qu'on peut déterminer dans quelle cellule elle va, en comparant sa séquence à la séquence maîtresse de chaque cellule. Dans un cas comme celui-ci, on est forcé d'utiliser soit l'approche manuelle, soit l'approche par génération. Dans l'état actuel des choses, cette dernière n'est pas à la portée des petites et moyennes entreprises, vu sa lourdeur.

Dans le reste de ce travail, lorsqu'on parlera de planification automatisée de gamme de fabrication, ce sera pour désigner la méthode par variation. Car ,celle-ci, étant plus répandue et plus simple que les autres, se trouve donc plus à la portée des petites et moyennes entreprises, visées par notre travail.

CHAPITRE 4

COUTS

L'estimation des coûts dans le but d'établir des prix (de vente, de soumission,...) peut être définie comme étant le processus consistant à calculer le coût espéré ou le coût futur des articles à produire, en se basant soit sur des coûts historiques, soit sur des coûts mesurés (mesure du travail, étude de temps,...), soit sur des coûts établis (par négotiation, contrat, politique,...), soit finalement sur des coûts obtenus à partir d'une combinaison des coûts cités précédemment. Avant d'entrer dans le détail des différentes méthodes d'estimation de coûts, il paraît essentiel de présenter les divers types de coûts industriels qu'une compagnie manufacturière pourrait avoir à estimer dans le cadre de la détermination du prix de ses produits. La notion de coût est sujette à diverses interprétations et les différentes théories de la comptabilité analytique mettent en évidence la complexité de leur détermination. Sans essayer de déterminer ou de justifier laquelle de ces diverses interprétations serait la plus appropriée ici, nous allons nous limiter, dans ce chapitre, à faire l'énumération des principaux coûts formant le coût

d'un produit et à préciser lesquels sont pertinents au type de compagnie considérée dans notre étude.

4.1 Coûts d'un produit

D'après Tassinari [24], généralement le coût d'un produit est considéré comme une part de la somme des coûts de développement, d'industrialisation, et de fabrication. Les deux premiers ne sont pas répétitifs. Les derniers le sont tout au long de la série. Ce découpage des coûts bien que non exhaustif donne une idée d'ensemble des composantes du coût d'un produit manufacturé.

4.1.1 Coûts de développement

Ils s'étalent tout au long de la période de développement d'un produit et de sa définition et comprennent notamment:

- la recherche et les essais,
- les études et les dessins,
- les maquettes de forme,
- les éprouvettes ou maquettes d'essais,
- le développement d'équipements spéciaux,
- les essais,
- les outillages pour prototype,
- la documentation et les publications techniques sur le développement,

- la fabrication d'un ou de plusieurs prototypes,
- les essais de prototypes,
- les frais divers (exemple: coopération),
- etc...

4.1.2 Coûts d'industrialisation

Ils représentent les dépenses nécessaires pour transformer les études de faisabilité en études industrielles du produit. Ils comprennent principalement:

- les études de mise en série,
- la documentation et les publications techniques sur l'industrialisation,
- la préparation du travail,
- l'étude et la fabrication des outillages de série,
- etc...

Les coûts de développement et d'industrialisation sont comptabilisés indépendemment des coûts de fabrication et sont ensuite répartis dans le prix unitaire de chaque produit.

4.1.3 Coûts de fabrication

Il existe plusieurs façons de classer les coûts de fabrication, cependant la méthodologie la plus utilisée pour accumuler ces coûts

est leur division selon les quatre grandes catégories suivantes:

- les matières premières,
- la main d'oeuvre,
- la machinerie,
- et les frais généraux.

Tandis que le contenu des trois premières catégories est assez évident et peut se passer de détails explicatifs, celui de la quatrième est très diversifié et requiert certaines précisions. La catégorie des frais généraux peut être divisée en trois sous-catégories, soit:

- les frais généraux reliés aux matières premières,
- ceux reliés à la main d'oeuvre,
- et finalement, les frais généraux indirects ne pouvant être reliés ni aux matières premières ni à la main d'oeuvre.

Le tableau 4.1 présente des items typiques pouvant être classés dans chacune de ces trois sous-catégories.

Les diverses dépenses de frais généraux peuvent être réparties sur la base des:		
(1) Coûts de main d'oeuvre	(2) Coûts de matières premières	(3) Coûts directs totaux
Primes de surtemps	Coûts du dépt. des achats	Haute direction et superviseurs
Perte de temps machine	Fournitures	Salaires et bénéfices
Dépréciation	Coûts d'entreposage	Taxes foncières
Coûts de supervision directe	Coûts de manipulation des matières	Redevances
Coûts du dépt. des ressources humaines	Combustible, électricité eau, vapeur	Vente et publicité
Relations industrielles	Frais de livraison et de transport	Maintenance
Planification et contrôle de la production	Expédition	Coûts du dépt. des finances et de la comptabilité
Outillage	Emballage	Coûts de vérification légale et de fournitures de bureau
Avantages sociaux des travailleurs	Contrôle de la qualité	Services externes
	Coûts du dépt. de réception et de distribution	Voyages
		Intérêts
		Mauvaises
		créances

Tableau 4.1. Principales sous-catégories de frais généraux [2]

Si l'on se réfère aux hypothèses posées au chapitre 1, le type de compagnie considérée dans notre étude est un atelier de fabrication sur commande, ou plus exactement un atelier de conversion. Cela signifie que cette compagnie ne met pas elle-même en marché les articles qu'elle fabrique. Ceux-là le sont selon les spécifications ou les besoins spécifiques de clients qui les ont commandés. Les caractéristiques d'une telle compagnie résident plutôt dans son expertise technologique et ses capacités de production que dans un produit particulier. Par conséquent, pour ce genre de compagnie les coûts de développement et d'industrialisation sont moins pertinents. Les principaux coûts dont il faut tenir compte dans ce cas sont les coûts de fabrication. Dans ce travail sur l'estimation des coûts à l'aide de la technologie de groupe, nous nous restreindrons à une partie des coûts de fabrication, celle dont l'estimation peut être améliorée en tenant compte des caractéristiques de la technologie de groupe, soit les coûts de set-up. Ceci étant dit, nous allons donc dans la section suivante préciser les coûts dont nous allons surtout parler.

4.2 Coûts pertinents à notre travail

Nous avons mentionné précédemment qu'il était impossible de définir le terme coût d'une seule façon, car il peut prendre différentes significations selon l'objectif poursuivi, la nature de la décision à prendre et le preneur de décision lui-même. Par conséquent, selon la décision à prendre, les coûts seront classifiés différemment.

On peut diviser les coûts par fonction (fabrication, administration, commercialisation,...), par leur aspect physique (matière première, main d'oeuvre, frais généraux,...), par secteur (atelier, division,...), par leur niveau d'imputabilité (coûts directs, coûts indirects, coûts spécifiques, coûts communs,...), etc... . Il y a donc une variété appréciable de manières de considérer les coûts. De toutes ces manières, une vaut la peine d'être soulignée, en ce qui a trait au domaine de l'estimation des coûts. Il s'agit de la séparation de tous les coûts d'exploitation de l'entreprise en charges fixes et en charges variables. Cette distinction entre les coûts fixes et variables a donné naissance à une nouvelle façon de considérer les coûts, soit la méthode des coûts proportionnels (ou méthode des coûts variables, ou encore méthode des coûts marginaux), comparativement à la méthode traditionnelle, soit la méthode des coûts complets. Cette dernière inclut dans les coûts de fabrication toutes les charges de fabrication fixes et les charges de fabrication variables, tandis que les tenants de la méthode des coûts proportionnels ne reconnaissent pas les coûts de fabrication fixes comme des charges incorporables au coût du produit. En ce qui nous concerne, nous optons ici pour la méthode des coûts marginaux, car comme nous aurons l'opportunité de le préciser au cours du chapitre suivant sur les méthodes d'estimation, nous sommes d'accord avec ceux qui pensent qu'elle permet d'aboutir à de meilleurs estimés. Cela signifie donc que dans tout ce qui suit, nous n'allons pas tenir compte des coûts fixes de fabrication. Seuls les frais directs et/ou variables qui seraient occasionnés par l'acceptation de la nouvelle

commande seront considérés.

Il existe des méthodes d'estimation, et on le verra sous peu, qui permettent de baser les estimés sur les frais directement reliés à la commande proposée ou pour laquelle la compagnie soumissionne. Sur ce plan nous n'allons rien inventer, nous nous servirons d'une de ces méthodes que nous jugerons adéquate. Mais là où nous pensons pouvoir apporter une modification positive qui permettra d'accroître la précision des estimés et de raffiner l'intervalle où les coûts réels devraient se situer, c'est au niveau de la façon de considérer les coûts de set-up.

Généralement, les compagnies manufacturières établissent, à partir d'études de temps, des standards de temps pour les opérations de set-up et ces temps sont habituellement appliqués une fois à chaque lot de pièces. Aux fins d'estimation de coûts, ces temps sont répartis sur le nombre d'unités dans le lot de production. Ainsi, le coût de set-up est considéré comme un coût variable et est distribué sur une base de coût de la main d'oeuvre directe. En production continue ou lorsqu'on a de gros lots de production, le temps de set-up peut être négligeable et le coût de set-up est réparti par l'intermédiaire des frais généraux. Quand le temps de set-up est inclus dans les frais généraux, le temps de cycle est le seul considéré par l'estimateur. Tel n'est cependant pas le cas pour notre problème où on a à faire à de la production sur commande en moyennes et petites séries.

Comme on l'a vu au chapitre 2, l'une des caractéristiques de la technologie de groupe est la séquence planifiée de chargement des machines (ordonnancement), découlant de leur arrangement cellulaire et

de la répartition des pièces en familles regroupant les pièces avec des caractéristiques similaires. Cela permet de réduire les temps de set-up. Car le temps de set-up nécessaire entre deux pièces assez similaires (du point de vue opération) sera évidemment plus court que celui entre deux autres pièces moins similaires. Par conséquent, le temps de set-up sur une machine pour une certaine pièce dépend de la pièce qui était précedemment sur la machine. Cela crée une situation dynamique où les coûts de set-up, et donc l'estimé des coûts de fabrication, dépendent de l'état du système de fabrication au moment de l'estimation pour une commande spécifique. Les modèles d'estimation actuels ne tiennent pas compte de cette dynamique de la situation et c'est cet élément de précision que nous cherchons à inclure pour considérer la situation particulière d'un environnement de fabrication cellulaire découlant de la technologie de groupe. Car il est plus facile, dans un tel environnement, de prévoir l'état dans lequel le système sera au moment où la commande y pénetrera, que dans l'environnement traditionnel d'arrangement fonctionnel. Rappelons avant de terminer que, comme mentionné au chapitre 2, la technologie de groupe permet aussi de réduire le gaspillage des matières premières, en planifiant leur utilisation. En effet, si plusieurs pièces utilisent les mêmes matières premières, le même brut, il est possible de réduire le gaspillage dû au brut non utilisable. On pourrait incorporer cet aspect dans l'estimation des coûts de fabrication d'une nouvelle commande, mais notre étude ne portera pas sur cet aspect. Nous nous limiterons aux coûts de set-up. Parmi les divers coûts de fabrication qu'on vient d'énumérer, seuls ces coûts

nous intéressent dans ce présent travail.

CHAPITRE 5

METHODES D'ESTIMATION

Thuesen et Fabrycky [25] définissent un estimé de coût comme étant: «une opinion, basée sur l'analyse et le jugement, du coût d'un produit, d'un système, ou d'un service.». Et il existe différentes méthodes permettant de développer une telle opinion. En fait, la gamme de méthodes d'estimation rencontrées est très étendue. Elle varie de celles très simples, utilisant l'intuition, à d'autres très complexes, faisant appel à des notions mathématiques sophistiquées. Phillip F. Ostwald dans son livre Cost Estimating for Engineering and Management [18] en présente au moins une quinzaine. Pour être précis, il présente dix méthodes préliminaires (méthode de conférence, méthode de comparaison, méthode unitaire, méthode de la valeur espérée, méthode probabiliste, simulation par ordinateur, méthode de rangement non ordonné, méthode du graphique d'exclusion, méthode du graphique de bande, et finalement, méthode de l'échelle ordinale) et cinq détaillées (méthode des coefficients, méthode de la loi de puissance et du modèle de grandeur, méthode des données de temps standard, méthode des relations d'estimation de coût, et méthode de l'analyse

marginale)

Les méthodes préliminaires sont moins quantitatives que les détaillées et sont plutôt utilisées à un stade peu avancé de la conception ou pour une estimation rapide. Généralement la méthode des coefficients et celle de la loi de puissance et du modèle de grandeur sont surtout employées pour estimer les coûts reliés aux bâtiments et à l'équipement, tandis que la méthode des données de temps standard convient bien pour les coûts de main d'oeuvre. La méthode des relations d'estimation de coût est une extension de la méthode des coefficients.

Ayant montré rapidement jusqu'à quel point le nombre de méthodes d'estimation pouvait être élevé, nous allons de préférence adopter le point de vue de Thuesen et Fabrycky [25] et présenter succintement les trois grandes classes de méthodes d'estimation retenu par eux, soit: les méthodes utilisant des techniques d'ingénierie, les méthodes analogiques et les méthodes statistiques. Mentionnons, avant de poursuivre, que les différentes méthodes énumérées par Ostwald [18] peuvent trouver leur place à l'intérieur de ces trois grandes catégories.

5.1 Principales méthodes

5.1.1 Techniques d'ingénierie

L'estimation à l'aide des techniques d'ingénierie peut être décrite comme étant l'examen des différentes composantes de niveau

inférieur entrant dans la nomenclature du produit. L'estimateur commence avec une série de dessins et spécifie chaque opération, chaque équipement, chaque outil nécéssaires, et les besoins en matières premières. Des coûts sont assignés à chaque élément en partant du niveau le plus bas possible et sont ensuite progressivement accumulés pour aboutir à un total pour le produit ou le projet considéré. Il existe des temps standards pour les opérations de production. Ceux-ci sont disponibles par l'intermédiaire de diverses organisations, ou la compagnie peut développer ses propres standards à l'aide d'études de temps et mouvements, ou/et en compilant des données sur une période de temps adéquate.

Cette approche requiert beaucoup d'effort et de données. Préférablement, elle devrait être automatisée. Bien qu'elle soit moins intéressante que les deux méthodes suivantes en ce qui concerne les produits en développement, à cause du manque de données inhérent à ce genre de situation, elle peut très bien convenir dans le cas qui nous préoccupe présentement, c'est-à-dire dans le cas d'une compagnie fabriquant sur commande une gamme donnée de produits. L'un des désavantages de cette méthode découle du fait que de petites erreurs au niveau du détail peuvent s'accumuler et résulter en de très grandes au niveau du coût total estimé. Précisons que la méthode des données de temps standard mentionné plus haut pourrait être classée dans cette catégorie de methodes.

5.1.2 Méthodes analogiques

Très souvent, il est possible d'estimer les coûts futurs d'un nouveau produit ou d'une opération en se référant à un produit ou une opération similaire. La base de l'estimé est alors la similarité existant entre un produit, une opération, un procédé connus et ceux proposés ou projetés. Par ailleurs, dans plusieurs cas il est également possible d'estimer le coût de la main d'oeuvre par rapport à celui des matières premières. Par exemple, pour un certain montant de matières premières, la quantité d'heures de travail impliqué peut être déduite, connaissant la relation entre un dollar de matières premières et un dollar de main d'oeuvre, pour un produit donné. On peut arriver à de bons estimés à l'aide de cette méthode, mais l'un de ces désavantages majeurs est le niveau élevé de jugement requis. Une expertise et une expérience considérables sont requises pour identifier et traiter les analogies adéquates et faire des ajustements pour tenir compte des différences observées.
Des méthodes comme la méthode de comparaison, la méthode de la loi de puissance et celle des relations d'estimation de coût pourraient être regroupées dans cette catégorie.

5.1.3 Méthodes statistiques

Ces méthodes peuvent utiliser des techniques statistiques variant de l'ajustement graphique de courbes simples à l'analyse complexe de corrélation multiple. Dans tous les cas, l'objectif est de

trouver une relation entre les changements de coûts et certaines variables telles que le lot de production, le poids, la grandeur, la puissance, etc... . Evidemment, ces méthodes font appel à une base de données historiques. Elles sont très utiles car elles permettent d'estimer le coût total en fonction de différentes variables en donnant l'importance de chacune; ce qui est très pratique quand on veut obtenir rapidement un estimé brut pour un produit donné. On a cependant la possibilité de raffiner l'estimé en utilisant des données statistiques plus spécifiques.
Des méthodes comme celles du graphique d'exclusion, du graphique de bande, et celle des coefficients pourraient trouver leur place dans cette catégorie.

Ces différentes méthodes fournissent les moyens pour estimer les divers coûts de matières premières, de main d'oeuvre et de frais généraux, cependant on n'utilise pas qu'une seule méthode pour estimer tous les coûts de fabrication d'un produit. Dans la majorité des cas, elles sont utilisées en conjonction. Cela dépend du contexte, des données disponibles, de la précision voulue et du choix de l'estimateur. A partir de ces diverses méthodes, beaucoup de modèles d'estimation ont été développé, chacun pouvant faire appel à une ou plusieurs de ces méthodes. A la section suivante, nous présenterons quatre des modèles typiques d'estimation utilisés dans la pratique industrielle pour estimer le coût d'un produit.

5.2 Modèles d'estimation du coût d'un produit

De façon générale, tout modèle d'estimation de coût d'un produit repose sur la disponibilité de certaines informations spécifiques telles que: des estimés détaillés d'opération et des données d'ingénierie et de marketing. L'une des données d'ingénierie les plus importantes pour un modèle d'estimation est la nomenclature du produit, car celle-ci contient la liste complète des composantes du produit final, incluant les pièces fabriquées et celles assemblées, les pièces standards achetées (rondelles, résistances,...) et les matières premières. En se servant de la nomenclature, l'estimateur peut être assuré qu'aucune pièce, achetée ou fabriquée, ne sera négligée.

5.2.1 Modèle basé sur le prix de revient standard

C'est le plus ancien des modèles d'estimation. Des feuilles de procédé de fabrication sont préparées pour chaque composante, sous-assemblage et assemblage du produit. Ces feuilles fournissent une procédure de fabrication, en identifiant les temps de set-up et de cycle de chaque opération, le taux horaire de la main d'oeuvre et les frais généraux d'opération.

Le coût d'opération unitaire standard, comprenant la main d'oeuvre et les frais généraux opérationnels, peut être estimé de la façon suivante:

$$CO = \sum_{i=1}^{n} \{[(SU_i/N + t_i)MO_i](1 + FG_{cp})\} \qquad (5\text{-}1)$$

où CO = cout unitaire d'operation ($)

n = nombre d'opérations à effectuer sur la pièce

SU_i = temps de set-up(hres) pour l'opération "i"

N = grosseur du lot de production

t_i = temps d'opération (hres)

MO_i = taux horaire de main d'oeuvre ($/hre)

FG_{cp} = taux de frais généraux pour le centre de production, incluant les frais d'opération de machinerie (un centre de production étant défini comme une ou plusieurs machines ou stations de travail où la même opération peut être effectuée). Voir tableau 4.1 colonne 1.

Notons qu'il est possible que chaque opération soit faite dans un centre de production différent, comme il peut être possible que toutes les opérations soient effectuées dans le même centre.

A l'aide de la formule précédente, on détermine les coûts d'opération pour chaque composante. On détermine aussi la quantité de matières premières à utiliser pour chaque composante, sous-assemblage et assemblage:

$$CM_k = MP_k (1 + FG_{mp}) \qquad (5\text{-}2)$$

où CM_k = coût unitaire ($) de matières premières (incluant les frais) ajoutées à une composante, sous-assemblage ou assemblage

MP_k = coût unitaire ($) de matières premières pour la composante k

FG_{mp} = taux de frais généraux reliés aux matières. Voir tableau 4.1 colonne 2.

Les coûts sont accumulés étape par étape jusqu'au niveau du produit final. Le coût total unitaire de fabrication est ensuite calculé comme suit:

$$CT = \sum_{k=1}^{p} [(CO_k + CM_k)](1 + FG_{va}) \qquad (5\text{-}3)$$

où CT = coût unitaire ($) total de fabrication

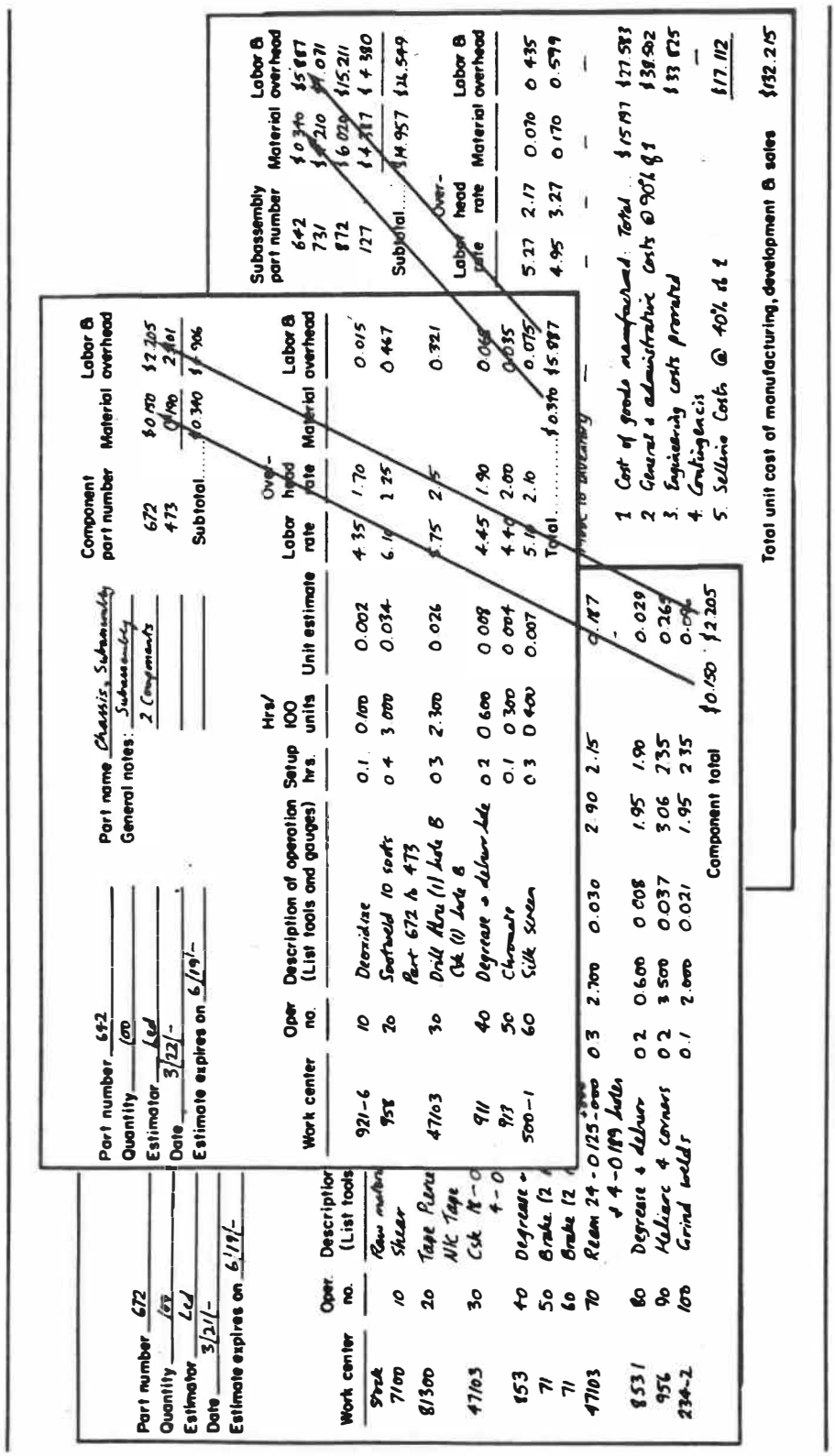
p = nombre de composantes

CO_k = coût d'opération ($) pour la composante "k", incluant la main d'oeuvre et les frais généraux opérationnels

CM_k = coût ($) des matières premières consommées par la composante "k" incluant les frais associés

FG_{va} = frais généraux de vente et d'administration. Voir tableau 4.1 colonne 3.

La figure 5.1 illustre la démarche. Sur cette figure on peut remarquer que pour obtenir le coût total unitaire, on inclut les coûts administratifs, les coûts d'ingénierie et les coûts de vente FG_{va}. En ce qui nous concerne, nous avons déjà signalé au chapitre précédent que nous n'avions pas l'intention de traiter de ces coûts ici. De plus, dans la formule (5-1), le terme FG_{cp}, conformément à ce que nous avions dit plus tôt, ne devrait contenir à cette étape que la portion des coûts directement occasionnée par la pièce. On peut argumenter que pour récupérer tous les coûts, il faudrait à la fin de l'estimation tenir compte de tous les frais généraux. Mais si on opère selon la méthode de la contribution marginale et si l'on est disposé à accepter les commandes dont la contribution marginale est positive, il faut bien pouvoir savoir quand est-ce que cette contribution est positive. Dans ce cas, il faut distinguer la partie variable de la partie fixe des coûts, et la partie différentielle de la partie constante.



Part number 672
Quantity 100
Estimator Led
Date 3/21/-
Estimate expires on 6/19/-

Part number 642
Quantity 100
Estimator Led
Date 3/22/-
Estimate expires on 6/19/-

Part name Chassis, Subassembly
General notes: Subassembly
2 Components

Work center	Oper. no.	Description (List tools)	Work center	Oper. no.	Description of operation (List tools and gauges)	Setup hrs.	Hrs/100 units	Unit estimate	Labor rate	Overhead rate	Material	Labor & overhead
Stock		Raw material	921-6	10	Deoxidize	0.1	0.100	0.002	4.35	1.70		0.015
7100	10	Shear	958	20	Spotweld 10 spots	0.4	3.000	0.034	6.10	2.25		0.467
81300	20	Tape Piece NIC Tape	47103	30	Drill Hole (1) hole B Csk (1) hole B	0.3	2.300	0.026	5.75	2.5		0.321
47103	30	Csk 18-0 4-0	911	40	Degrease & deburr hole	0.2	0.600	0.008	4.45	1.90		0.065
853	40	Degrease &	913	50	Chromate	0.1	0.300	0.004	4.40	2.00		0.035
71	50	Brake (2	500-1	60	Silk screen	0.3	0.400	0.007	5.10	2.10		0.075
71	60	Brake (2										
47103	70	Ream 24-0125-000 & 4-0189 holes	0.3	2.700	0.030	2.90	2.15	0.187				
853 1	80	Degrease & deburr	0.2	0.600	0.008	1.95	1.90	0.029				
956	90	Heliarc 4 corners	0.2	3.500	0.037	3.06	2.35	0.265				
234-2	100	Grind welds	0.1	2.000	0.021	1.95	2.35	0.096				
							Component total	$0.150	$2.205			

Component part number	Material	Labor & overhead
672	$0.150	$2.205
473	0.190	2.101
Subtotal	$0.340	$4.906

Subassembly part number	Material	Labor & overhead
642	$0.340	$5.887
731	$4.210	$4.071
872	$6.020	$15.211
127	$4.387	$4.380
Subtotal	$14.957	$26.549

Labor rate	Overhead rate	Material	Labor & overhead
5.27	2.17	0.070	0.435
4.95	3.27	0.170	0.599

Total $0.340 $5.887

1. Cost of goods manufactured: Total $15.197 $27.583
2. General & administrative costs @ 90% of 1 $38.502
3. Engineering costs prorated $33.825
4. Contingencies —
5. Selling Costs @ 40% of 1 $17.112

Total unit cost of manufacturing, development & sales $132.215

Figure 5.1. Illustration de la démarche d'estimation [18]

Finalement, dans la formule (5-1), SU_i est une valeur moyenne constante par opération, alors que dans notre cas il ne le sera pas nécessairement. Car, nous l'avons répété à maintes reprises, le set-up à faire sur une machine pour passer d'une pièce à l'autre dépend de la pièce précédente, donc de l'état du système de production au moment de fabriquer la nouvelle pièce. Nous aurons l'opportunité d'approfondir ce point au chapitre 7.

5.2.2 Modèle du taux horaire de machine

La méthode précédente convient très bien dans le cas de production en masse, où on peut facilement développer des taux unitaires standards (par type de produit) de matières premières, de main d'oeuvre directe et des différents types de frais généraux (section 4.1.3). Cependant, selon certains auteurs, dans le cas de la production sur commande où il est plus difficile de développer ces taux unitaires standards par type de produit, au lieu de construire un modèle d'estimation de coût sur des commandes dont on ne sait rien encore, il est préférable de le faire en se basant sur les coûts d'opération des équipements qu'on a à offrir et d'unifier ces coûts sur une base horaire. Ainsi, un atelier de machine-outils pourrait charger 80 $/heure pour l'utilisation de ses fraiseuses de tel type, 60 $/heure pour sa scie mécanique, etc... . Comme on le verra par la suite, cette idée constitue la base du concept du taux horaire de machine. On peut même développer des taux horaires de machine pour des centres de production où il n'y a aucune machine.

Le taux horaire de machine (THM) est le coût de possession et d'opération d'une machine et/ou d'un équipement pendant une heure. Le THM traditionnel est un coût qui inclut tout (excepté les coûts de matières premières et certains des frais généraux associés) et est développé à partir des coûts totaux, fixes et variables, qui sont statistiquement alloués aux équipements et installations de production. La procédure à suivre pour construire des THM complets (incluant tous les coûts) est la suivante:

- d'abord, on construit un budget des centres de production identifiés, contenant la liste de tous les centres de production à considérer ainsi que les facteurs physiques associés aux machines, tels que: l'espace occupé, la puissance, les heures annuelles de production prévues, la valeur de remplacement ou la dépréciation, et finalement tous les coûts directs autres que la main d'oeuvre et les matières premières (réparations, outillage, gaz, électricité,...). Ces facteurs seront utilisés comme base de répartition.

- ensuite, on construit un budget de main d'oeuvre, prévoyant les besoins pour les centres de coûts listés dans le budget précédent. Par exemple, tel équipement peut nécessiter 2.5 hommes pour son opération, le demi-homme voulant dire que le 3e homme n'est requis que la moitié du temps. Le nombre d'hommes requis par

équipement est multiplié par le taux horaire de main d'oeuvre auquel on ajoute les avantages sociaux ramenés sur une base horaire. On pourrait inclure ici le coût du temps perdu et le coût dû à une productivité en dessous de la norme. Le tout est ensuite multiplié par le nombre d'heures de fonctionnement prévu pour donner le budget total en dollars de main d'oeuvre directe par centre de production.

- le troisième budget est celui des charges directes. Celles-ci sont constituées par les frais pouvant être directement identifiés à chaque machine et à chaque centre de production. Ces charges ne sont pas incorporées aux frais généraux directs de fabrication, car ceux-ci doivent être répartis statistiquement à chaque centre de production, alors que celles-là n'ont pas besoin d'être répartis. On sait quelle machine a provoqué telles charges directes. Les charges directes comprennent:

    * les frais de maintenance et de réparation des machines, incluant la main d'oeuvre, les pièces de rechange et les fournitures (graisses,huiles,...).

* les frais de la main d'oeuvre inactive dûe à une machine en panne. Ceux-ci sont imputés directement à la machine en question.
* les frais directs d'énergie.
* les items spéciaux découlant d'un évènement ponctuel.

- le quatrième budget est celui des frais généraux ne pouvant être identifiés à aucun centre de production. On divise ces frais en coûts reliés à la fabrication et en ceux non reliés. Ensuite, on classe les coûts reliés à la fabrication dans des catégories pouvant être réparties sur la base des facteurs physiques mentionnés dans le premier budget. Par exemple, les coûts de la catégorie ESPACE seront répartis sur la base de l'espace occupé, et ainsi de suite pour les autres catégories. Puis tous les autres frais généraux de fabrication étant alloués aux centres de production, on répartit les frais généraux non reliés à la fabrication sur la base des premiers.

- ayant établi les facteurs physiques des équipements et installations de production, et déterminé les besoins en main d'oeuvre de ces centres de coût et le financement pour les opérer, on est maintenant prêt à combiner toutes ces données en des taux horaires de

machine pour chaque centre de coût (type de machine).

Le tableau 5.2 décrit le processus d'assignation des dépenses pour aboutir, à la dernière colonne du tableau, aux taux horaires de machine. Comme on peut le remarquer, ces taux comprennent tous les coûts de fabrication (sauf ceux de matières premières), directs et indirects, fixes et variables, de même que les coûts de vente et d'administration (frais généraux indirects). Le tableau 4.1 à la section 4.1.3 du chapitre précédent présente une liste typique des frais généraux directs et indirects de fabrication.

Evidemment, pour des raisons qui ont déjà été mentionnées, nous ne sommes pas en faveur de l'utilisation de ces taux complets pour estimer les coûts de fabrication d'une nouvelle commande. Le tableau 5.2 présente le même genre d'informations que le tableau 5.1 à la différence que, à l'exception des charges directes et des coûts de main d'oeuvre directe pour qui ce n'est pas nécessaire, tous les autres coûts ont été divisés en leur partie fixe (period costs) et variable (direct costs). En se servant des coûts variables, on peut déterminer des taux horaires de machine marginaux (oop: out of pocket costs) beaucoup plus utiles que les taux complets. C'est d'ailleurs à partir de cette approche que nous allons développer notre méthodologie d'estimation des coûts faisant intervenir explicitement les coûts de set-up.

ESPACE OCCUPÉ — COÛT DE REMPLACEMENT — FRAIS DIRECTS DE MAIN D'OEUVRE — ESPACE — PUISSANCE — MACHINERIE — INDIRECTS — AVANTAGES SOCIAUX — TAUX HORAIRE DE MACHINE

Production Center	Allocation Factors: Occupancy	Ind. Exp.	PHV	Man Hours	D.L.B.	Manufacturing Costs: Space	Power	Depreciation	Indirects	P.B.	Total Mfg. Costs	Non-Mfg Costs	Annual Op Costs	MHR (on Ment)	Hourly: Direct Charges	D.L.	Total M.H.R.
Print	800'	14.4	$20	1200	$4680	$2364	857	3385	4800	1070	12,676	13,998	26,674	22.06	.67	2.90	26.63
Cut & Crease	800'	24.0	15	1600	6240	2364	1429	2536	6400	1427	14,158	15,844	30,002	18.78	—	3.90	22.68
Glue	600'	12.0	30	1200	8760	1772	714	5077	4800	2003	14,366	16,118	30,484	25.40	.50	7.30	32.20
Totals	2200'	50.4	$65	4000	$19,680	$6500	$3000	$11,000	$16,000	$4,500	$41,000	$46,000	$87,000				

Totals from Allocable Budget

Occupancy	Ind. Exp.	PHV	Man Hrs.	D.L.B		Mfg. Costs	Allocation Factors
6500/2200	3000/50.4	11,000/19,680	16,000/4,000	4500/19,680		41,000/41,000	Allocation Fractions
2.9545	59.523	.1682	4.000	.2287		1.122	Allocation Ratios

PROCEDURE:

1. Enter cost totals from Allocable Budget
2. Select Allocation Factors, set up fractions, and develop Allocation Ratios.
3. For each cost category, multiply Allocation Ratio by respective Production Center data, viz:
   3.1 To get allocated SPACE COST for PRINT: 2.9545 x 800 ft. = $2364
   3.2 To get allocated INDIRECT COST for CUT & CREASE: 4.00 x 1600 hrs. = $6400
   3.3 To get allocated NON-MFG. COST for GLUE: 1.122 x $14.366 = $16.118

DIRECT CHARGES:

1. PRINTER: [illegible]/1200 hrs. = $.67 per hour
2. GLUER: [illegible]/1200 hrs. = $.50 per hour

Tableau 5.1. Taux horaire complet de machine [26]

Tableau 5.2. Taux horaire marginal de machine [26]

HASTY & TUCKER, INC.

UNITS	PRODUCTION CENTER	MANUFACTURING COSTS: Space Period	Space Direct	Power Period	Power Direct	Machinery Period	Machinery Direct	Indirect Period	Indirect Direct	F. B. Period	F. B. Direct	TOTAL MFG. OVERHEAD Period	TOTAL MFG. OVERHEAD Direct	NON-MFG. OVERHEAD Period	NON-MFG. OVERHEAD Direct	TOTAL ANNUAL OVERHEAD COSTS Direct	TOTAL ANNUAL OVERHEAD COSTS Total	M.H.R. OVERHEAD ONLY OOP	M.H.R. OVERHEAD ONLY "Full"	HOURLY DCB	HOURLY CCT	TOTAL M.H.R. OOP	TOTAL M.H.R. "Full"
1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1125	[illegible]	[illegible]	3538	4340	3064			53,581	7760	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2.08	[illegible]	20.00	[illegible]
2	[illegible]	15,305	695	1663	1330	[illegible]	6570	5787	4085			[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	6.82	[illegible]	8.78	15.55	31.15	57.28
1	[illegible]	2678	122	—	—	373	80	1447	1021			4498	1173	2505	3866	5039	[illegible]	2.52	6.02	—	2.43	4.95	8.45
1	[illegible]	[illegible]	70	125	100	1202	101	1447	1021			6304	1292	2419	4258	5550	10,313	2.78	6.16	.45	2.49	5.72	[illegible]
1	6c - 42" Plus.	6587	313	565	452	[illegible]	1576	2894	2043			28,175	4324	16,135	19,250	18,574	63,184	4.64	15.92	1.70	10.36	16.70	27.98
1	5c - 30" Plus.	4591	209	395	316	7451	607	2894	2043			15,331	3175	8537	10,463	13,638	37,526	2.41	9.38	1.05	9.85	14.31	[illegible]
2	Conway S-R.	3061	139	628	502	9935	809	5787	4085			19,441	5535	10,809	18,240	23,775	[illegible]	2.99	6.75	.79	4.70	8.66	[illegible]
1	Stanford S-R.	1148	52	63	50	1490	121	1447	1021			4148	1244	2310	4100	5344	11,802	2.67	5.90	.42	5.14	8.23	11.46
3	Gas Machines	3061	139	282	226	7451	607	6510	4596			17,304	5568	9636	18,351	22,919	[illegible]	2.56	5.65	.70	7.98	11.34	[illegible]
1	Shuster	1148	52	94	75	1202	101	1447	1021			3931	1249	2189	4,116	5365	11,485	2.68	5.74	.40	4.08	7.16	[illegible]
	Totals	[illegible]	2000	[illegible]	[illegible]	172,000	[illegible]	[illegible]	[illegible]	—	—	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]						
	Allocation Factors	[illegible]		Hp-hrs.		P.H.V.		[illegible]		—				MFG. COSTS									
	Allocation Fractions	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	—	—			[illegible]	[illegible]								
	Allocation Ratios	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	.10108	[illegible]	[illegible]	—	—			[illegible]	[illegible]								

Les taux horaires marginaux étant construits, la procédure pour estimer les coûts de fabrication d'un produit proposé est la suivante:

- on détermine la gamme de fabrication de la pièce, c'est-à-dire sur quelles machines elle devra passer.
- on estime le nombre d'heures que la pièce restera sur chacune de ces machines en question, en se servant des standards de production si disponibles.
- on évalue les frais directs reliés à la commande. Ces frais sont des coûts plutôt reliés au produit qu'aux machines. Les coûts reliés aux machines ont déjà été pris en compte lors du développement des taux horaires, mais pas ceux reliés à la commande. Comme frais reliés à la commande, on a:

    * les matières premières, incluant l'emballage et un pourcentage pour le gaspillage.
    * les matières de préparation nécessaires pour effectuer les diverses opérations de set-up.
    * les frais de transport de matières premières et de produits finis.
    * les frais directs de vente.

- finalement, on applique l'une des deux formules suivantes. Personnellement, aux fins d'estimation nous préferons la (5-4a) parce qu'elle utilise la méthode des coûts variables:

$$C_{tv}(N) = \sum_{i=1}^{n} (SU_i + N*t_i)THMV_i + FD \qquad (5\text{-}4a)$$

$$C_t(N) = \sum_{i=1}^{n} (SU_i + N*t_i)THM_i + FD \qquad (5\text{-}4b)$$

où $C_{tv}(N)$ = coût total ($) de fabrication pour un lot N, excluant les coûts fixes

$C_t(N)$ = coût total ($) de fabrication pour un lot N, incluant les coûts fixes

n = nombre d'opérations à effectuer sur la pièce, selon sa gamme de fabrication

SU_i = temps (hres) de set-up pour l'opération "i"

t_i = temps (hres) d'opération par unité pour l'opération "i"

$THMV_i$ = taux horaire marginal ($/hre) de machine pour l'opération "i"

THM_i = taux horaire complet ($/hre) de machine pour l'opération "i"

FD = frais reliés à la commande, incluant les matières premières

Si on veut obtenir le coût par unité, on n'a qu'a diviser le coût total par N.

Dans les formules précédentes, on a considéré que le même THMV s'appliquait au temps de set-up SU_i et au temps d'opération T_i. Cependant, le set-up peut être effectué par des préposés au set-up au lieu d'être fait par l'opérateur de la machine. Dans ce cas, au lieu de multiplier SU_i par le $THMV_i$ de la machine, il faut le multiplier par le taux horaire chargé par le département auquel appartient le préposé au set-up.

On peut développer la formule (5-4a) pour isoler les coûts de set-up:

$$C_{tv}(N) = \sum_{k=1}^{n} SU_k * THMV_k + \sum_{k=1}^{n} N*t_i * THMV_i + FD$$

Notre but est d'estimer un intervalle où C_{tv} devrait se trouver en tenant compte du fait que:

$$SU_{min} < \sum_{i=1}^{n} SU_i < SU_{max}$$

Comme on l'avait déjà mentionné, SU_i dépend de l'état du système au moment où la nouvelle commande y pénètre. On peut dans un premier temps déterminer les limites inférieure et supérieure entre lesquelles se trouverait C_{tv} en considérant la situation idéale où on aurait très peu de set-up à faire sur les machines se trouvant sur la gamme de fabrication de la nouvelle pièce (la pièce précédente sur

chacune de ces machines étant identique à la nouvelle) et l'autre situation extrême où on serait obligé de faire le set-up le plus long sur chaque machine (la pièce précédente étant la plus dissemblable de la nouvelle). On pourra, suivant les besoins, raffiner ces limites en tenant compte de l'état réel du système, c'est-à-dire, quelles pièces sont déjà en production, et lesquelles sont en attente d'être lancées en production. C'est l'objet du chapitre 7.

De nos jours, la tendance est de plus en plus vers l'automatisation complète ou partielle des tâches de l'entreprise. Et même quand une entreprise n'a pas nécessairement l'intention d'implanter chez elle un système intégré de fabrication, vu l'ampleur du travail impliqué pour faire des estimés de coût, surtout si ceux-ci doivent être faits de façon rapide tout en étant consistents et précis comme c'est souvent le cas dans le domaine de la fabrication sur commande, un système informatisé d'estimation de coût s'avère une nésessité. De toute façon, le type de compagnie que nous considérons ici est très informatisé; c'est une des caractéristiques des compagnies où la technologie de groupe est bien implantée. Dès que la gamme des produits est le moindrement variée, il faut un support informatique pour gérer la base de données, le système de codage et de classification, et le système de planification automatisée de gamme de fabrication. Les systèmes informatisés d'estimation de coût s'intègrent parfaitement dans un tel contexte. Nous en présenterons succintement deux modèles typiques.

5.2.3 Modèle simple de système informatisé d'estimation de coût

Lee et Ebeling [12] présentent un modèle informatisé d'estimation de coût systématique assez compréhensif pour pouvoir être adapté aux besoins spécifiques d'une entreprise manufacturière quelconque voulant implanter un tel système. Le modèle est très simple et peut même être interfacé avec des chiffriers tels que LOTUS 1-2-3. La figure 5.2 donne une idée générale du processus informatisé d'estimation de coût.

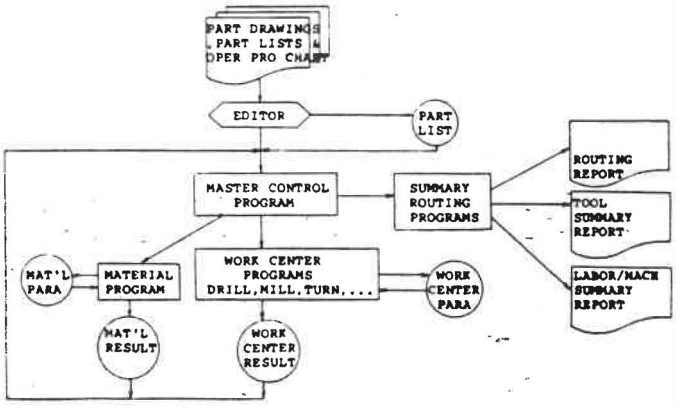


Figure 5.2. Processus informatisé d'estimation de coût. [12]

Comme indiqué, le processus démarre avec l'entrée de trois types de données essentielles, soit: la nomenclature de la pièce (part lists), les dessins, et la gamme de fabrication (operation process charts). Généralement, on pourra utiliser un éditeur (LOTUS par exemple) pour acquérir ces données-là. Puis, une fois les données entrées et memorisées, l'usager lance le programme principal qui lit le fichier contenant la nomenclature de la pièce et éxécute les sous-routines

appropriées d'estimation de coût de matières premières. A leur tour ces sous-routines chargent les fichiers contenant les paramètres pour les divers types de matières premières nécessaires. Une table séparée est utilisée pour chaque type de matières premières. De plus, le programme offre à l'usager la possibilité d'entrer directement d'autres paramètres nécessaires à l'estimation du coût unitaire des matières premières choisies. Les résultats sont emmagasinés dans un fichier "résultats de matières premières".

Ensuite, d'une façon similaire, le programme principal appelle d'autres sous-routines concernant les centres de production. Selon la gamme de fabrication entrée, le programme éxécute dans l'ordre chaque sous-routine du centre de production approprié. Ces sous-routines, à leur tour, vont lire les paramètres de ces centres de production dans des fichiers gardés en mémoire. Comme pour les matières premières, chaque centre de production a un fichier distinct de paramètres. Là aussi, l'usager a la possibilité d'entrer directement des données spécifiques. A partir de tout cela, le programme produit un fichier "résultats de centre de production".

Finalement, les fichiers "résultats de matières premières" et "résultats de centre de production" sont utilisés comme données pour produire trois autres rapports: un rapport de cheminement détaillé de la pièce, un rapport d'outillage, et un rapport sur les besoins en main d'oeuvre et en équipement de production. Le tableau 5.3 montre des exemples de ces types de rapport.

PRODUCTION LABOR/MACHINE SUMMARY

PART NO	DESCRIPTION	QTY	SET-UP	RUN	WORK CENTERS MECH ASSY 25	VMC 200 18	DRILL N/C 2
104F452	ASSY PART 1	2	94	3.64		2.31	1.33
203F450	ASSY PART 2	2	0	2.64	2.64		
			94	6.28	2.64	2.31	1.33

TOOLING SUMMARY

PART NO	DESCRIPTION	TOOL CODE	T/D	T/F	MAT. $$	N/C
103F440	ASSY PART 1	DJ	30	40	50	60
204F450	ASSY PART 2	MCX				50
305F458	ASSY PART 3	MF	10	20	30	40
TOTALS			40	60	$ 80	150

ROUTING SUMMARY

CONTROL NO. :200 PART NAME : ASSY PART 5
PART NO. :504F452 N.H.A. NO : 123
ESTIMATED QTY.: 2

OP.#	MACH. CTR.	OPER. DESCRIPTION	TOOL CODE	SET UP	RUN
10	858	DRILLING	DJ	37	1.33
20	870	BORING	MCX	57	2.31

Tableau 5.3. Exemple de rapport [12]

5.2.4 Modèle d'estimation au moindre coût avec la technologie de groupe

Ce modèle, présenté par H. G. Smart [22], fait appel à la technologie de groupe et, de plus, utilise le concept du taux horaire de machine. Il fait appel à la planification automatisée de gamme de fabrication par la méthode de variation exposée au chapitre 3 (section 3.2.1). Le principe n'est pas trop compliqué. On crée des familles de pièces ayant sensiblement les mêmes caractéristiques (technologie de groupe: chapitre 2), puis on définit une gamme de fabrication type pour chaque famille (figure 3.3). Cette gamme inclut toutes les opérations et toutes les machines possibles qu'on peut utiliser pour

fabriquer les pièces de la famille en question. Si deux machines peuvent éxécuter la même opération, on choisit celle qui serait la plus économique en fonction de la quantité à produire. Lorsqu'on veut estimer les coûts de fabrication pour une nouvelle pièce, le code de la pièce (en technologie de groupe) et la quantité à produire sont fournis comme données à l'ordinateur. Celui-ci etablit la gamme de fabrication la plus économique possible (au moindre coût) pour les quantités impliquées. Pour chaque opération sur la gamme, il détermine des standards de temps de production (l'auteur utilise des standards qu'il appelle BAMS [22]). Le nombre d'heures standards générées pour chaque opération est ensuite multiplié par le taux horaire de machine applicable pour ce type d'opération et ce type de machine. On fait la somme des coûts par opération et on ajoute ensuite les autres frais directs (voir formule 5-4 à la section 5.2.2) pour obtenir un estimé des coûts de fabrication. La figure 5.6 présente un exemple de résultats obtenus à l'aide de ce modèle.

Bien que ces deux modèles informatisés soient très pratiques, cependant ils ne prennent pas en compte l'état du système au moment de faire l'estimation. En effet, les coûts de set-up pour une pièce dépendent des autres pièces présentes dans la cellule au moment de lancement prévu de la nouvelle pièce pour laquelle on estime les coûts de fabrication. Or, aucun des modèles qu'on vient de voir ne considère ces autres pièces-là.

VOI-SHAN COST ESTIMATE

COST ESTIMATE NO.: 1 DATE: 4 DEC 81 REQUESTED BY: LLOYD

VSI PART NO.: VN439W02 CUSTOMER PART NO.:

ROUTING: 20034 BAMS: 74110 WEIGHT/PIECE: .00680

SLUG GT CODE: XY260-0299A169-0174;; PART GT CODE: NRNQ3010NWHG023564C-XB

RAW MTL: (260) WASPALLOY RAW MTL COST/LB: 29.00 MAX LOT SIZE: 10000
PROD CODE: 220

					1000	5000	15000	20000	50000
1	92	958	199	MACHINE BLANKS	.00	.73200	.42900	.27500	.25300	.19800
2	13	610	610	ANNEAL	15.00	.00456	.00456	.00456	.00456	.00456
3	14	685	778	POWDER BLAST	.00	.00236	.00236	.00236	.00236	.00236
4	14	640	742	CYANIDE - CAD PLATE,	10.00	.00433	.00433	.00433	.00433	.00433
5	20	312	121	FORM 12 PT FROM PILL	37.35	.05989	.05989	.05989	.05989	.05989
6	20	788	280	STAMP	37.35	.02437	.02437	.02437	.02437	.02437
7	20	312	122	FORM 12 PT FROM PILL	37.35	.05989	.05989	.05989	.05989	.05989
8	50	185	49	COUNTERSINK, TAP & S	94.64	.11712	.11712	.11712	.11712	.11712
9	14	645	793	STRIP PLATE	10.00	.00394	.00394	.00394	.00394	.00394
10	13	610	645	SOLUTION TREAT	.00	.00456	.00456	.00456	.00456	.00456
11	13	616	655	STABILIZE	.00	.00456	.00456	.00456	.00456	.00456
12	13	616	605	AGE	.00	.00456	.00456	.00456	.00456	.00456
13	14	685	778	POWDER BLAST	.00	.00236	.00236	.00236	.00236	.00236
14	14	644	790	CLEAN & SILVER PLATE	.00	.03700	.03700	.03700	.03700	.03700
15	92	969	925	PACK	.00	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
				RAW MATERIAL		.23664	.21692	.21692	.21692	.21692
				LOT COST ADDER	121.00					
				SUBTOTAL PRODUCTIVE RUN		1.29814	.97542	.82142	.79942	.74442
				SUBTOTAL SET UP	362.69	.36269	.07254	.03627	.03627	.03627
				TOTAL RUN AND S.U.		1.66083	1.04796	.85769	.83569	.78069
				G&A (1.28)		2.12586	1.34139	1.09784	1.06968	.99928
				ADD ON		.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
				FINAL TOTAL		2.1259	1.3414	1.0978	1.0697	.7993
				RAW MTL % OF TOT R&SU		14.2	20.7	25.3	26.0	27.8

**** THIS ESTIMATE EXPIRES 4-MAR-82 ****

Tableau 5.4. Exemple de résultats [22]

Comme nous le verrons au chapitre 7, fondamentalement, la méthodologie que nous avons adoptée pour estimer les coûts de fabrication à l'aide de la technologie de groupe se base sur le dernier modèle présenté. L'une des différences entre ce modèle et le

nôtre consiste dans la façon de traiter les coûts de set-up. Dans la formule 5-4, nous nous concentrons donc sur la façon d'estimer le premier terme, soit les coûts de set-up. Nous ne toucherons pas aux autres termes de la formule.

CHAPITRE 6

ELABORATION DES MATRICES DE TEMPS DE SET-UP

Généralement, lors de l'estimation des coûts de fabrication, on assigne aux coûts de set-up, pour les diverses opérations nécessaires, des valeurs moyennes calculées sur la base de tous les produits fabriquées par la compagnie en question. Parfois même, on intègre carrément les temps de set-up dans les temps d'opération. Dans un contexte de fabrication en lots ou sur commande, cette dernière pratique n'est pas très réaliste, car les temps de set-up peuvent représenter une portion non négligeable des coûts de fabrication comparativement aux temps d'opération et ne doivent pas par conséquent être incorporés à ceux-ci. Dans un milieu de fabrication en continu où ce sont les mêmes produits qu'on fabrique, ce n'est peut-être pas déraisonnable de prendre des valeurs moyennes pour les temps de set-up, car, vu que les produits sont répétitifs, on peut arriver à développer des statistiques valables. Cependant, nous ne pensons pas que cette pratique soit de mise dans un environnement de fabrication sur commande, fonctionnant selon le principe de la technologie de groupe. Nous l'avons mentionné à maintes reprises, l'un des principaux

avantages de la technologie de groupe est la réduction des temps de set-up. L'ampleur du set-up à faire sur une machine pour passer d'une pièce à l'autre dépend de la similarité ou de la dissemblance entre ces deux pièces. Et nous sommes d'avis qu'il y a moyen de tenir compte de cet aspect, lors de l'estimation des coûts de fabrication et que cela permettrait d'avoir des estimés plus proches des coûts réels. Le problème avec les valeurs moyennes est que justement ce sont des moyennes. Les coûts réels peuvent être bien en deçà ou au-delà de la moyenne calculée. Bien sûr, en se servant de ces valeurs moyennes, il y aura compensation entre les clients pour les coûts à supporter, mais cette façon de procéder peut contribuer à diminuer la position concurrentielle de l'entreprise. En effet, si la commande a un coût réel plus bas que celui qu'on a estimé et demandé en utilisant des valeurs moyennes, et que cette commande n'est pas attribuée à l'entreprise en raison du coût de soumission jugé trop élevé, il y a perte nette pour l'entreprise. Si on avait pu estimer de façon plus précise les coûts de fabrication, les coûts de soumission auraient été moins élevés et l'entreprise aurait eu de meilleures chances d'obtenir cette commande.

On peut aussi considérer le cas opposé où les coûts réels sont plus élevés que ceux estimés à l'aide de valeurs moyennes. Dans une telle situation, l'entreprise se trouve à subventionner un client. Et pour récupérer cette subvention accordée à un client, elle devra faire supporter des coûts supplémentaires à un autre client. On admettra que tout cela ne peut que diminuer la position concurrentielle de l'entreprise.

Pour estimer les coûts de set-up, en tenant compte de la relation existant entre ces coûts et le séquencement des pièces, il faut pouvoir connaître pour chaque machine le temps de changement de set-up d'une pièce à l'autre pour toutes les pièces susceptibles de se suivre sur cette machine. Ceci peut être fait en élaborant pour chaque machine, une matrice de temps de set-up (figure 6.1) spécifiant les différents temps de changement.

Lots de pièces

		1	2	3	j	N
	1	0	SU_{12}	SU_{13}	SU_{1j}	SU_{1N}
	2	SU_{21}	0	SU_{23}	SU_{2j}	SU_{2N}
	3	SU_{31}	SU_{32}	0	SU_{3j}	SU_{3N}
Lots	:					
de pièces	:					
	i	SU_{i1}	SU_{i2}	SU_{i3}	0	SU_{iN}
	:					
	N	SU_{N1}	SU_{N2}	SU_{N3}	SU_{Nj}	0

Figure 6.1. Matrice de temps de set-up (de/à) pour une machine donnée.

où SU_{ij} = temps de set-up requis pour passer de la pièce "i" à la pièce "j" sur la machine.

N = nombre maximum de types de pièces pouvant passer sur la machine.

Estimer des temps de set-up basés sur la séquence et élaborer une matrice de temps de set-up pour N pièces sur machine spécifique peut être très long et très difficile, car on pourrait avoir à estimer jusqu'à N (N-1) temps de set-up différents. Dans la pratique, beaucoup de ces set-ups n'arriveront peut-être jamais et le nombre d'observations nécessaires pour une estimation réaliste de ces temps de set-up peut nécessiter beaucoup d'heures d'observation. Avant d'exposer la méthodologie d'estimation des coûts de set-up pour une nouvelle pièce (chapitre 7), nous allons exposer deux méthodes pratiques d'élaboration des matrices de temps de set-up: soit la méthode de classification multiple [29] et celle des éléments de tâches de set-up.

6.1 Méthode de la classification multiple

White et Wilson [29] ont développé un modèle de régression multiple qui permet d'établir une complexité relative entre classes d'attributs de set-up, un attribut de set-up étant un facteur qu'on peut avoir à modifier pour faire un set-up. Par la suite, Irani, Gunasena, Davachi et Enscore [8] ont modifié ce modèle pour établir une complexité absolue, plutôt que relative, pour les divers attributs considérés.

La méthode est basée sur le modèle statistique:

$$Y_{ijk...\alpha} = Y + a_i + b_j + c_k + ... + \epsilon_{ijk...\alpha} \qquad (6\text{-}1)$$

où a_i = effet dans le i^e niveau de l'attribut A

b_j = effet dans le j^e niveau de l'attribut B

:

:

$Y_{ijk...\alpha}$ = somme des effets de l'élément α qui tombe dans le niveau i de l'attribut A, le niveau j de l'attribut B, etc... .

Y = moyenne de la variable dépendante

$\epsilon_{ijk...\alpha}$ = terme d'erreur pour cet élément

Pour chaque niveau de chaque attribut, le modèle utilise une variable instrumentale ("dummy") qui peut prendre la valeur 1 ou 0 dépendemment du fait que l'élément appartienne ou non au niveau considéré de l'attribut. La somme des variables représentant les divers niveaux d'un attribut doit être égale à l'unité. La prédiction débute avec la moyenne Y de la variable dépendante, et fait une série d'ajustements additifs, un pour chaque attribut, selon le niveau de cet attribut auquel l'élément appartient.

Dans le cas d'estimation de temps de set-up, il faut développer une structure de classification de set-up par machine. Il faut donc identifier les facteurs à considérer. Par exemple, pour un tour, certains des facteurs importants sont: le réglage de la boîte d'avance, celui de la boîte de vitesses, le positionnement du chariot

transversal, les mandrins, les porte-outils et les outils ou porte-outils spéciaux. Chacun de ces facteurs peut avoir 2 ou plusieurs niveaux. Par exemple, le mandrin (porte-pièce) peut avoir 2 niveaux: "changé" ou "pas changé", tandis que le nombre d'outils changés peut en avoir plusieurs: par exemple, 0,1,2,3. Pour le tour considéré par l'auteur [29], pour n'importe quel set-up, il faut avoir:

1. les mandrins appropriés
2. le réglage correct de la boîte de vitesses
3. le réglage correct de la boîte d'avance
4. le gabarit (contrôleur du tracé) adéquat
5. les porte-outils adéquats
6. les outils correctement ajustés et positionnés
7. les commutateurs de vitesse variable d'avance correctement réglés
8. la vérification finale et tout ajustement final d'outils nécessaire

Les facteurs étant identifiés, il faut collecter des données afin de déterminer les coefficients de l'équation (6-1). Pour collecter ces données, l'auteur suggère de développer une feuille de classification de set-up. Et pendant une période de temps significative, chaque fois que les préposés au set-up en effectuent un, ils doivent noter sur cette feuille certains renseignements tels que:

- la machine affectée
- le type de pièce avant le set-up et celui pour lequel

on le fait

- la durée du set-up
- les attributs affectés
- le nombre de niveaux de chaque attribut

Pour la machine considérée, le modèle statistique similaire à l'équation (6-1) est:

$$T_{ijkl123n\alpha} = C + m_i + S_j + a_k + g_l + b_1 N_1 + b_2 N_2 + b_3 N_3 + t_n + \epsilon_{ijkl123n\alpha}$$

ou en explicitant les différents niveaux de chaque attribut et en indiquant les variables instrumentales (les chiffres indiqués réfèrent à l'exemple de l'auteur):

$$T_{ijkl123n\alpha} = C + \sum_{i=1}^{8} m_i M_i + \sum_{j=1}^{2} s_j S_j + \sum_{k=1}^{2} a_k A_k + \sum_{l=1}^{2} g_l G_l + \sum_{h=1}^{3} b_h N_h + \sum_{n=1}^{2} t_n T_n + \epsilon_{ijkl123n\alpha} \qquad (6\text{-}2)$$

avec les variables instrumentales (représentant les attributs identifiés) définies comme suit:

$$M_i, \ldots, M_8 : M_i \Rightarrow \begin{cases} 1 \text{ si le set-up est sur la machine "i"} \\ 0 \text{ autrement, avec } \Sigma\, S_j = 1 \end{cases}$$

$$S_j \Rightarrow \begin{cases} 1 \text{ si le set-up est pendant le quart de travail } j \\ 0 \text{ autrement, avec } \Sigma\, S_j = 1 \end{cases}$$

$$A_1, A_2 \text{ où } A_1 \Rightarrow \begin{cases} 1 \text{ si le mandrin n'est pas changé} \\ 0 \text{ autrement, avec } \Sigma\, A_k = 1 \end{cases}$$

$$G_1, G_2 \text{ où } G_1 \Rightarrow \begin{cases} 1 \text{ si réglage de la boite de vitesses inchangé} \\ 0 \text{ autrement, avec } \Sigma\, G_l = 1 \end{cases}$$

$$T_1, T_2 \text{ où } T_1 \Rightarrow \begin{cases} 1 \text{ si gabarit inchangé} \\ 0 \text{ autrement, avec } \Sigma\, T_n = 1 \end{cases}$$

N_1 = nombre d'outils/porte-outils enlevés
N_2 = nombre d'outils/porte-outils insérés
N_3 = nombre total d'outils/porte-outils pour tourner la pièce
$\epsilon_{ijkl123n\alpha}$ = erreur de prédiction

Pour l'ensemble d'observations utilisées par l'auteur, et avec un seuil d'acceptation de 15% et un seuil de rejet de 20% des coefficients de l'équation, l'équation suivante a été obtenue:

$$\mathbf{t = 25.5 + 24.5\, M_3 + 13.1\, M_4 + 8.0\, S_2 + 15.6\, A_2 + 7.67\, N_2 + 2.9\, N_3 + 30.5\, T_1}$$

Ainsi, le temps de set-up est affecté de façon significative s'il est fait sur les machines 3 ou 4, s'il est fait pendant la deuxième période, s'il faut changer le mandrin ou le gabarit, et dépend du nombre d'outils insérés et du nombre total d'outils.

En utilisant les observations enregistrées, on peut déterminer les coefficients des variables instrumentales. En omettant certaines de ces variables, on peut voir l'effet de leur omission sur celles restantes. Cela donne une indication de la complexité relative entre les variables. L'utilisation d'une telle équation permet de prédire le temps de set-up d'une pièce à une autre en remplaçant les variables instrumentales par 1 ou 0 selon les changements à faire pour réaliser le set-up.

6.2 Méthode des éléments de tâches de set-up

Le principe de cette méthode est simple. D'abord, comme dans la précédente méthode, pour chaque machine il faut établir une liste d'attributs de set-up, c'est-à-dire une liste de facteurs qu'on peut avoir à modifier pour réaliser un set-up particulier. On peut même aller jusqu'à établir des niveaux pour chaque attribut. Un élément de tâche de set-up peut être défini comme une des opérations élémentaires à effectuer pour modifier l'état d'un attribut de set-up. La durée de chaque élément de tâche dépend de la complexité de l'attribut de la machine impliqué. Selon Irani [8], contrairement à la conception ou la planification de procédé, le nombre d'éléments constituant le set-up d'une machine est limité. Généralement, ils peuvent être classés sur une base de tel **<Type de tâches>** effectué sur tel **<Attribut>** pour telle **<Caractéristique de la pièce>**. Le tableau 6.1 présente un exemple de classification d'éléments pour un tour, et le tableau 6.2 un exemple de temps d'exécution pour certains de ces éléments.

Tâche	Attribut	Caractéristiques de la pièce
Charger/décharger	Le mandrin dans la poupée fixe	Diamètre ou forme de la pièce
Enlever Insérer Ajuster	Les outils dans le chariot transversal ou la tourelle, en supposant la disponibilité des outils	Forme intérieure et/ou extérieure Caractéristiques de la pièce particulière
Changer	Le rapport des engrenages de vitesse et/ou d'avance	Fini de surface Type de matériau
Aligner	Le chariot transversal	Conique
Attacher	La tête à fraiser/meuler	Caractéristique de forme Fini de surface
Mettre en position	La poupée mobile	Longueur de la pièce

Tableau 6.1. Exemple de classification d'éléments de tâches de set-up.[8]

Numéro d'élément de set-up assigné	Description de l'élément	Temps de chargement (min.)	Temps de déchargement (min.)
1	Plaquette bridée par le dessus	0.75	0.75
2	Plaquette fixée à l'aide d'une goupille de blocage	1.00	1.00
3	Plaquette bridée par le dessus et avec goupille de blocage	1.00	1.00
4	Plaquette bridée à l'aide d'entaille sur le dessus	1.00	1.00
5	Plaquette retenue à l'aide de vis	1.75	1.75
6	Porte-outil et outil à moleter	1.75	1.00
7	Forêts (excepté le forêt en forme de bêche)	4.00	2.50
8	Alésoir	4.00	2.50
9	Porte-outil pour tournage extérieur	1.75	1.00
10	Porte-outil pour tournage intérieur	2.25	1.50
11	Barre d'alésage intégral	1.25	1.00
12	Barre d'alésage interchangeable	1.50	1.75
13	Barre d'alésage en porte-à-faux	2.50	2.00

Tableau 6.2a Exemple de temps de set-up élémentaire.[15]

Numéro d'élément de set-up assigné	Description de l'élément	Temps de chargement (min.)	Temps de déchargement (min.)
14	Barre d'alésage à cartouche	1.50	1.00
15	Porte-outil pour forêt en forme de bêche	2.00	1.50
16	Coussinet pour barre d'alésage	3.00	1.50
17	Porte-outil pour barre d'alésage	2.50	1.50
18	Plateau à queue d'aronde	3.00	1.50
19	Porte-outil avec trou centré	2.50	1.50
20	Porte-outil à queue carrée	3.00	1.75

Tableau 6.2b Exemple de temps de set-up élémentaire.[15] (suite)

Lors de l'élaboration de la gamme de fabrication d'une pièce, on détermine sur quelles machines elle devra passer. Mais, on ne fait pas que cela. En effet, on doit aussi déterminer les conditions de ces machines. Par exemple, pour une fraiseuse, on doit déterminer quelle mèche utiliser (type et diamètre), la vitesse d'avance, la vitesse de coupe, etc... . En d'autres termes, pour chaque type de pièce, on doit spécifier l'état des attributs de set-up de la machine. Ceci peut être fait automatiquement, car dans le code de technologie de groupe de la pièce, il y a assez d'informations (par exemple: forme, matériau, dureté, filets,...) pour que, lors du processus de planification automatisée de gamme, l'état des attributs de set-up soit spécifié.

Alors, connaissant l'état des attributs de set-up d'une machine pour chaque pièce et connaissant les temps d'exécution des éléments de tâche de set-up pour modifier chaque attribut, on peut calculer le temps de set-up d'une machine pour passer d'une pièce à une autre. On n'a qu'à comparer l'état de chaque attribut pour chacune des deux pièces. Là, où les états ne sont pas les mêmes, on calcule le temps

nécessaire pour passer d'une état à l'autre en se servant des temps élémentaires. Ensuite on fait la somme des temps pour les états (d'attributs) différents.

Personnellement, nous préférons cette méthode à la précédente, car à partir d'un moment donné, les temps élémentaires de set-up peuvent être normalisés comme pour la méthode des temps prédéterminés en études de temps et mouvements. On pourrait alors prédire les temps de changement de set-up pour de nouvelles pièces, sans avoir à faire d'observations.

CHAPITRE 7

ALGORITHME D'ESTIMATION DES COUTS

7.1 Introduction

La technologie de groupe, comme on l'a vu au chapitre 2, est un système de fabrication selon lequel les pièces similaires ou celles ayant des procédés de fabrication similaires sont identifiées et groupées par familles. Les machines requises pour traiter ces pièces peuvent alors être arrangées en groupes ou en cellules de telle sorte que toutes les pièces dans une famille puissent être complètement fabriquées selon une séquence continue à l'intérieur d'un même groupe. On a aussi vu toute une série d'avantages qui pouvaient découler de l'application de la technologie de groupe. De façon générale, tous ces avantages contribuent à réduire les coûts de fabrication. L'un des principaux avantages est la réduction des temps de set-up découlant de la planification de la séquence de chargement des machines. Autrement dit, à l'intérieur d'une famille, on peut arranger les pièces selon une certaine séquence de façon à minimiser les opérations de set-up, donc les coûts associés.

A ce propos, ouvrons ici une parenthèse pour spécifier que dans un système de production juste-à-temps (JAT), même si on peut trouver plusieurs cellules de production basées sur le principe de la technologie de groupe, la planification de la séquence de chargement des machines dans ces cellules n'est pas faite avec en tête l'idée de réduire les temps de set-up pour passer d'une pièce à l'autre. Le but visé dans un tel système de production est de livrer la bonne quantité de pièces, au bon moment, avec la qualité requise, sans être obligé d'avoir des stocks de matières premières, de produits en cours ou de produits finis à quelque stade de production que ce soit. On veut à la limite fabriquer en lot d'une pièce. Dans ce cas, la taille des lots diminuant et tendant vers l'unité, leur nombre augmentera inévitablement. Par conséquent, vu qu'il y aura plus de lots à passer sur chaque machine, le nombre de fois où on devra faire un set-up pour passer d'un lot à un autre augmentera lui aussi. C'est pourquoi, dans un système de production JAT, il faut nécessairement appliquer des techniques de reduction de set-up [21]. La réduction qu'il est possible d'obtenir par la planification de la séquence de chargement des machines est inapplicable dans ce genre d'environnement. En outre, les systèmes de production JAT ne sont pas visés par notre étude, car ils supposent un environnement de production stable (même quantité à produire journalièrement pendant au moins un mois) alors que les systèmes de fabrication sur commande sont loin de l'être.

Les coûts de set-up représentant généralement une portion non négligeable des coûts de fabrication, les réduire permet par le fait même à une entreprise de pouvoir offrir des prix plus compétitifs ou

d'augmenter sa marge de profit. De là découle l'idée de tenir explicitement compte de cet aspect lors de l'estimation des coûts de fabrication. Dans la majorité des cas, quand des estimés de temps de set-up sont disponibles pour la planification de la production, ceux-ci sont généralement des valeurs moyennes établies à partir de tous les types de pièces et sont habituellement incorporés dans les temps d'opération. Cette façon de procéder ne prend donc pas en considération la dépendance existant entre la séquence de chargement des pièces et les opérations de set-up nécessaires. Il est donc évident qu'une entreprise qui considère explicitement cet aspect (l'état de son système de production au moment d'accepter une commande) peut arriver à produire des estimés de coût plus proches de la réalité, en tenant compte du fait qu'elle diminue ses coûts de fabrication par la réduction des temps de set-up. Ce dernier point est d'ailleurs l'avantage le plus immédiat de l'application du concept de technologie de groupe.

Nous allons donc présenter au cours de ce chapitre, une méthodologie qui, en combinant des notions exposées au cours des chapitres précédents, permet d'atteindre cet objectif, c'est-à-dire, d'estimer les coûts de fabrication d'une commande en tenant compte de l'état du système de production, plus particulièrement des coûts de set-up impliqués, au moment où on lancerait cette commande. Pour ce faire, nous allons procéder en deux étapes. Dans un premier temps, nous déterminerons un intervalle de coût où les coûts réels de fabrication devraient se trouver. Et dans un deuxième temps, nous rapprocherons les bornes de cet intervalle en prenant avantage des

caractéristiques de la technologie de groupe et produirons un estimé basé sur ces caractéristiques.

7.2 Méthodologie d'estimation

La figure 7.1 présente une vue globale de la méthodologie utilisée lors du processus d'estimation. Le processus est enclenché lorsque la compagnie reçoit une proposition de commande. Il doit alors produire un prix de soumission. Pour ce faire, elle aimerait estimer rapidement, et de façon le plus réaliste possible, ses coûts de fabrication.

La compagnie, fonctionnant selon le principe de technologie de groupe, il lui faut donc déterminer à laquelle de ses familles de pièces, cette nouvelle pièce pourra être incorporée, et donc de décider vers quelle cellule de fabrication la diriger. Normalement, les cellules de technologie de groupe devraient être formées pour que chaque pièce puisse être entièrement traitée à l'intérieur d'une et d'une seule cellule. Cependant, il arrivera des cas où pour éviter un trop grand dédoublement des machines, certaines pièces doivent cheminer à travers plusieurs cellules. Dans ces cas là, pour estimer les coûts des commandes, on peut appliquer pour chaque cellule la méthodologie qui va être présentée ici et faire ensuite la somme sur toutes les cellules visitées. Par conséquent, même si nous ne considérons ici que le cas d'une cellule, ceux avec plusieurs cellules peuvent être décomposés par cellule et synthétisés ensuite.

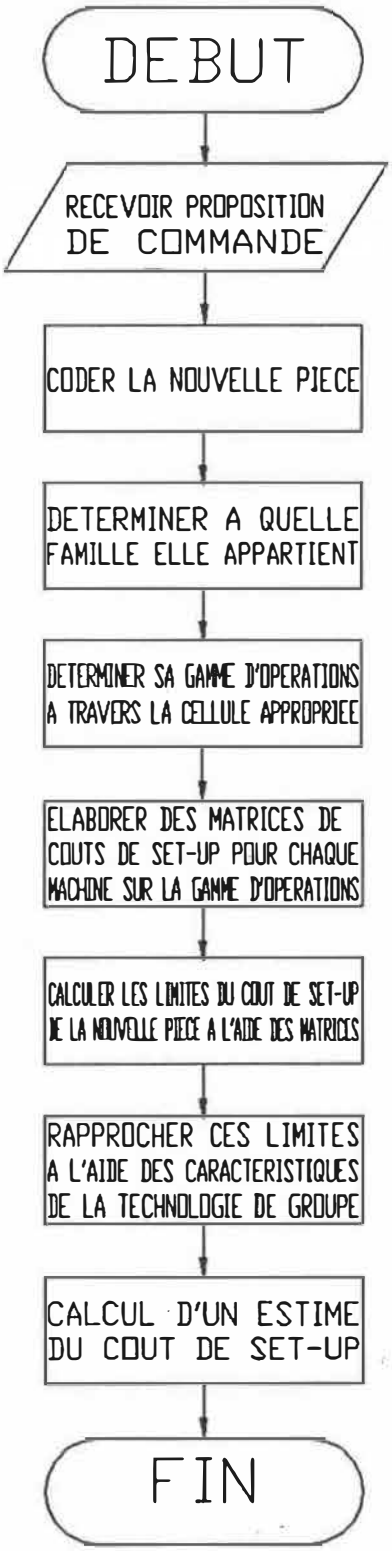


Figure 7.1. Algorithme d'estimation

Pour déterminer à quelle famille la nouvelle commande appartient, il faut lui attribuer un code selon le système de codage utilisé par la compagnie. On a vu, au chapitre 2, différents types de systèmes de codage et de classification. Des systèmes comme MICLASS ou SAGT (figure 2.10) avec certaines modifications pourraient convenir au type de compagnie visé. Evidemment, la compagnie a toujours le choix, en considérant l'aspect financier de la question, de développer un système de codage et de classification spécifique aux types de produits dans lesquels elle se spécialise. Il s'agit ici de pièces mécaniques usinées. Une fois qu'un code aura été attribué à la nouvelle pièce, on peut facilement comparer son code à ceux des familles déjà existantes et déterminer à laquelle d'entre elles elle appartient. Si elle n'appartient à aucune, la compagnie a le choix entre refuser la commande et décider, si cela est possible, d'essayer de l'accommoder malgré tout. Dans ce cas, la pièce devra probablement cheminer à travers plusieurs cellules de fabrication. Rappelons que l'intérêt de la technologie de groupe réside dans le fait que chaque type (famille) de pièces peut être entièrement traité à l'intérieur d'une seule cellule, simplifiant ainsi le flot de production. Ayant déterminé à quelle famille la nouvelle pièce (commande) peut être intégrée, la prochaine étape consistera à établir une gamme de fabrication pour cette pièce.

Nous avions présenté, au chapitre 3, les différentes méthodes de planification de gammes de fabrication utilisées de nos jours dans l'industrie manufacturière. Vu sa simplicité et sa très grande facilité d'application, et pour d'autres raisons qui ont été

mentionnées, nous avions noté qu'à cette étape, le genre de compagnie considéré, généralement, utiliserait la méthode de planification automatisée par variation de gamme de fabrication. La nouvelle pièce étant incorporée à une famille et chaque famille possédant déjà une gamme de fabrication type, on peut établir facilement une gamme pour cette nouvelle pièce en modifiant celle de la famille. Il existe déjà des logiciels de planification par variation de gamme pour certains systèmes de codage et de classification, par exemple les logiciels MIAPP et MITURN pour le système MICLASS. Là encore, la compagnie a le choix entre acheter un de ces nombreux logiciels disponibles sur le marché et développer un système particulier.

Après avoir établi la séquence des opérations à effectuer pour la nouvelle pièce à travers la cellule à laquelle elle est assignée, et connaissant exactement sur quelles machines elle devra passer, on peut maintenant déterminer, en considérant le plan de production de la cellule, s'il va y avoir un problème de capacité de production pour certaines machines de la cellule. Si oui, on peut décider de ne pas accepter la commande, ou de faire du surtemps. Dans ce dernier cas, tous les frais additionnels causés par les opérations effectuées en surtemps devront être estimés et alloués à la commande. Nous ne traiterons pas ce cas particulier.

L' étape suivante consiste à déterminer les bornes inférieure et supérieure entre lesquelles devraient se situer les coûts à estimer. Selon la formule (5-4a) développée au chapitre 5, le coût variable total de fabrication pour un lot N de pièces peut être calculé comme suit:

$$C_{tv}(N) = \sum_{k=1}^{n} (SU_k + N*t_k)THMV_k + FD \qquad (5\text{-}4a)$$

ou encore

$$C_{tv}(N) = \sum_{k=1}^{n} SU_k * THMV_k + \sum_{k=1}^{n} N*t_k * THMV_k + FD$$

$C_{tv}(N)$ = coût variable total de fabrication pour un lot N, excluant les coûts fixes

n = nombre d'opérations à effectuer sur la pièce, selon sa gamme de fabrication

SU_k = temps de set-up pour l'opération "k"

t_k = temps d'opération par unité pour l'opération "k"

$THMV_k$ = taux horaire marginal de machine pour l'opération "k". Généralement, on suppose le même taux horaire pour SU_k et T_k, mais ce n'est pas toujours le cas. Car le set-up peut être réalisé par un préposé à l'emploi d'un autre département dont le taux horaire est différent de celui de la machine pour laquelle il fait le set-up.

FD = frais reliés à la commande, incluant les matières premières

Les SU_k ne sont pas des valeurs constantes. Elles dépendent plutôt de l'ordre (séquence) selon lequel les différents types de pièces à produire sont lancés en production. Il peut y avoir un ordre qui minimise leur somme, et un autre qui la maximise. La valeur réelle de leur somme se trouvera entre les valeurs minimun et maximum:

$$SU_{min} < \sum_{k=1}^{n} SU_i < SU_{max}$$

En utilisant ces deux valeurs extrêmes, on peut évidemment calculer les limites de $C_t(N)$, soit $C_{tmin}(N)$ et $C_{tmax}(N)$.

Nous supposons que, dans l'équation (5-4a), les $THMV_k$ sont des données constantes, disponibles par machine (coût variable d'opération de chaque machine). Les T_k et FD peuvent être estimés facilement à l'aide d'une méthode similaire à celles présentées aux sections 5.2.3 et 5.2.4. Lors de la détermination des bornes de l'estimation, nous nous concentrerons surtout sur la détermination des bornes du coût de set-up, puisque c'est l'aspect particulier de notre méthodologie. L'estimation des autres paramètres de l'équation (5-4a) peut être réalisée par des méthodes normalisées, comme on en a vues.

Dans des situations dynamiques comme celles qu'on trouve dans des cellules de fabrication, où les coûts de set-up dépendent de l'ordre selon lequel les pièces se suivent sur les machines, il peut être extrêmement compliqué d'estimer ces coûts de façon réaliste. Il existe

plusieurs critères pour faire le séquencement de "n" lots de pièces sur une machine. On peut vouloir trouver des solutions optimales pour minimiser soit:

- le temps moyen passé par chaque lot de pièce dans la cellule.
- le temps total écoulé entre le début de la première opération du premier lot et la dernière opération du dernier lot.
- le nombre moyen de lots en retard par rapport à la date prévue d'achèvement.
- Le temps de retard moyen par lot.
- La date de livraison.
- etc...

Même dans ce cas très simple où on ne considère qu'une machine, faire le séquencement de "n" lots de pièces sur cette machine peut donner lieu à des calculs complexes, pour trouver une solution optimale. Séquencer "n" lots de pièces sur "m" types de machines dans un contexte de fabrication continue, où toutes les pièces passent sur les mêmes machines selon la même séquence devient extrêmement compliqué. Alors, on peut s'imaginer facilement l'énormité de la tâche quand il faut faire du séquencement dans un contexte de fabrication sur commande ou en lots (job shop), où les "n" lots de pièces ne passent pas sur les "m" types de machines selon la même séquence. En fait, trouver des séquencements optimaux dans de pareilles situations relève

encore actuellement du domaine de la recherche. On peut avoir jusqu'à $(n!)^m$ séquences possibles. Imaginez que pour 5 lots et 3 machines, on pourrait avoir à examiner un maximum de 728,000 possibilités pour trouver une séquence optimale selon un critère quelconque. Alors, dans la pratique on utilise des méthodes heuristiques, en appliquant des règles de priorité. Quelques unes des règles de priorité les plus utilisées sont:

- premier arrivé, premier servi (FCFS). Le lot de pièces arrivé le plus tôt dans la ligne en avant de chaque machine a la plus grande priorité sur cette machine.
- priorité au lot de pièces dont le temps de traitement pour l'opération sur la machine est le moindre (SPT).
- priorité au lot de pièces dont le temps de traitement, pour toutes les opérations successives non encore effectuées, est le moindre (LWKR)
- priorité au lot de pièces dont le temps total de traitement est le moindre (TWK).
- etc...

Il est très difficile d'établir un séquencement optimal dans un contexte de fabrication sur commande ou en lots. Malgré les nombreuses recherches qui se font en ce sens, aucun résultat probant n'a découlé. De plus, même si on était capable de faire le séquencement de façon optimale, on serait obligé de le refaire chaque fois qu'une nouvelle pièce arriverait dans la cellule. De toute façon,

il y a tellement de facteurs qui entrent en jeu lors du processus de détermination du séquencement des pièces à produire qu'on peut être intéressé à estimer les coûts de fabrication, en tenant compte de la relation entre ces coûts et le séquencement des pièces, sans nécessairement avoir à entrer dans le détail de ce séquencement. Alors, établir les limites entre lesquelles peuvent varier les coûts de set-up peut être un atout important lors de l'estimation en vue d'établir un prix de soumission.

Les limites du coût de set-up étant établies, il s'agira de les raffiner, de les rapprocher le plus possible pour finalement produire un estimé des coûts de set-up en tenant compte des caractéristiques de la technologie de groupe.

7.3 Détermination des bornes de l'estimation

Afin de déterminer les bornes du coût de set-up, pour chaque machine dans la cellule, il faut connaître le temps de set-up entre chaque paire de types de pièces susceptibles de se suivre sur la machine. Chaque machine aura donc une matrice de temps de set-up comme celle montrée sur la figure 7.2, dont on a vu le processus d'élaboration au chapitre 6.

Lots de pièces

		1	2	3	j	N
	1	0	SU_{12}	SU_{13}	SU_{1j}	SU_{1N}
	2	SU_{21}	0	SU_{23}	SU_{2j}	SU_{2N}
	3	SU_{31}	SU_{32}	0	SU_{3j}	SU_{3N}
Lots	:					
de pièces	:					
	i	SU_{i1}	SU_{i2}	SU_{i3}	0	SU_{iN}
	:					
	N	SU_{N1}	SU_{N2}	SU_{N3}	SU_{Nj}	0

Figure 7.2. Matrice de temps de set-up (de/à) pour la machine k.

où SU_{ij} = temps de set-up requis pour passer de la pièce "i" à la pièce "j" sur la machine k.

N = nombre maximum de pièces dont la machine en question se trouve sur la gamme de fabrication.

Cette matrice peut être très grosse, si le nombre de pièces pouvant passer sur la machine est élevé. Cependant, pour les fins de l'estimation, on peut n'y inclure que les pièces présentes dans la cellule et dans le carnet de commandes au moment de l'estimation de celle qu'on prévoit ajouter à ce carnet de commandes.

Supposons:

- qu'on envisage de lancer une nouvelle commande dans la cellule
- qu'il y a déjà, dans le carnet de commandes, un certain nombre de lots de pièces cédulés pour entrer en production et que parmi ces lots, une quantité M devra passer sur une machine particulière
- qu'un certain nombre de lots de pièces sont déjà en production et que de ce nombre, M' lots sont passés ou passeront sur la machine en question

Alors, pour cette machine, il faudra bâtir les matrices de temps en considérant les (M + M' + 1) lots, où le 1 représente la nouvelle commande. Si N représente le nombre maximum de types de pièces pouvant passer sur cette machine, on aura certainement :

$$M + M' + 1 \ll N$$

Alors, au moment de faire l'estimation, la matrice de temps de set-up pour cette machine sera de dimensions (M + M' + 1) x (M + M' + 1) plutôt que d'être de N x N.

A partir de cette matrice de temps de set-up, on peut obtenir une matrice de coût de set-up (figure 7.3) en multipliant les temps en heures par le taux horaire de la machine ou celui du préposé au set-up, si celui-ci fait partie d'un département autre que celui où

est située la machine.

Lots de pièces

		1	2	3	..... j	..... N
	1	0	CSU_{12}	CSU_{13}	CSU_{1j}	CSU_{1N}
	2	CSU_{21}	0	CSU_{23}	CSU_{2j}	CSU_{2N}
	3	CSU_{31}	CSU_{32}	0	CSU_{3j}	CSU_{3N}
Lots	:					
de pièces	:					
	i	CSU_{i1}	CSU_{i2}	CSU_{i3}	0	CSU_{iN}
	:					
	N	CSU_{N1}	CSU_{N2}	CSU_{N3}	CSU_{Nj}	0

Figure 7.3. Matrice de coûts de set-up (de/à) pour la machine k.

où $CSU_{ij} = SU_{ij} \times THMV_k$

= coût de set-up pour passer de la pièce "i" à la pièce "j" sur la machine k.

SU_{ij} = temps de set-up pour passer de la pièce "i" à la pièce "j" sur la machine k.

$THMV_k$ = taux horaire marginal pour la machine k ou taux horaire du préposé au set-up.

Si toutes les machines de la cellule ont le même taux horaire (le taux ayant été développé pour la cellule complète), on peut se servir des matrices de temps et multiplier après la somme des temps de set-up par ce taux; sinon il faut utiliser les matrice de coûts car le même nombre d'heures de set-up peut coûter plus cher sur une machine que sur une autre.

Lorsqu'une matrice de coûts adéquate aura été élaborée pour chaque machine se trouvant sur la gamme de fabrication de la nouvelle commande, dont il faut estimer les coûts de fabrication, on applique la démarche suivante pour déterminer les limites du coût de set-up pour cette nouvelle pièce:

Soit n le nombre d'opérations à subir par la nouvelle commande (ou encore le nombre de machines sur lesquelles elle devra passer selon sa gamme).

1. $CSU_{min} = 0$; $CSU_{max} = 0$; $k = 1$
2. si $k > n$, aller à 8, sinon continuer en 3
3. dans le matrice de coût de set-up de la machine k, aller à la rangée contenant la nouvelle commande.
4. chercher dans cette rangée la valeur minimum, SU_{min}, autre que la valeur zéro correspondant au cas où colonne = rangée. Faire:

   $$CSU_{min} = CSU_{min} + CSU_{kmin}$$

5. chercher dans cette rangée la valeur maximum. Faire:

   $$CSU_{max} = CSU_{max} + CSU_{kmax}$$

6. $k = k + 1$
7. retourner à 2
8. Calculer C_{tvmin} (formule 5-4a) avec CSU_{min} et C_{tvmax} avec CSU_{max}.

L'avantage d'établir des limites inférieure et supérieure pour le coût de set-up de la nouvelle commande réside dans le fait que quel que soit le critère de séquencement des pièces utilisé, le coût de set-up réel se situera entre ces deux limites. On sait qu'il existe un certain nombre de critères de séquencement. Celui qu'on adoptera à un moment particulier peut dépendre de nombreux facteurs. Des facteurs qu'on peut ne pas avoir prévus au moment de l'estimation. L'intérêt de déterminer les limites est que de toute façon, les coûts réels resteront bornés par les limites calculées.

7.3.1 Exemple

Soit une cellule comprenant six machines de type différent. Supposons qu'on veut estimer les coûts de fabrication d'une nouvelle commande. Posons les hypothèses suivantes:

1. F désigne la nouvelle commande.
2. au moment d'estimer les coûts de fabrication pour F,

il y a déjà deux lots de pièces dans la cellule; désignons les par A et B.

3. selon le carnet de commandes, il y a six lots en attente d'être lancés en production dans la cellule; désignons les par C, D, E, G, H, I.

La gamme de fabrication des divers lots considérés est indiquée par le tableau 7.1. Les éléments du tableau indiquent le numéro des machines sur lesquelles seront exécutées les diverses opérations. On remarque que la nouvelle pièce F passera successivement sur les machines 1,3,4,5. Alors pour ces quatre machines, il faudra établir des matrices de temps de set-up indiquant les temps de changement d'une pièce à l'autre. Dans les matrices de temps, il faudra évidemment considérer aussi les pièces qui étaient déjà en production, car cela peut très bien arriver qu'au moment où les nouvelles pièces arrivent sur une machine, la précédente était une de celles déjà en production. A partir des matrices de temps, on peut obtenir les matrices de coûts en multipliant les temps de set-up par les taux horaires des machines (tableau 7.2). Le tableau 7.3 présente les matrices de temps de set-up pour les six machines et le tableau 7.4 les matrices de coût. Strictement parlant, selon la méthodologie, pour estimer les coûts de set-up pour la nouvelle pièce on n'a besoin que des matrices pour les machines 1,3,4,5, les machines où passera la nouvelle pièce. Les matrices pour les deux autres machines sont fournies à titre d'illustration seulement.

		Opération				
		1	2	3	4	5
Pièces	A	1	2	4	6	0
	B	2	3	5	6	0
	C	1	3	4	5	0
	D	1	2	3	6	0
	E	2	3	4	5	6
	F	1	3	4	5	0
	G	2	3	5	6	0
	H	1	3	4	5	0
	I	2	3	4	5	6

Tableau 7.1. Gamme de fabrication.

Machine	1	2	3	4	5	6
$THMV_k$($/hre)	79.8	90.0	90.0	64.8	75.0	85.2

Tableau 7.2. Taux horaires d'opération des machines.

MACHINE 1

	A	C	D	F	H
A	0.00	15.00	25.00	10.00	15.00
C	15.00	0.00	30.00	10.00	12.00
D	20.00	30.00	0.00	25.00	26.00
F	10.00	11.00	30.00	0.00	9.00
H	14.00	10.00	23.00	10.00	0.00

MACHINE 2

	A	B	D	E	G	I
A	0.00	30.00	10.00	25.00	7.00	15.00
B	25.00	0.00	5.00	15.00	8.00	10.00
D	15.00	10.00	0.00	30.00	11.00	20.00
E	30.00	35.00	25.00	0.00	7.00	9.00
G	6.00	10.00	11.00	8.00	0.00	5.00
I	12.00	7.00	15.00	7.00	6.00	0.00

MACHINE 3

	B	C	D	E	F	G	H	I
B	0.00	20.00	22.50	5.00	15.00	12.50	20.00	17.00
C	17.50	0.00	12.50	17.50	7.00	17.50	5.00	15.00
D	20.00	15.00	0.00	22.50	15.00	15.00	10.00	20.00
E	5.00	15.00	20.00	0.00	17.00	5.00	15.00	7.00
F	12.00	8.00	15.00	5.00	0.00	10.00	7.00	13.00
G	10.00	20.00	15.00	5.00	12.00	0.00	14.00	7.00
H	17.00	7.00	10.00	15.00	5.00	15.00	0.00	10.00
I	15.00	15.00	20.00	7.00	10.00	5.00	10.00	0.00

MACHINE 4

	A	C	E	F	H	I
A	0.00	10.00	10.00	7.50	15.00	12.00
C	15.00	0.00	12.50	10.00	9.00	13.00
E	7.50	12.50	0.00	20.00	15.00	7.00
F	5.00	7.50	17.50	0.00	10.00	15.00
H	13.00	7.00	12.00	10.00	0.00	8.00
I	10.00	15.00	5.00	15.00	8.00	0.00

MACHINE 5

	B	C	E	F	G	H	I
B	0.00	20.00	5.00	12.50	15.00	18.00	12.00
C	17.50	0.00	15.00	10.00	15.00	8.00	14.00
E	7.50	12.50	0.00	22.50	10.00	20.00	12.00
F	12.50	17.50	20.00	0.00	22.50	6.00	15.00
G	15.00	12.50	10.00	25.00	0.00	20.00	7.00
H	15.00	7.00	16.00	5.00	20.00	0.00	14.00
I	15.00	15.00	10.00	15.00	5.00	12.00	0.00

MACHINE 6

	A	B	D	E	G	I
A	0.00	20.00	12.50	7.50	20.00	12.00
B	17.50	0.00	15.00	5.00	22.50	12.00
D	12.50	17.50	0.00	7.50	5.00	20.00
E	7.50	7.50	10.00	0.00	12.50	5.00
G	17.50	22.50	7.50	15.00	0.00	6.00
I	11.00	13.00	15.00	5.00	5.00	0.00

Tableau 7.3. Matrices de temps (en minutes) de set-up (de/à)

MACHINE 1

	A	C	D	F	H
A	0.00	19.95	33.25	13.30	19.95
C	19.95	0.00	39.90	13.30	15.96
D	26.60	39.90	0.00	33.25	34.58
F	13.30	14.63	39.90	0.00	11.96
H	18.62	13.30	30.59	13.30	0.00

MACHINE 2

	A	B	D	E	G	I
A	0.00	45.00	15.00	37.50	10.50	22.50
B	37.50	0.00	7.50	22.50	12.00	15.00
D	22.50	15.00	0.00	45.00	16.50	30.00
E	45.00	52.50	37.50	0.00	10.50	13.50
G	9.00	15.00	16.50	12.00	0.00	7.50
I	18.00	10.50	22.50	10.50	9.00	0.00

MACHINE 3

	B	C	D	E	F	G	H	I
B	0.00	30.00	33.75	7.50	22.50	18.75	30.00	25.50
C	26.25	0.00	18.75	26.25	10.50	26.25	7.50	22.50
D	30.00	22.50	0.00	33.75	22.50	22.50	15.00	30.00
E	7.50	22.50	30.00	0.00	25.50	7.50	22.50	10.50
F	18.00	12.00	22.50	7.50	0.00	15.00	10.50	19.50
G	15.00	30.00	22.50	7.50	18.00	0.00	21.00	10.50
H	25.50	10.50	15.00	22.50	7.50	22.50	0.00	15.00
I	22.50	22.50	30.00	10.50	15.00	7.50	15.00	0.00

MACHINE 4

	A	C	E	F	H	I
A	0.00	10.80	10.80	8.10	16.20	12.96
C	16.20	0.00	13.50	10.80	9.72	14.04
E	8.10	13.50	0.00	21.60	16.20	7.56
F	5.40	8.10	18.90	0.00	10.80	16.20
H	14.04	7.56	12.96	10.80	0.00	8.64
I	10.80	16.20	5.40	16.20	8.64	0.00

MACHINE 5

	B	C	E	F	G	H	I
B	0.00	25.00	6.25	15.63	18.75	22.50	15.00
C	21.88	0.00	18.75	12.50	18.75	10.00	17.50
E	9.38	15.63	0.00	28.13	12.50	25.00	15.00
F	15.63	21.88	25.00	0.00	28.13	7.50	18.75
G	18.75	15.63	12.50	31.25	0.00	25.00	8.75
H	18.75	8.75	20.00	6.25	25.00	0.00	17.50
I	18.75	18.75	12.50	18.75	6.25	15.00	0.00

MACHINE 6

	A	B	D	E	G	I
A	0.00	28.40	17.75	10.65	28.40	17.04
B	24.85	0.00	21.30	7.10	31.95	17.04
D	17.75	24.85	0.00	10.65	7.10	28.40
E	10.65	10.65	14.20	0.00	17.75	7.10
G	24.85	31.95	10.65	21.30	0.00	8.52
I	15.62	18.46	21.30	7.10	7.10	0.00

Tableau 7.4. Matrices de coûts ($) de set-up (de/à)

En utilisant ces matrices de coûts, on peut appliquer la démarche présentée précédemment pour déterminer les limites du coût de set-up pour la nouvelle commande:

Machine	1	3	4	5	Σ CSU
CSU_{kmin}	11.96	7.50	5.40	7.50	32.36
CSU_{kmax}	39.90	22.50	18.90	28.13	109.43

Tableau 7.5. Limites du coût de set-up.

Pour la nouvelle commande F, les coûts réels de set-up devront se situer entre 32 et 109 dollars. Quel que soit la façon dont on fait le séquencement pour les pièces C, D, E, F, G, H, I, ces coûts se trouveront dans l'intervalle qu'on vient de déterminer.

7.4 Raffinement des bornes de l'estimation et estimé des coûts

Les bornes du coût de set-up pour la nouvelle commande étant établies, la prochaine étape est maintenant de rapprocher ces bornes, plus précisément, de rapprocher la borne supérieure de la borne inférieure, le but étant, selon le concept de technologie, d'avoir un coût de set-up tendant vers la borne inférieure. Cela permettra de diminuer la marge d'erreur de l'estimé. Pour essayer de rapprocher les bornes de l'estimation, on va considérer les caractéristiques de la technologie de groupe.

Dû à la nature même du processus de formation des familles de pièces en technologie de groupe (revoir la méthode d'analyse du flot de production), il existe des gammes de fabrication identiques entre plusieurs pièces à l'intérieur de chaque famille (chapitre 3: gamme-type). De plus, même si deux pièces peuvent ne pas avoir des gammes identiques, il y a de fortes possibilités d'avoir pour elles des set-ups similaires sur les machines où elles passent, résultant en des temps de set-up dépendants du séquencement. Ce sont là deux des principales caratéristiques de la technologie de groupe:

1. gammes identiques pour plusieurs pièces au sein de la famille (même séquence sur mêmes machines).
2. set-ups similaires sur certaines machines pour plusieurs pièces de la famille.

Par conséquent, toute règle ou procédure de séquencement dans un milieu de technologie de groupe devrait chercher à tirer avantage de ces caratéristiques. C'est donc en se basant sur elles que nous proposons la méthode suivante pour raffiner les bornes de l'estimation et produire un estimé de coûts.

Premièrement, à l'intérieur de la famille, plus précisement à l'intérieur de l'ensemble des pièces à céduler (celles se trouvant dans le carnet de commandes pour la cellule), former des sous-groupes contenant les pièces ayant exactement la même gamme, c'est-à-dire, celles passant sur les mêmes machines. Pour faire cela, on peut utiliser une variante de la méthode des coefficients de similarité ou

celle du cloisonnement par rangement ordonné de King [10] ou n'importe quelle autre méthode de cloisonnement [23,28,11]. Généralement, avant d'appliquer un algorithme de cloisonnement, il faut établir une matrice d'incidence. Celle-ci est une matrice avec les pièces en ordonnée et les machines en abscisse (figure 2.6). Les éléments de cette matrice peuvent avoir la valeur 1 ou 0, selon le fait que la pièce en ordonnée passe ou non sur la machine en abscisse.

Selon la méthode des coefficients de similarité, un coefficient de similarité est d'abord calculé pour chaque paire de pièces. Ce coefficient est le rapport entre le nombre de machines visitées par les deux pièces et celui de celles visitées seulement par l'une ou l'autre de ces deux pièces. Ensuite, à partir de ces coefficients, on peut appliquer un algorithme de cloisonnement (celui de McAuley [13] par exemple) pour former les sous-groupes de pièces utilisant les mêmes machines.

La méthode de cloisonnement par rangement ordonné, sans calculer des coefficients de similarité, ré-arrange la matrice d'incidence initiale et génère des groupements pièces-machines diagonalisés (figure 2.7)

Une fois que les sous-groupes sont formés, on n'a que deux possibilités:

- la nouvelle pièce peut ne faire partie d'aucun de ces sous-groupes,
- ou, elle a pu être intégrée à un groupe.

Dans le premier cas, vu que la pièce n'a pas pu être intégrée à aucun sous-groupe, on ne peut pas prévoir, sans faire le séquencement (et là encore!!!), quelles pièces seront en avant et en arrière de la nouvelle commande. On peut alors prendre, comme estimé du coût de set-up, la limite supérieure de l'intervalle calculé précédemment, soit $102 pour notre exemple. Ou, on peut essayer de raffiner partiellement les limites. Même si, parmi les autres pièces dans le carnet de commandes, aucune n'a de gamme de fabrication parfaitement identique à celle de la nouvelle pièce, on peut décider de mettre celle-ci dans un sous-groupe avec des pièces dont au moins les premières opérations se font sur les mêmes machines. Considérons un petit exemple avec les données du tableau suivant:

	Opération
	1 2 3 4 5
Pièce 1	1 2 4 5 6
Pièce 2	1 2 5 6 0
Nouvelle pièce	**1 2 3 5 6**

On peut décider de mettre la nouvelle pièce dans le même sous-groupe que les deux autres, vu que leurs deux premières opérations se font successivement sur les mêmes machines 1 et 2. On calcule une nouvelle borne supérieure pour les coûts de set-up de la nouvelle pièce, en considérant qu'elle va suivre, parmi les deux autres pièces, celle

pour laquelle la somme des coûts de changement de set-up sur les machines 1 et 2 est minimale. Supposons qu'on a déterminé ainsi que la nouvelle pièce va probablement suivre la pièce 1, alors on calcule la nouvelle borne supérieure en faisant la somme des coûts de changement de set-up appropriés sur les machines où passera la nouvelle pièce. Pour les machines 1 et 2, ces coûts de set-up seront les coûts de changement de la pièce 1 à la nouvelle pièce, et pour les autres machines (3,5,6), on prendra les valeurs maximales comme on l'a fait à l'étape 5 de l'algorithme présenté à la section 7.3. Cela permet d'obtenir une nouvelle limite supérieure plus proche que précédemment de la limite inférieure. Cette nouvelle limite supérieure constitue l'estimé des coûts de set-up pour la nouvelle commande.

Dans le deuxième cas, on peut recalculer les bornes de l'estimation en se limitant aux pièces du sous-groupe contenant la nouvelle pièce. Ensuite, pour faire le calcul de l'estimé, il s'agit de déterminer, à l'intérieur de ce sous-groupe, laquelle des autres pièces la nouvelle va suivre. Pour ce faire, on se réfère à la deuxième caractéristique de la technologie de groupe mentionnée précédemment: celle des set-ups similaires. Normalement, la nouvelle pièce devrait suivre, à l'intérieur de son sous-groupe, la pièce à laquelle elle ressemble le plus, par conséquent celle pour laquelle la somme, sur toutes les machines visitées, des coûts de changement de set-up à la nouvelle pièce est minimum.

Alors, pour la nouvelle pièce, sur chaque machine visitée, on détermine à l'aide de sa matrice de coûts de set-up, les coûts de changements de set-up de chacune des autres pièces du sous-groupe à la

nouvelle. Ensuite, on fait la somme. La somme minimum détermine quelle pièce la nouvelle commande devrait suivre. Cette valeur constitue la borne supérieure de l'intervalle et peut être prise comme l'estimé du coût de set-up pour la nouvelle commande, avec l'hypothèse mentionnée ci-haut.

7.4.1 Exemple

Pour la cellule et les conditions considérées à la section 7.3.1, on aurait la matrice d'incidence suivante:

Machines

		1	2	3	4	5	6
	C	1	0	1	1	1	0
	D	1	1	1	0	0	1
Pièces	E	0	1	1	1	1	1
	F	**1**	**0**	**1**	**1**	**1**	**0**
	G	0	1	1	0	1	1
	H	1	0	1	1	1	0
	I	0	1	1	1	1	1

Figure 7.4. Matrice d'incidence initiale

En appliquant l'algorithme de King, on aboutit à la matrice finale présentée à la figure 7.5.

Machines

		1	3	6	2	5	4
	D	1	1	1	1	0	0
	C	1	1	0	0	1	1
Pièces	H	1	1	0	0	1	1
	F	**1**	**1**	**0**	**0**	**1**	**1**
	E	0	1	1	1	1	1
	I	0	1	1	1	1	1
	G	0	1	1	1	1	0

Figure 7.5. Matrice d'incidence finale

On remarque que les pièces C, H, F ont exactement la même séquence. Elles peuvent former un sous-groupe. E, I, G ayant aussi la même séquence peuvent former un autre sous-groupe. La pièce D n'a pas pu être incorporée à aucun groupe. En vertu de ce qu'on a dit précédemment, si c'était la pièce D dont il fallait estimer les coûts de set-up, on aurait pu la mettre avec les pièces C, H, F vu que ses deux premières opérations coincident avec les leurs.

Pour revenir à la pièce F, on peut recalculer les bornes de l'estimation de ses coûts de set-up en tenant compte seulement des pièces C, H, F.

Pour calculer l'estimé du coût de set-up pour F, déterminons quelle pièce elle va suivre à l'intérieur de son sous-groupe:

Machine	1	3	4	5	Σ CSU
CSU_{CF}	14.63	12.00	8.10	21.88	56.61
CSU_{HF}	11.96	10.50	10.80	7.50	40.76

Tableau 7.6. Estimé du coût de set-up

D'après les résultats présentés au tableau 7.6, la somme des coûts de changement de set-up serait minimale si la nouvelle pièce suivait la pièce H. La nouvelle borne supérieure, donc l'estimé des coûts de set-up serait alors de $ 40.76.

Pour l'exemple considéré, on est passé d'un intervalle initial de $32-$109, pour les coûts de set-up de la nouvelle pièce F, à celui de $32-$41 après le raffinement. Cela peut arriver que les coûts réels de set-up pour la nouvelle pièce soit plus proches de la borne inférieure de l'intervalle que de la borne supérieure. Sans faire le séquencement pour les pièces dans le carnet de commandes, on sait que si la pièce F suit la pièce H, les coûts de set-up ne devraient pas dépasser $41. Et, vu l'état du système de production dans la cellule et la composition du carnet de commandes, ces coûts ne pourraient pas être plus bas que $32, quel que soit le séquencement adopté.

Dans le calcul des coûts de soumission pour la commande F, la compagnie considérera des coûts de set-up de 41 dollars, en assumant que cette commande suivra directement la commande H, selon le processus exposé plus haut. D'ailleurs, les coûts de soumission et le séquencement pour toutes les pièces dans le carnet de commandes auront été élaborés selon le même processus.

Supposons maintenant que:

- la commande F a été attribuée à la compagnie.
- le séquencement des pièces dans le carnet de commandes est fait pour que cette commande suive directement la commande H.
- par la suite, la compagnie reçoit une nouvelle proposition de commande pour un lot de pièces de type X, et que selon la méthodologie présentée, elle fait partie du sous-groupe formé des autres pièces C, H, F (voir exemple précédent).

La compagnie aimerait maintenant déterminer où, dans la séquence, mettre le nouveau lot de pièces X. Quelque soit l'endroit où l'on insère la nouvelle commande X, cela va modifier les coûts de set-up pour le lot qui va suivre X. Par exemple, si on insère X entre H et F, au lieu d'avoir H suivi de F, on aura H suivi de X suivi de F (H-X-F). A ce moment, les coûts de set-up réels pour la commande F seront différents de ceux calculés en considérant qu'elle suivrait H.

Les coûts de soumission pour F ayant déjà été établis et fixés,

on ne plus rien y faire. Les conséquences des changements de séquencement ne pourront être reflétées que dans les coûts de soumission pour X.

Soit:

CSU_{HF} : coût de set-up pour passer de H à F, utilisé lors de l'élaboration des coûts de soumission pour F.

CSU_{HX} : coût de changement de H à X; coût théorique qu'on aurait normalement dû utiliser pour élaborer les coûts de soumission de X.

CSU_{XF} : coût de changement de X à F; coût de set-up réel pour F.

$CSU_{(HX)'}$: coût de set-up à utiliser dans les calculs du coût de soumission de la commande X.

Alors:

$$CSU_{(HX)'} = CSU_{HX} + (CSU_{XF} - CSU_{HF}) \qquad (7\text{-}1)$$

Autrement dit, si les coûts de set-up réels pour la commande F (CSU_{XF}) sont plus élevés que ceux prévus (CSU_{HF}), la différence devrait être ajoutée aux coûts théoriques de set-up pour la commande X (CSU_{HX}). Cela permet de faire porter à X le surplus de coûts causés

par l'intercalage de X entre H et F. De la même façon, si les coûts de set-up réels pour la commande F sont moins élevés que prévus (CSU_{XF} - CSU_{HF} négatif), la différence devrait être déduite des coûts théoriques pour la commande X, permettant ainsi de pouvoir offrir des coûts de soumission plus avantageux pour cette nouvelle proposition de commande.

Pour déterminer où effectivement placer le lot de pièces X, dans le sous-groupe formé de C, H, F, X, on évaluera les coûts de changement de set-up de chacune des autres pièces du sous-groupe à la pièce X, en tenant compte du différentiel de coûts comme exposé précédemment. On déterminera donc: $CSU_{(HX)''}$, $CSU_{(CX)''}$, $CSU_{(FX)''}$, et la valeur minimum indiquera pour le lot X la pièce à suivre.

CHAPITRE 8

CONCLUSION

L'objectif principal de ce travail était d'illustrer comment, lors de la préparation de coûts de soumission pour une nouvelle commande, une compagnie de fabrication sur commande pouvait estimer ses coûts de set-up en tenant compte de la relation entre les opérations de set-up et le séquencement des pièces, au lieu d'utiliser des coûts de set-up moyens. Dans un environnement de technologie de groupe, on essaie d'optimiser le temps de set-up entre les différents lots de pièces en cédulant des pièces similaires. Si les pièces sont cédulées correctement, des pièces similaires peuvent partager les opérations de set-up et l'outilllage, réduisant ainsi pour chaque pièce le temps de set-up nécessaire. Ainsi, si on cédule une certaine commande avec d'autres pièces très similaires, les coûts de set-up pour cette pièce vont être peu élevés, tandis que si on la met avec d'autres pièces moins similaires, ces coûts vont être d'autant plus élevés que les pièces sont dissemblables.

En partant de ce principe, on a développé pour chaque machine dans la cellule de production, une matrice de temps de set-up

indiquant la similarité entre toutes les pièces pouvant passer sur la machine. Un temps de set-up peu élevé entre deux pièces indique entre elles une étroite similarité d'opérations, et vice-versa. A partir de cette matrice, on a pu, dans un premier temps, établir, sans avoir besoin de faire de séquencement, des limites pour les coûts de set-up pour une nouvelle pièce. La limite inférieure coinciderait au cas où la nouvelle pièce suivrait, sur chaque machine où elle passerait, parmi toutes les autres pièces dans la cellule, celle qui lui est la plus similaire pour cette opération (temps de set-up minimum dans chaque matrice); tandis que la limite supérieure correspondrait au cas où la pièce précédente à la nouvelle serait toujours celle qui lui ressemble le moins pour l'opération en question (temps de set-up maximum dans chaque matrice). Les coûts de set-up réels devraient se trouver quelque part entre ces deux limites.

Ensuite, vu qu'on fonctionne selon les principes de la technologie de groupe, on suppose que les pièces similaires vont être cédulées ensemble. Cette caractéristique permet de rapprocher les limites déterminées précédemment. On détermine, à partir des matrices de temps (ou de coûts) de set-up quelle est, parmi les pièces déjà en production ou en attente d'être lancées en production, laquelle serait la plus similaire à la nouvelle. On suppose alors que celle-là va suivre celle-ci et on ré-évalue les coûts de set-up en tenant compte de ce fait.

Chaque fois qu'on introduit une nouvelle pièce dans le carnet de commandes, on essaie de la mettre après celle par rapport à laquelle les coûts de set-up seraient moindres. Mais, ce faisant, on va

sûrement modifier la position relative de certaines pièces pour lesquelles on avait déjà calculé et proposé des coûts de soumission. Dans ce cas, la différentielle de coûts pour ces pièces, qu'elle soit positive ou négative, devrait affecter les coûts de set-up pour la nouvelle pièce.

Nous pensons que la méthodologie d'estimation des coûts de set-up proposée peut permettre à une compagnie de fabrication sur commande d'établir des coûts de soumission plus proches des coûts réels, car les estimés tiendraient compte des conditions actuelles du système de production. Ce qui n'est pas le cas lorsqu'on utilise pour les coûts de set-up, des valeurs moyennes constantes par types de pièces et établies de façon statistique sur l'ensemble des pièces produites par la compagnie. Cela peut contribuer à améliorer la compétitivité de l'entreprise. Supposons qu'à cause du fait qu'une nouvelle pièce va être cédulée avec d'autres pièces très similaires, ses coûts de set-up réels vont être de beaucoup plus bas que la valeur à laquelle on aboutirait en utilisant les coûts moyens, on peut arriver à établir des coûts de soumission plus compétitifs si on a les moyens de prévoir les coûts de set-up en fonction de l'état du système de production. Le même raisonnement s'applique dans le cas contraire où les coûts de set-up réels seraient plus élevés que les coûts moyens. Estimer en utilisant les coûts moyens dans un tel cas serait comme accorder une subvention au client.

Ce travail a considéré un aspect particulier de la technologie de groupe, soit: la réduction des temps de set-up et la possibilité de tenir compte de la relation entre le séquencement et le set-up.

Cependant, il y a aussi une relation entre le séquencement et l'utilisation des matières premières. Céduler des pièces utilisant les mêmes matières premières peut réduire les pertes dues au brut non utilisable. Cet aspect peut aussi être incorporée dans la méthodologie d'estimation.

Mentionnons avant de terminer qu'on n'a considéré dans la méthodologie que les coûts de set-up. On a complètement négligé la date de livraison qui, dans certains cas, est le critère le plus important. Dans l'état actuel des choses, il y a généralement un intervalle de temps assez long entre le moment où une compagnie soumissionne pour une commande et celui où cette commande est mise en production. De plus, selon la méthodologie, il peut arriver que toutes les nouvelles pièces qui arrivent passent en avant de certaines de celles qui attendaient pour être mises en production, augmentant ainsi le délai de livraison poue ces pièces là. La méthodologie ne tient donc pas compte de la date de livraison et est inapplicable quand il faut en spécifier une. Cependant, si la date de livraison n'est pas fixée de façon rigide et qu'on dispose d'un certain intervalle de temps pour livrer la pièce, il est possible de l'utiliser.

BIBLIOGRAPHIE

1. Abou-Zeid, M.R., "Group Technology", Industrial Engineering, May 1975, pp. 32-39.

2. Aggarval, S.C., "Use of Multiple Overheads for Improving Win Rate of Bids", Cost and Management, July-August 1982.

3. Arn, E.A., "Group Technology", New-York: Springer-Verlag, 1975.

4. Burbidge, J.L., "The Introduction of Group Technology", London: Heinemann, 1975.

5. Dunlap, G.C., Hirlinger, C.R., "Well Planned Coding, Classification System Offers Company-Wide Synergistic Benefits", Industrial Engineering, November 1983, pp. 78-83.

6. Ham, J., Hitomi, K., Yoshida, T., "Group Technology: Applications to Production Management", Hingham: Kluwer-Nijhoff Publishing, 1985.

7. Ham, I., Han, C., "Multiobjective Cluster Analysis for Part Family Formations", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 5, No. 4, 1986.

8. Irani, S.A., Gunasena, U., Davachi, A., Enscore, E.E., "Single Machine Setup-dependent Sequencing Using a Setup Complexity Ranking Scheme", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 7, No. 1, pp. 11-23, 1988.

9. Irani, S.A., Khator, S.K., "Cell Formation in Group Technology: A New Approach", Computers and Industrial Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 131-142, 1987.

10. King, J.R., Narkornchai, V., "Machine-Component Group Formation in Group Technology: Review and Extension", International Journal of Production Research, Vol. 20, No. 2, pp. 117-133, 1982.

11. Kusiak, A., Chow, W.S., "Efficient Solving of The Group Technology Problem", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 6, No. 2, pp. 117-124, 1987.

12. Lee, S., Ebeling, K.A., "Cost Control: Automating Cost Estimating Systems", Computers and Insustrial Engineering, Vol. 13, Nos. 1-4, pp. 356-360, 1987.

13. McAuley, J., "Machine Grouping for Efficient Production", Production Engineer, Vol. 51, No. 2, pp. 53-57, 1972.

14. Mitrofanov, S.P., "Scientific Principles of Group Technology" (Russian text published 1959), translated by Inyong Ham, Wright-Patterson AFB, OH, 1977.

15. Nader, V.E., "Optimization of Machine Set-Up and Tooling Using Principles of Group Technology", Ph.D. Thesis, Purdue University, Ann Arbor: University Microfilms International, 1980.

16. Offodile, O.F., "Design and Analysis of a Coding and Classification System for a Systematic Interactive Computer-Aided Robot Selection Procedure", Ph.D. Thesis, Texas Tech. University, Ann Arbor: University Microfilms International, 1984.

17. Optiz, H., "A Classification System to Describe Workpieces (Parts I & II), London & New-York: Pergaman Press, 1970.

18. Ostwald, P.F., "Cost Estimating for Engineering and Management", New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1974.

19. Peterson, D.K., Hyer, N.L., Zmud, R.W., "Group Technology: A Foundation for CIM Information Management", CIM Review, Winter 1987.

20. Phillips, R.H., "A Computerized Process Planning System Based on Component Classification and Coding", Ph.D. Thesis, Purdue University, Ann Arbor: University Microfilms International, 1978.

21. Shingo, S., "A Revolution in Manufacturing: The SMED System", Stamford, Connecticut: Productivity Inc., 1985.

22. Smart, H.G., "Least Cost Estimating With Group Technology", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 1, No. 1, pp. 99-110, 1982.

23. Sundaram, R.M., Shun Fu, S., "Group Technology Cell Formation: Some New Insights", Computers and Industrial Engineering, Vol. 13, Nos. 1-4, pp. 267-276, 1987.

24. Tassinari, R., "La Maitrise des Coûts Industriels", Paris: Les Editions d'Organisation, 1981.

25. Thuesen, G.J., Fabrycky, W.J., "Engineering Economy", Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1984.

26. Tucker, S.A., "The Complete Machine-Hour Rate System for Cost-Estimating and Pricing" Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1975.

27. Voisin, W., "Les Usines de Demain", Paris: Hermes Publishing, 1985.

28. Waghodekar, P.H., Sahu, S., "Machine-Component cell Formation in Group Technology: MACE", International Journal of Production Research, Vol. 22, No. 6, pp. 937-948, 1984.

29. White, C.H., Wilson, R.C., "Sequence Dependent Set-Up Times and Job Sequencing", International Journal of Production Research, Vol. 15, No. 2, pp. 191-202, 1977.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
3 9334 00290804 2