UNIVERSITE DE MONTREAL

ETUDE DE FAISABILITE DU JUSTE-A-TEMPS DANS LE PME : THEORIE ET PRATIQUE

par

© Julie GOYETTE

DEPARTEMENT DE GENIE INDUSTRIEL

ECOLE POLYTECHNIQUE

MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION

DU GRADE DE MAITRE ES SCIENCES APPLIQUEES (M.Sc.A.)

août 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 0-315-52723-4

Canada

UNIVERSITE DE MONTREAL

ECOLE POLYTECHNIQUE

Ce mémoire intitulé :

ETUDE DE FAISABILITE DU JUSTE-A-TEMPS DANS LA PME :

THEORIE ET PRATIQUE

présenté par: Julie Goyette

en vue de l'obtention du grade de M.Sc.A

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

M.Mario Godard

M.Michel Normandin

M.J.Pierre Charette

SOMMAIRE

Depuis quelques années le système de production Juste-à-temps, tel que développé par Toyota au Japon, suscite un intérêt particulier auprès de l'industrie nord américaine. Les concepts de ce système de production sont mis en application principalement dans la grande entreprise.

L'objet premier de ce mémoire est l'étude de faisabilité d'une implantation Juste-à-temps dans la petite/moyenne entreprise. Certains aspects du Juste-à-temps sont adaptables à toutes les entreprises indifféremment de leur taille. Il en est ainsi des réductions de la manutention et des temps de réglage. Toutefois, d'autres aspects du Juste-à-temps sont directement reliés à la taille de l'entreprise, notamment l'intégration des fournisseurs au système "pull" ainsi que la création de cellules de fabrication. On souhaite donc déterminer s'il est possible d'intégrer un système Juste-à-temps adapté au système en place de telle sorte que la productivité s'en trouve augmentée.

Une étude a été conduite dans une PME de la région métropolitaine fabriquant une multitude de produits d'éclairage. On y a étudié les possibilités d'implanter avec succès un système Juste-à-temps.

Suite à cette étude, il a été conclu qu'une PME voit sa productivité augmenter substantiellement grâce à l'implantation d'un système Juste-à-temps. Le résultat obtenu est attribuable principalement à une réduction du niveau des stocks et à une réduction de la manutention.

ABSTRACT

The Just-in-time production system developed by Toyota in Japan has raised considerable interest in North America over the past few years. This approach has been applied mainly to large organisations.

The main goal of this study is to determine whether Just-in-time concepts are adaptable to small and medium sized organisations. It is known that certain aspects of the Just-in-time theory such as reductions in material handling and time delays are not related to the size of the firm. However, other aspects might be affected by the size of the company. These include the implementation of production cells and the integration of suppliers. In order to evaluate these concepts in a practical application, a study was conducted in a medium sized firm.

Following this investigation, it can be concluded that, for medium sized firms an increase in overall productivity can be achieved. This is attributable to significant reductions in inventories and in material handling through the implementation of a just-in-time system.

REMERCIEMENTS

Remerciements à :

M. Mario Godard, Directeur de Recherche

M. Jean-Pierre Charette, Directeur des opérations chez "XXX"

Tous mes confrères et consoeurs de classe pour l'amitié qu'ils m'ont portée tout au long de mon séjour à l'Ecole Polytechnique.

TABLE DE MATIERES

		PAGE
SOMMAIRE		iv
ABSTRACT		vi
REMERCIEMENTS		vii
INTRODUCTION		1
1.0	INTRODUCTION AU JUSTE-A-TEMPS	3
2.0	LA CONCEPTION D'UNE LIGNE D'ASSEMBLAGE	7
	2.1 Introduction	7
	2.2 Théorie	8
	2.3 Application	10
	2.4 Conclusion	16
3.0	LA CREATION D'UNE CELLULE DE FABRICATION	17
	3.1 Introduction	17
	3.2 Définitions et théorie	18
	3.3 Application	24
	3.4 Conclusion	37
4.0	LA REDUCTION DES TEMPS DE REGLAGE	38
	4.1 Introduction	38
	4.2 Définitions	40
	4.3 Approche systématique	42
	4.3.1 Introduction	42
	4.3.2 Méthode	43
	4.3.3 Généralités	47

4.4 Application 51

4.4.1 Introduction 51

4.4.2 Définitions 52

4.4.3 Fonctionnement 52

4.4.4 Réglage actuel 53

4.4.5 Changements apportés 56

4.5 Conclusion 58

5.0 PLANIFICATION DE LA PRODUCTION ET EQUILIBRAGE DES CELLULES DE FABRICATION 59

5.1 Planification de la production 59

5.1.1 Planification mensuelle 59

5.1.2 Planification quotidienne 60

5.2 Equilibrage des cellules 61

5.3 Application 62

5.4 Conclusion 69

6.0 LA CONCEPTION D'UN SYSTEME "PULL" 70

6.1 Introduction 70

6.2 Application 72

6.3 Conclusion 75

CONCLUSION GENERALE 76

BIBLIOGRAPHIE 78

ANNEXE A LA FAMILLE DE PRODUCTION "BATH BARS" 81

ANNEXE B LA MATRICE PIECES-MACHINES 85

ANNEXE C LES CALCULS "GOAL CHASING" 89

ANNEXE D LA SYNCHRONISATION DES EMPLOYES 94

INTRODUCTION

Le système de production juste-à-temps tel que développé par Toyota peut être défini comme suit : Produire un item de qualité en quantité suffisante pour satisfaire la demande immédiate. L'approche juste-à-temps a suscité l'interêt principalement de la grande entreprise manufacturière de type répétitif. La recherche suggère qu'il est possible d'étendre le champ d'application du juste-à-temps à la petite entreprise de production sur demande (atelier).

Bien que l'approche juste-à-temps puisse être définie en quelques lignes, son implantation requiert un travail de longue haleine. Plusieurs étapes sont à franchir avant de pouvoir bénéficier d'un tel système. Le principal avantage du juste-à-temps est l'augmentation de la productivité grâce à une réduction des délais de fabrication, une diminution des stocks et une simplification de la planification et du contrôle de la production.

Le présent ouvrage consiste en une étude du juste-à-temps dans le contexte d'une PME produisant une grande variété d'unités d'éclairage (lampes, candélabre, etc.). Cette entreprise compte environ cent (100) employés à la production. L'ensemble des opérations de production s'étend sur onze (11) départements comme suit:

Nb.d'employés

1. FABRICATION 9
2. ASSEMBLAGE 38
3. MANUTENTION 13
4. EXPEDITION 3
5. PLACAGE 10
6. POLISSAGE 13
7. CRISTAL 3
8. REPARATION 1
9. MAINTENANCE 3
10. CONTROLE DE LA QUALITE 1
11. ENTRETIEN 1

Le but premier de ce mémoire est d'établir s'il est avantageux d'introduire les concepts du juste-à-temps dans une petite entreprise compte tenu des restrictions associées à celle-ci.

Ce rapport compte au total six (6) chapitres. Le premier chapitre consiste en une introduction au juste-à-temps. Le second chapitre porte sur l'assemblage, le troisième chapitre traîte de la conception d'une cellule de fabrication (Technologie de Groupes), le quatrième chapitre est consacré à la réduction des temps de réglage, le cinquième chapitre porte sur la planification de la production et sur l'équilibrage des cellules. Enfin, le sixième et dernier chapitre porte sur la conception d'un système "pull" ou système remorque.

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION AU JUSTE-A-TEMPS

La mise en application d'un système de fabrication est très complexe dans la mesure où les changements apportés sont interdépendants les uns des autres. Par exemple lorsqu'on réduit les délais à la fabrication, on modifie nécéssairement les méthodes de manutention, les méthodes de fabrication, etc. De plus, certaines phases d'une implantation doivent être complètées avant d'en débuter d'autres. Il est pour cela essentiel de procéder de façon systématique afin de bien cerner l'ensemble des modifications. On peut diviser l'approche juste-à-temps en dix (10) parties :

(1) Phase préparatoire :

- S'assurer de l'approbation des supérieurs
- Préparer les employés au juste-à-temps
- Déléguer les responsabilités
- Initier le projet

(2) Recherche :

- Récolte et analyse de données
- Simplification des procédés de fabrication
- Réduction du nombre de produits
- Normalisation des produits

(3) Assemblage :

- Conception d'une ligne d'assemblage à modèles variés

(4) Cellules de fabrication

Conception de cellules de fabrication par la Technologie de groupes

(5) Implantation :

- Transformation des données en (1), (2), (3) et (4) en un arrangement physique des ressources

(6) Réduction des délais de fabrication :

- Augmentation de la flexibilité du système par une réduction des temps de réglage, des distances à parcourir, de la taille des lots, etc.

(7) Contrôle de la qualité :

- Assurer un flux continu des opérations grâce à une maintenance préventive et à un contrôle total de la qualité

(8) Conception d'un système "pull":

- Intégration de toutes les phases précédentes en un système de production juste-à-temps. Ce système "pull" a pour but premier de relier les divers procédés à l'aide de signaux. Ces signaux sont produits au début du cycle de production, soit à l'assemblage. Ils sont ensuite transmis aux opérations de fabrication.

(9) Intégration des fournisseurs :

- Reprise du concept "pull" adapté cette fois à l'achat des matières premières

(10) Continuité :

- Conception d'un plan visant à continuellement améliorer le système.

"Just-in-time is a journey, not a destination"
(ref.14 Nisanci)

Le succès de l'implantation juste-à-temps dans une entreprise dépend en partie de la taille de celle-ci notamment au niveau des cellules de fabrication ainsi que de la livraison juste-à-temps des matériaux.

En effet, la création de cellules de fabrication entraîne possiblement l'achat de nouvelles machines ainsi que des changements radicaux au niveau de l'aménagement. L'approbation de tels changements par la haute direction est certainement plus difficile à obtenir dans la PME que dans la grande entreprise où on consacre souvent une partie du budget à l'amélioration de la productivité. De plus, la petite fabrique aura plus de difficulté à signer des ententes avec ses fournisseurs vu les petits volumes dont elle a besoin quotidiennement. Une solution au problème de l'achat réside dans l'organisation de la livraison de plusieurs PME s'approvisionnant chez les mêmes fournisseurs. Par exemple, un camion peut passer chez le fournisseur et ensuite distribuer les composantes et matériaux. Cette option est intéressante dans la mesure où les usines sont à proximité les unes des autres.

Cette introduction résume en quelques pages le système de production juste-à-temps. Le chapitre qui suit porte sur la conception d'une ligne d'assemblage propre au juste-à-temps (mixed-model assembly line).

CHAPITRE 2 LA CONCEPTION D'UNE LIGNE D'ASSEMBLAGE

2.1 INTRODUCTION

Dans la majorité des usines, les produits sont assemblés par lots. Le même produit peut être assemblé durant des heures, des jours voir des semaines avant qu'on passe au produit suivant. De fréquents changements de produit sont peu populaires car il en résulte une interruption temporaire des activités. Si, contrairement à l'habitude, on conçoit une ligne à assembler plusieurs produits dans un court laps de temps, et si ces produits correspondent précisément en quantité à la demande pour un cycle d'assemblage donné, le niveau des stocks en produits finis s'en trouverait réduit. C'est essentiellement ce à quoi aspire les concepteurs de ce système. Dans un contexte juste-à-temps, il suffit de bien niveler la consommation des composantes à l'assemblage pour qu'il en résulte un mouvement uniforme de ces composantes dans les diverses stations de fabrication de l'usine puisque c'est à l'assemblage que se déterminent les besoins à la fabrication . Ceci a pour effet de simplifier considérablement la planification et le contrôle de la production.

2.2 THEORIE

Dans un environnement juste-à-temps, le temps de cycle à l'assemblage détermine la cadence des autres opérations dans l'usine. Le temps de cycle est défini comme le rapport du temps de production quotidien sur le nombre d'unités à produire par jour. Lorsqu'on observe une fluctuation de la demande d'une période à une autre (2-6 semaines par période) on doit rebalancer la ligne d'assemblage de manière à produire ni plus ni moins que la quantité requise de chaque produit. Le nombre d'employés sur une ligne d'assemblage peut varier d'une période à une autre. L'ordre dans lequel les produits sont assemblés est établi de telle sorte que la consommation de chacune des composantes de ces produits soit uniforme. On souhaite, par exemple, que la quantité requise de composantes de type "a" pour assembler les dix premiers produits soit égale à la quantité requise de cette même composante "a" pour assembler les dix produits qui suivent.

On ne saurait obtenir tous les avantages souhaités sans une révision des méthodes actuelles de manutention. Pour la même raison il est important de concevoir des postes d'assemblage pratiques avec suffisamment d'espace pour disposer toutes les composantes à proximité de la ligne. Dans bien des cas, lorsque les produits sont assemblés par lots, on observe des pertes de temps et d'énergie considérables ; on termine l'assemblage du produit "A" et on remet la balance des composantes dans leur boîte respective pour les acheminer vers l'entrepôt central.

En général, la manutention est effectuée par les employés de manutention. Durant les opérations de manutention les employés de l'assemblage sont inactifs. On amène ensuite à proximité de la ligne les pièces nécessaires à l'assemblage du produit "B". On ouvre les boîtes, installe les pièces sur la table de travail et débute l'assemblage. Les employés en fin de ligne attendent l'arrivée des premiers sous-assemblés. Pour remédier à cette situation on a recours à une ligne ou section de ligne dédiée à une famille de produits. Tous les produits appartenant à cette famille sont assemblés exclusivement sur la ligne dédiée. Cette ligne d'assemblage est en mesure d'assembler uniquement cette gamme de produits. En conséquence, toutes les composantes requises à l'assemblage des produits sont livrées directement près de la ligne sans séjourner dans un entrepôt central de telle sorte que la manutention s'en trouve réduite. Il est donc possible à cet instant de considérer un changement fréquent de produits puisque les pièces sont à porter de la main.

L'étape première est de regrouper les produits à assembler par famille. Les produits qui sont constitués de plusieurs pièces communes sont en général groupés dans une même famille. Une fois cette étape franchie, on détermine l'ordre dans lequel on assemble les produits de telle sorte que la vitesse de consommation de chaque pièce soit constante. La section qui suit est une application de la théorie décrite précédemment.

2.3 APPLICATION

La famille des "bath bars" ou rails d'éclairage (annexe A) constitue un pourcentage important de la production totale dans la fabrique où cette étude a été effectuée. Ces produits sont formés principalement de deux (2) composantes : le dos (back plate) et le couvercle (cover plate). Ces deux (2) pièces sont fabriquées sur une presse à partir de matériau embobiné. Cette famille de produits est employée ici à titre d'exemple.

Cette famille compte plus de cinquante (50) produits semblables et ceux-ci sont formés de plus de cent (100) composantes fabriquées ou simplement achetées selon le cas. Parmi ces produits, certains ont une demande annuelle très élevée tandis que d'autres ont une faible demande annuelle. Ces derniers seront groupés en un produit fictif "E".

Théoriquement, on doit faire varier le nombre d'employés sur la ligne d'assemblage selon la variation de la demande. Par exemple, de juillet à décembre le nombre d'employés sur la ligne doit être supérieur au nombre d'employés durant les sept premiers mois de l'année. A chaque changement de l'effectif de main-d'oeuvre correspond un nouvel équilibrage. L'application en cours dévie quelque peu de la théorie juste-à-temps au niveau des variations de la main-d'oeuvre, comme on peut le constater dans les pages qui suivent.

Une variation de la demande est observée tout au long de l'année. En effet, on doit produire soixante % de la demande annuelle totale durant les cinq derniers mois de l'année. On souhaite équilibrer les postes d'assemblage pour un temps de cycle seulement. On utilise le temps de cycle correspondant à la demande maximale. Pour obtenir la demande maximale quotidienne :

(demande annuelle * .60/5) unités/mois * 1/20 mois/jour

Cinq (5) produits de la famille des rails possèdent une demande annuelle supérieure ou égale à mille (1000) unités :

	produit	demande annuelle	demande quotidienne maxi
A :	3123-10	1000	6
B :	3123-15	1900	12
C :	3298-10	1500	9
D :	3299-10	1000	6
E :	produits fictifs	1500	9

			42

On doit donc assembler au total quarante-deux (42) unités de ces produits quotidiennement. Cette donnée correspond à la production maximale. Au lieu de faire varier le nombre d'employés sur la ligne, on a préférer faire varier le temps consacré à l'assemblage et de toujours conserver le même nombre d'assembleurs sur une section donnée. De cette manière, les employés vont d'une ligne à une autre selon la période.

L'avantage principal de cette approche est l'unique équilibrage requis pour chacune des lignes. Cependant, on doit planifier à l'avance l'emploi du temps.

La ligne d'assemblage longue de quatre-vingt (80) pieds a été divisée en deux lignes de quarante (40) pieds. Sur une section de la ligne, on assemble uniquement des "bath bars" tandis que sur l'autre section on assemble les produits d'une autre famille. Le but de ce changement est de réduire la manutention ainsi que les temps d'attente. On a aménagé un entrepôt local à proximité de la ligne pour stocker toutes les composantes requises à l'assemblage des rails. les petites composantes sont stockées en permanence sur les postes d'assemblage. Lorsqu'on a terminé la production quotidienne des "bath bars", les employés se déplacent vers une autre section d'assemblage laissant les stations "bath bars" intactes. le jour suivant, les employés reviennent à la section d'assemblage "bath bars" le temps de produire les quarante-deux (42) unités.

Temps de cycle = $\frac{\text{temps disponible}}{\text{nombre d'unités}} = \frac{400 \text{ min}}{42 \text{ unités}} = 9.5 \text{ min}$

Les postes d'assemblage sont balancés pour produire une (1) unité toute les neuf minutes et demi (9.5 min). Les graphiques d'assemblage et d'antériorité sont les mêmes pour tous les modèles de "bath bars" et on peut s'y reférer à l'annexe A à la fin de cet ouvrage.

Comme mentionné dans la première section de ce chapitre, pour arriver à une consommation constante de chaque composante par unité de temps, on doit minimiser la différence entre la quantité moyenne de composantes requises à l'assemblage de tous les produits de la ligne et la quantité réelle de cette composante requise à l'assemblage des k premiers produits dans le cycle à modèles variés. La formule générale est la suivante (ref. 13):

$$DIF\ i = \sqrt{\sum_{j=1}^{B} \left((K * Nj) / Q - Xj - Yji \right)^2}$$

K : la position du produit dans le cycle
Nj : Qté de composantes "j" requises pour assembler tous les produits dans le cycle
Q : nombre total d'unités à produire
Xj : nombre de composantes "j" employées pour assembler les k-1 premiers produits
Yj.i : quantité de "j" requise pour assembler le produit "i"
B : nombre de composantes

Pour chacune des positions "K" dans le cycle, on calcule cette différence en faisant varier le produit "i" dans l'équation. Dans notre exemple, pour chaque position on calcule cinq (5) différences correspondant aux produits A, B, C, D et E. La réponse minimale est choisie et le produit correspondant sera assemblé à la position "K". Ensuite, on augmente "K" de un (1) et on recommence.

Dans le cas présent on a quarante-deux (42) unités à assembler dans un cycle :

```
 6 "A"
12 "B"
 9 "C"
 6 "D"
 9 "E"
---
42
```

Si on divise chaque quantité par trois (3), on obtient un cycle de quatorze (14) unités et ce cycle doit être répété trois (3 fois par jour :

```
 2 "A"
 4 "B"
 3 "C"
 2 "D"
 3 "E"
---
14
```

Vingt (20) composantes sont requises pour produire ces quatorze (14) unités. La moitié de ces composantes sont des pièces fabriquées dans la cellule de fabrication des "bath bars". L'autre moitié de ces composantes sont des pièces achetées. On s'intéresse particulièrement aux pièces fabriquées puisqu'on doit les fabriquer juste-à-temps.

La matrice qui suit laisse voir les composantes requises à l'assemblage des différents produits :

	PRODUIT				
COMPOSANTE	A	B	C	D	E
1 : 179040-CND	1	1	0	0	0
2 : 179060-205	1	0	0	0	0
3 : 184182-205	2	0	0	0	0
4 : 189060-225	0	1	0	0	0
5 : 184182-225	0	2	0	0	0
6 : 114211-CND	0	0	1	0	0
7 : 114234-205	0	0	1	0	0
8 : 114212-CND	0	0	0	1	1
9 : 114235-205	0	0	0	1	0
10: 114253-225	0	0	0	0	1

On débute les calculs avec k=1 dans l'équation du "Goal Chasing". On obtient le produit E qui sera assemblé en premier dans le cycle. On passe ensuite à k=2 et ainsi de suite. Les calculs se trouvent en annexe C. Le cycle complet obtenu est constitué comme suit : E-B-C-A-D-B-E-C-B-D-A-C-B-E. Ce cycle est répété trois (3) fois par jour de telle sorte que la production s'élève à quarante-deux (42) unités.

Le chapitre qui fait suite à celui-ci porte sur la conception de cellules de fabrication par la technologie de groupe.

2.4 CONCLUSION

- Dans un contexte juste-à-temps, on fait varier le nombre d'employés à l'assemblage de manière à refléter les fluctuations de la demande. Ceci entraîne un équilibrage des postes d'assemblage pour chaque variation de la main-d'oeuvre.

- Il est préférable que les produits assemblés sur une ligne appartiennent à une même famille de production. Les produits d'une même famille possèdent généralement plusieurs composantes en commun ce qui a pour effet de simplifier la production et de minimiser l'espace requis pour stocker les composantes à proximité de la ligne.

- Pour éviter de fréquents équilibrages propre au juste-à-temps, on peut choisir de faire varier le temps d'assemblage plutôt que le nombre d'assembleurs. Dans ce cas, plus la demande est élevée, plus long est le temps consacré à l'assemblage d'un famille donnée. Le temps de cycle reste le même d'une période à une autre.

CHAPITRE 3 LA CREATION DES CELLULES DE FABRICATION PAR LA TECHNOLOGIE DE GROUPE.

3.1 INTRODUCTION

Le concept de base de la technologie de groupe est de décomposer un système manufacturier en plusieurs sous-systèmes. Pour y arriver, on forme des familles de composants ayant certaines caractéristiques communes et on leur attribue un ensemble de machines regroupées.

Les principaux avantages d'une telle approche sur une approche plus conventionelle par procédé sont :

1. Réduction des délais de fabrication :

   -pas de file d'attente
   -petite distance à parcourir
   -diminution des temps de réglage

2. Réduction du niveau des stocks :

   -réduction des délais de fabrication
   -diminution des quantités par lot
   -bonne synchronisation entre les diverses opérations.

3. Réduction de la manutention :

   -les machines appartenant à un même groupe sont près les unes des autres
   -les pièces passent dans un seul groupe de machines.

4. Decentralisation des responsabilités :

   -un contremaitre par cellule responsable de la qualité d'un produit, ainsi que de sa fabrication "juste-à-temps".

Dans ce chapitre il est question en première partie des méthodes de classification sur lesquelles fonder les regroupements de pièces et de machines. La seconde partie, plus pratique, consiste en une étude de cas.

3.2 DEFINITIONS ET THEORIE.

Famille : Une famille de production contient un ensemble de composants similaires.

Groupe : Un groupe de fabrication contient l'ensemble des machines nécéssaires à la production d'une famille donnée.

De façon générale, les composantes sont regroupées en familles, étant fabriquées par les mêmes machines. On associe à la technologie de groupe trois systèmes distincts. Dans la section qui suit, se trouve une brève description de ces systèmes (ref.2).

1. CENTRE : Dans ce premier type d'arrangement, les composantes d'une famille ont des caractéristiques communes associées à une seule machine ou centre-machine. Par exemple, une famille de pièces de forme cylindrique associée à un tour.

2. CELLULE : Dans ce second type d'arrangement, les composantes d'une famille ont des caractéristiques communes associées à un groupe de machines. Les composantes peuvent être acheminées dans un ordre quelconque sur ces machines.

3. LIGNE : La différence entre ce troisième arrangement et le second est que lorsque les machines sont aménagées en ligne, toutes les pièces doivent circuler dans une même direction passant de la machine 1 à la machine 2 puis à la machine 3, (etc.)

Ainsi, lorsque l'on souhaite décomposer un département de production en un ensemble de petites unités de production, trois choix s'offrent à nous selon que les pièces sont fabriquées sur une ou plusieurs machines et dans ce dernier cas, selon que les pièces circulent sur les machines dans le même ordre (ligne) ou dans un ordre différent (cellule).

Lors de la mise en application de la technologie de groupe, l'étape la plus complexe est certainement le regroupement de pièces pour former les familles de production auxquelles seront associées un groupe de machines. Pour appartenir à une même famille, les composantes doivent être similaires selon certains facteurs déterminants.

Il peut y avoir similitude au niveau de la forme ou de la dimension des pièces, similitude compte tenu du matériau utilisé ou de la précision requise à l'usinage.

Trois approches différentes peuvent être employées pour déterminer les familles de production.

Une première approche, la plus simple des trois méthodes de classification, consiste en l'inspection visuelle des pièces. D'abord on détermine le ou les facteurs de similarité. Ensuite on considère les composantes une par une et on les classe selon ces facteurs prédéterminés. Il est à noter que cette première méthode est strictement réservée aux situations très simples où le nombre de pièces et de machines est assez restreint et où les gammes de fabrication sont limitées à des opérations simples. Lorsque la situation est plus complexe et que cette approche s'avère inefficace, on a recours à l'une ou l'autre des deux méthodes suivantes pour la classification des composantes.

La seconde méthode consiste aussi à classifier les pièces selon un facteur de similarité mais cette fois de façon beaucoup plus systématique. Un système de classification est implanté. Chacune des composantes se voit assigner un numéro-code. Chaque chiffre de ce code a une signification bien précise. Par exemple, un premier chiffre peut indiquer la forme de la pièce, un second chiffre, une

dimension, un troisième chiffre, un autre facteur important et ainsi de suite selon le système code employé. Un bon code doit posséder certaines caractéristiques : d'abord il doit être facilement définissable et un numéro doit définir une seule pièce. De plus il doit définir clairement tous les aspects importants attachés aux méthodes de fabrication. Pour terminer il doit être le plus détaillé possible tout en évitant toute information inutile. Suite à cette implantation d'un système de codification, on procède au regroupement des composantes ayant des codes compatibles. Cette analyse des codes peut se faire à l'aide de l'ordinateur si sa complexité l'exige. Cette méthode de classification ne présente pas de restriction quant à la complexité du problème et s'est révélée très efficace dans plusieurs cas. Cette méthode requiert toutefois une phase initiale très longue (l'élaboration du code), un désavantage par rapport à la méthode qui suit.

Il s'agit de l'approche par l'analyse des flux de production (production flow analysis). Le regroupement de composantes selon cette troisième méthode requiert en premier lieu l'étude des gammes d'opérations. Ces gammes de fabrication sont disponibles dans la plupart des entreprises, ce qui constitue un avantage considérable par rapport à la méthode précédente qui requiert la longue implantation d'un système de classification par code. Les familles sont crées par le regroupement des pièces ayant une gamme d'opérations similaires et utilisant les mêmes machines.

L'analyse des flux de production compte quatre étapes :

1. Création des groupes majeurs qui, au niveau de l'usine, combine machines et composantes. (Factory flow analysis).
2. Formation des familles de production et des groupes de machines par une analyse des groupes majeurs. (Group analysis).
3. Aménagement des machines pour chaque groupe. (Line analysis).
4. Formation de famille outils où les pièces peuvent être fabriquées une à la suite de l'autre sans effectuer de réglage. (Tooling family).

C'est à l'étape 2 que l'on regroupe pièces et machines. On crée une matrice composantes-machines à partir des gammes d'opérations de chaque pièces. Dans cette matrice, chaque machine est représentée par une rangée i et chaque composante est représentée par un colonne j. Pour chaque composante j fabriquée sur la machine i on entre le chiffre 1 à l'intersection de la rangée i et la colonne j sur la matrice. (fig.1)

Fig.1

		pièce				
		a	b	c	d	e
	1:	1	0	0	1	0
machine	2:	0	0	1	0	1
	3:	1	1	0	0	0
	4:	0	0	1	0	1

L'opération suivante consiste à réarranger les colonnes et rangées de la matrice de manière à rendre visible le regroupement des machines et la formation des familles de pièces. Le réarrangement peut se faire manuellement lorsque le nombre de pièces et de machines est restreint mais dans le cas contraire on a recours à l'ordinateur. A ce sujet, plusieurs logiciels ont été conçus pour réorganiser la matrice pièces-machines, notamment par M. Andrew Kusiak et M. J.R. King (ref.10 et 11).

Lorsqu'on a obtenu la formation de familles de production et de groupes de machines, ceci par l'une des trois approches mentionnées précédemment, on doit déterminer le nombre de machines de chaque type requis pour satisfaire la demande ainsi que l'aménagement physique des machines dans le cas de la cellule et de la ligne.

La création d'un aménagement juste-à-temps se résume donc comme suit : d'abord trouver le type d'aménagement optimal (centre, cellule ou ligne), ensuite former les familles de production et les groupes de machines correspondants et enfin, aménager les machines et déterminer le nombre requis de machines dans chaque groupe.

Dans la prochaine section de ce même chapitre, on trouvera une application reliée à la technologie de groupe et la création de cellules de fabrication.

3.3 APPLICATION

La technologie de groupe consiste à réunir certaines pièces ayant des procédés de fabrication semblables et de les acheminer vers un petit groupe de machines. Cette technique est démontrée dans cet ouvrage.

L'atelier de fabrication dont il est question dans cette étude compte soixante-dix (70) machines de vingt-deux (22) types. On compte parmi ces machines les machines qui figurent au tableau 1 qui suit.

TYPE	DESCRIPTION
1	presse (75T.)
2	machine à plier
3	machine à alimenter
4	machine à dérouler
5	presse
6	tour
7	fraiseuse
8	machine à souder
9	machine à polir
10	machine à couper
11	perceuse
12	machine à rivêter
13	"tapping machine"
14	machine à fileter
15	rouleau
16	machine à couper
17	scie sur table
18	scie à courroie
19	machine à plier
20	machine à couper les fils
21	poinÇonneuse
22	"beading machine

TABLEAU 1 : PARC DE MACHINES

Ces machines sont actuellement aménagées par procédé, c'est-à-dire que les machines d'un même type sont regroupées dans un espace qui leur est réservé et que les composantes sont acheminées vers les différents groupes selon leur gamme de fabrication. Considérant l'ampleur du facteur manutention, il semble important d'envisager une solution qui favorise une reduction des mouvements. La création de cellules va contribuer à cette réduction.

Comme mentionné dans la première partie de ce chapitre, trois types d'aménagement s'offrent à nous lors d'une mise en application de la technologie de groupe. On exclue dès le départ le centre qui consiste à former des familles de composantes fabriquées à l'aide d'une machine seulement. La majorité des pièces requièrent plus d'une machine comme on le constatera bientôt. Conséquemment, il reste deux types d'aménagement possible, la cellule ou la ligne, la principale différence se situant au niveau de l'ordre dans lequel les pièces circulent d'une machine à une autre. Le choix sera porté sur l'un ou l'autre des aménagements ou sur une combinaison des deux suite à l'étude de la matrice composante-machine (annexe B).

Du à un très grand nombre de composantes fabriquées, seules les composantes à forte demande sont considérées dans cette recherche. La sélection de ces pièces est basée essentiellement sur un rapport produit quotidiennement à la fabrique. Ce rapport dénommé le "MIN-MAX" contient les quantités minimales et maximales en magasin ainsi que le code d'article et une description de l'item.

La quantité minimale en stock correspond aux prévisions de ventes pour l'article en question pour une période d'un mois. On retrouve sur ce rapport aussi bien les composantes achetées que les composantes fabriquées. Une pré-sélection doit donc être faite de manière à éliminer les pièces achetées ou sous-traitées. Sur le rapport "MIN-MAX" se trouve plus de six mille six cents (6600) items. On remarque que parmi ces items, certains sont des sous-assemblés c'est-à-dire que ces items fabriqués sont employés à la fabrication d'autres items (pièces "parents"). Or, sachant que sur les gammes d'opérations des pièces "parents" on retrouve aussi la gamme de leurs sous-assemblés, il est inutile d'étudier la gamme des sous-assemblés séparément. Il est donc recommandé d'exclure les sous-assemblés de notre sélection. Les pièces achetées et les items sous-assemblés à omettre peuvent être identifiés à l'aide du code de chaque composante. Un code d'article compte neuf (9) chiffres :123456-789. Les septième et huitième chiffres déterminent le type de fini de l'article (plaqué laiton, peint, or, etc.). On sait, par exemple, que si le septième chiffre est un zéro, la pièce est soit achetée soit sous-assemblée ; la pièce qui porte le numéro 115700-005 est une pièce achetée et qui servira à la fabrication de la composante 115700-215.

Suite à l'exclusion des pièces achetées et des pièces sous-assemblées, il reste un total de mille cent vingt-quatre (1124) items par rapport aux six mille six cents (6600) items de départ.On note, parmi ces mille cent vingt-quatre (1124) items, une variation considérable quant à la quantité à produire. Par exemple, certaines pièces ont une demande mensuelle de dix (10) unités tandis que d'autres ont une demande de deux mille (2000) unités (notamment certains bras de lampes que l'on retrouve sur plus d'un produit). Il est évident que les pièces à forte demande comportent un plus grand intérêt que les pièces à faible demande. On tentera donc d'éliminer les pièces à faible volume selon la loi de Pareto : 20% des produits sélectionnés représentent 80% de la production. Si on considère uniquement les items qui ont une demande supérieure ou égale à cent (100) unités par mois, on obtient des résultats compatibles avec la loi de Pareto. Deux cent vingt-sept (227) items ont une demande supérieure ou égale à cent (100) unités par mois, soit 20% des mille cent vingt-quatre (1124) items de départ. Ces deux cent vingt-sept (227) items représentent une production de soixante-dix-sept mille six cent soixante-sept (77667) unités par mois soit environ 89% de la production des mille cent vingt-quatre (1124) items qui étaient de quatre-vingt-sept mille six cent vingt-trois (87623) unités par mois.

Il y a une relation fondamentale entre la courbe produit-quantité et l'aménagement des machines. Une analyse de cette courbe (l'analyse ABC) démontre qu'il est avantageux de produire les articles à gros volume selon une implantation par produit et les articles à petits volume selon un aménagement par procédé.

En fait, sans même aborder les concepts de la technologie de groupe, il est clair que les items à forte demande ne doivent plus être traités par procédé. Cette analyse semble tout à fait compatible avec les concepts de la technologie de groupe qui premièrement, regroupe les pièces ayant des procédés de fabrication semblables obtenant ainsi de gros volumes: deuxièmement dédie un équipement à ces pièces: troisièmement, continue de traiter par procédé les composantes n'appartenant pas à une famille de production, ces items étant généralement à faible demande.

Enfin, avant d'étudier de façon approfondie les gammes d'opérations, on doit déterminer lesquelles parmi ces deux cent vingt sept (227) composantes vont uniquement dans les départements de finition sans passer à la fabrication. Ces composantes seront par la suite exclues puisque notre étude porte sur l'aménagement des machines dans le département de fabrication. Il se trouve que parmi les deux cent vingt sept (227) pièces quatre-vingt-dix-neuf (99) seulement sont acheminées vers le département de fabrication. Ce sont ces quatre-vingt-dix-neuf (99) composantes fabriquées à plus de cent (100) unités par mois qui serviront d'exemple.

Trois approches sont fréquemment employées pour la formation des familles de production et le regroupement des machines. Vu le nombre relativement élevé de machines et de composantes, la première approche qui consiste en une inspection visuelle des pièces ne saurait pas simplifier notre tâche.

La seconde approche qui requiert l'implantation d'un système à code est une solution possible, bien que très coûteuse. Enfin, la troisième approche qui implique une analyse des gammes d'opérations et une transposition des données en matrice convient parfaitement à notre application puisque ces gammes sont disponibles.

On optera donc pour cette dernière approche, l'analyse des flux de production, pour diviser le département de fabrication en un ensemble de sous-départements.

La première étape de l'analyse des flux de production consiste à définir les groupes "majeurs" ou départements. Dans le cas présent, on s'intéresse à un groupe majeur: la fabrication. Nul besoin de définir les autres groupes vu l'objectif de cet ouvrage.

La seconde étape a pour but de former les familles de production et les groupes de machines suite à une analyse de la matrice composantes-machines (annexe B). Au premier abord, on remarque que certaines machines ne sont pas requises à la fabrication des pièces sélectionnées. Il s'agit des machines portant les numéros 5, 6, 16, 17, 18, 20. De plus, d'autres machines sont requises pour une ou deux pièces seulement. Il s'agit des machines portant les numéros 7, 12, 13. Il n'est pas souhaitable de voir ces machines groupées avec d'autres machines beaucoup plus en demande. On laisse donc ces neuf (9) machines où elles sont.

Les pièces qui requièrent les machines 7, 12, et 13, devront être sous-traitées ou simplement traitées comme auparavant, par procédé. Ces pièces comptent donc parmi les pièces "exceptions". On remarque ensuite que certaines pièces passent sur une machine seulement. Eventuellement, chacune de ces pièces pourra être traitée dans une des cellules qui comptent parmi ses machines la machine requise. Ces pièces pourront aussi être traitées comme les exceptions, par procédé. Il s'agit des pièces portant les numéros 1, 4, 5, 15, 16, 17, 9, 20, 22, 34, 35, 83, 90.

Lors de la création des cellules et lignes, il est recommandé d'exclure temporairement ces pièces, celles-ci pouvant appartenir à plusieurs groupes.

De manière à faciliter le regroupement des composantes et des machines, on a recours au concept développé par J.R. King (ref.8a). Les machines et composantes y sont représentées à l'aide d'une matrice pièce-machine (annexe B). Pour chaque composante j fabriquée sur la machine i on entre Aij=1 à l'intersection de la rangée i et de la colonne j. On note, à priori, que la solution de King au problème de regroupement réside dans le réaménagement des rangées et colonnes pour ainsi obtenir une matrice de forme diagonale avec les entrées Aij=1 regroupées le long de la diagonale. Pour obtenir cette matrice, on associe à chaque composante une valeur binaire. La composante à l'extrême droite sur la matrice porte la valeur 1, la composante à gauche de celle-ci, la valeur 2, celle qui suit à gauche, la valeur 4 et ainsi de suite.

Se référant à la figure 3.1 (page suivante), on note sur la première matrice le calcul binaire (sommation des entrées Aij=1 multipliées par les valeurs binaires correspondants aux pièces j). La seconde matrice représente la première matrice suite à un réarrangement des rangées par ordre binaire décroissant. Cette marche à suivre est ensuite répétée mais cette fois avec une valeur binaire associée aux machines i par ordre décroissant de haut en bas. On effectue ensuite un réarrangement des colonnes selon les valeurs binaires obtenues. On continue le réarrangement des rangées et colonnes jusqu'à ce qu'aucun changement ne soit plus possible. A ce point, si une solution idéale existe, on distingue clairement les groupes de pièces et de machines. Une structure diagonale parfaite constitue l'exception. Dans bien des cas, la matrice obtenue cerne un ensemble de familles de production ainsi qu'un certain nombre de pièces misent à part. Ces exceptions n'ont pu être regroupées dans aucune des familles.

L'application présente consiste en une matrice de quatre-vingt-dix-neuf (99) composantes et seize (16) types de machines (annexe B, figure 1). Un programme informatique a été développé selon le concept King pour résoudre cette matrice. La méthode de King ne tient pas compte de l'ordre dans lequel les composantes circulent d'une machine à l'autre. En conséquence, cette approche ne peut être employée seule. Une fois les groupes de production connus, on doit procéder par une seconde analyse tenant compte cette fois de l'ordre de passage des pièces sur les machines.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		CLASSEMENT BINAIRE
1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	92	5
2	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	610	1
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	33	6
4	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	396	4
5	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	547	2
6	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	408	3
VALEUR:	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1		

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	VALEUR
2	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	32
5	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	16
6	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	8
4	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	4
1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	2
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
	48	12	12	34	49	10	14	6	48	17	
CLASSEMENT BINAIRE :	2	7	8	4	1	9	6	10	3	5	

	5	1	9	4	10	7	2	3	6	8		CLASSEMENT BINAIRE
2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	960	1
5	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	928	2
6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	30	5
4	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	29	6
1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	595	3
3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	544	4
VALEUR:	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1		

FIGURE 3.1

La matrice résultant de l'analyse selon King se trouve en annexe B, figure 2. Mais d'abord, une analyse visuelle de la matrice initiale (annexe B, figure 1) permet d'identifier certaines familles. On note, en premier lieu, que les pièces 6 à 12 et 23 à 29 requièrent les mêmes machines soient les machines 1, 2, 3 et 4. De plus, on remarque immédiatement que les machines 7, 12 et 13 sont très peu employées contrairement aux autres machines. Conséquemment, il n'est pas justifié d'aménager ces machines avec d'autres machines très en demande. Cette première analyse est donc utile pour simplifier la matrice. L'analyse de la matrice transformée est dès lors nécéssaire pour identifier les autres groupes de machines et de composantes. On discerne un deuxième groupe, le groupe 2A sur la matrice. Ce groupe compte quatre (4) machines, notamment les machines 8, 10, 19 et 21. Neuf (9) composantes requièrent ces machines. Certaines autres pièces requièrent l'emploie de deux (2) ou trois (3) de ces machines. Si on décide d'intégrer ces pièces aux groupes 2A, on obtient un groupe 2A+2B+2C. De plus, si on ajoute une machine de type 15 au groupe précédent, on est en mesure de fabriquer le groupe 2D avec ces 5 machines. De la même manière, si on inclue une machine de type 11, on est en mesure de fabriquer les pièces du groupe 2E. On constate qu'une multitude de solutions s'offre à nous. Un phénomène semblable est observé avec le groupe 3 de cette même matrice. Le groupe 3A est formé des machines 8,10,14,19 et compte onze (11) composantes. Si on ajoute à ces machines une machine de type 22, on est en mesure de

fabriquer les pièces appartenant au groupe 3B avec celles du groupe 3A. De plus, on remarque que neuf (9) pièces additionnelles requièrent l'emploi des machines 10,14,19 et 22. Il s'agit du groupe 3C sur la matrice. Il reste donc dix (10) composantes qui ne peuvent être regroupées à l'un ou l'autre des trois groupes. Ce sont les pièces "exceptions" et seront traîtées à l'extérieur des cellules. Une analyse des gammes de fabrication a permis de déterminer que les composantes du groupe 1 circulent dans le même ordre sur les machines. Il s'agit donc d'une ligne de fabrication. Les composantes des groupes 2 et 3 ne requièrent pas toutes les machines et ne circulent pas toutes dans le même ordre. En conséquence, ces deux groupes de machines seront aménagées en cellule pour permettre plus de flexibilité. La ligne 1 sert d'exemple dans les étapes 3 et 4 de l'analyse des flux de production.

L'étape 3 de l'analyse des flux de production consiste en l'aménagement des machines de chaque groupe. Comme mentionné plus tôt, les pièces acheminées vers la ligne 1 appartiennent à la famille de production "Bath Bars" (annexe A). Les produits appartenant à cette famille sont formés principalement de deux composantes: le couvercle (cover plate) et le dos (back plate).

Nous savons que la ligne est formée des machines 1, 2, 3 et 4. Hors, parmi ces machines, seulement les machines 1 et 2 apportent une modification à la matière. Les machines 3 et 4 servent respectivement à alimenter la machine 1 et à dérouler les matériaux. Tous les "dos" sont poinçonnés et pliés entièrement sur la machine 1, ceci suite à un changement de matrices entre ces opérations. Par contre, les "couvercles" doivent aller sur les machines 1 et 2 avant d'être amenés à l'assemblage. Une installation des machines en ligne droite s'impose pour la ligne 1. D'abord les machines 3 et 4 sont obligatoirement placées à droite de la machine 1 et enlignées avec celle-ci de façon à pourvoir correctement à l'alimentation et au déroulement de la matière. De plus, la machine 2 doit être le plus près possible de la machine 1 sans toutefois obstruer la voie lors des changements de matrice. La machine 2 doit donc être à gauche de la machine 1 et en ligne avec les 3 autres machines.

Enfin, l'étape 4 de cette analyse consiste à former les familles-outils, c'est-à-dire cs pièces qui peuvent être poinçonnées et pliées avec la même matrice (sans occasionner de réglage). Cette dernière étape a pour but de déterminer la séquence à laquelle les composantes seront fabriquées de manière à minimiser le nombre de réglages. Pour y arriver, il suffit de se procurer la liste des pièces fabriquées avec le numéro de la matrice requise (2 matrices dans le cas des "dos") à leur fabrication.

On regroupe les composantes qui requièrent la même matrice et par la suite on tentera de fabriquer ces composantes en série lorsqu'elles sont en demande dans un même cycle de production.

Il est toutefois important de noter que les avantages de ce réaménagement ne sauraient être obtenus sans une réduction des temps de réglage des machines ainsi qu'une gestion de la production appropriée. Le chapitre qui fait suite à celui-ci porte justement sur la réduction des temps de réglage. Mais d'abord, suit la conclusion du présent chapitre.

3.4 CONCLUSION

- L'étape la plus complexe du processus est la formation des familles de production et le regroupement des machines.

- Il est possible d'obtenir le fractionnement d'un système manufacturier en plusieurs sous-systèmes sans avoir recours à un système de codification.

- Lorsque le système manufacturier compte une grande variété de pièces, il est recommandé de considérer uniquement les pièces à demande élevée. Les autres pièces pourront être traitées dans un environnement par procédé. Ceci a pour avantage de simplifier le processus de regroupement.

CHAPITRE 4 LA REDUCTION DES TEMPS DE REGLAGE

4.1 INTRODUCTION

Les bénéfices de l'approche juste-à-temps proviennent de plusieurs changements apportés à une entreprise:

1. Réduction des temps de réglage et des distances à parcourir
2. Réaménagement de l'usine
3. Contrôle de la qualité
4. Maintenance préventive
5. Equilibrage des postes et synchronisation des diverses cellules
6. Intégration des fournisseurs
7. Développement vers une automatisation complète.

Dans ce chapitre, il sera traité essentiellement de la réduction des temps de réglage. les principaux avantages d'une réduction des temps de réglage sont:

1. Une diminution du niveau des stocks en produits finis et produits en-cours occasionnée par la réduction des quantités produite par lot.

2. Une tendance vers la fabrication sur commande
3. Une bonne adaptabilité à la demande
4. Une grande facilité à exécuter les opérations de réglage celles-ci étant mieux conçues
5. Une diminution des temps de cycle et des délais de fabrication

De façon générale, une réduction des temps de réglage entraîne une modification de l'équipement existant. Toutefois, une étude approfondie est de rigueur avant de modifier l'équipement. Suite à des changements simples et peu couteux apportés à la methode existante de réglage, on observe une réduction appréciable des temps de mise en course. Ceci est demontré dans la section 4.4 de cet ouvrage. Ce chapitre compte plusieurs sections: la section 4.2 contient certains termes utilisés ultérieurement; une approche systématique à la réduction des temps de réglage est développée dans la section 4.3; une démonstration est amenée en section 4.4 et enfin on trouve une conclusion générale à la section 4.5.

4.2 DEFINITIONS

4.2.1 Temps de réglage (setup time):

D'un point de vue "juste-à-temps", le temps de réglage est défini comme suit: le temps d'arrêt d'une machine entre la dernière pièce produite de type A et la première BONNE pièce produite de type B.

4.2.2 Réglage interne (internal setup):

La fraction du réglage total qui comprend toutes les actions pouvant être effectuées uniquement lorsque la machine est en position d'arrêt.

4.2.3 Réglage externe (external setup):

La fraction du réglage total qui comprend toutes les actions pouvant être effectuées lorsque la machine est en marche.

4.2.4 Machine (machine):

L'équipement de base qui demeure intact lors d'un réglage.

4.2.5 L'outil:

La partie détachable de l'équipement qui sert à travailler le métal.

4.2.6 L'outillage (attachment):

La partie de l'équipement qui peut être détachée ou modifiée lors d'un réglage, mais qui est fixée à la machine lorsque celle-ci est en marche.

4.2.7 Outillage de réglage (tools):

L'ensemble des objets employés lors d'un réglage pour attacher ou détacher l'outillage, et pour faire des ajustements. Ces objets ne sont pas fixés à la machine lorsque celle-ci est en marche.

4.2.8 Matériau (material):

La matière qui subit une transformation quelconque.

4.2.9 Temps d'ajustement (adjustment time):

Le temps écoulé entre la dépose du nouvel outillage et la production de la première BONNE pièce de type B.

4.3 APPROCHE SYSTEMATIQUE

4.3.1 Introduction

L'équipe en charge d'une telle étude se doit de cerner toutes les activités se rapportant au réglage en place. L'emploi d'un magnétoscope pour capter l'ensemble des operations de réglage est recommandé. Ainsi, il est possible de visionner à plusieurs reprises la méthode de réglage actuelle et aussi, de mesurer le temps requis pour effectuer chaque mouvement à l'aide d'une horloge reliée à l'appareil. Finalement, on décompose le travail en éléments aisément identifiables. Cette préparation a pour but de permettre d'abord aux agents d'étude de se familiariser avec l'équipement et la tâche à exécuter, ensuite de les mettre en contact avec le personnel rattaché à l'équipement dont il est question ici.

Somme toute, cette préparation à la réduction des temps de réglage peut être qualifiée d'étude du travail. En effet, on enregistre et examine de façon critique les méthodes existantes d'exécution du travail. De plus, on détermine les temps requis pour l'exécution des tâches.

Une dernière recommandation avant de debuter une étude semblable: adopter une attitude positive. Sinon, on ne pourra pas tirer profit de l'expérience des opérateurs et des contremaîtres. L'attitude des agents face à l'étude entreprise va tôt faire de se refléter sur le moral des troupes.

"Despite the tendancy to assume that something can't be done, we find an unexpectedly large number of possibilities when we give some thought of how it might be possible to do it." (Shingo, ref.17)

4.3.2 Méthode

Une opération de réglage comprend généralement les quatre étapes suivantes:

1. Préparation: vérification de la présence et du bon fonctionnement des objets de réglage et de l'outillage.
2. Montage: Changement de l'outillage (pinces de serrage de l'outil, matrice, brides de serrage, etc.)
3. Mesures: centrage, mesure de dimension, de température, de pression, etc.
4. Ajustements: essais effectués sur la matière suite au positionnement de l'outillage.

La méthode décrite dans le présent ouvrage se veut des plus générales possibles. Elle résume le point de vue des pionniers dans le domaine de la réduction des temps de mise en course, notamment celui de Shingo, de Hay et de Monden (ref.17, 7 et 13 respectivement).

ETAPE 1: (a) séparer le réglage externe du réglage interne

(b) convertir le plus possible du réglage interne en réglage externe

ETAPE 2: éliminer si possible les opérations d'ajustement

On considère tout d'abord la première étape de cette méthode.

ETAPE 1: (a) <u>séparer le réglage externe du réglage interne</u>

Ceci a pour but de s'assurer que toutes les opérations pouvant être effectuées en réglage externe sont véritablement exécutées lorsque la machine est en marche.

- Elaborer une liste de vérification pour s'assurer que tous les outils, outillages et matériaux sont sur place lorsque la machine s'arrête.

- Effectuer une vérification de l'équipement pour s'assurer que tout est en bon état de fonctionnement.

- Standardiser l'ensemble des opérations de réglage externe. Par exemple, toutes ces opérations peuvent être soigneusement décrites sur un tableau ou une affiche. De cette manière le réglage ne dépend pas de l'intuition de l'opérateur.

- Traiter l'aspect manutention durant le réglage externe. Dans le cas d'une machine automatique, l'opérateur peut lui-même effectuer l'opération. Dans le cas contraire, cette tâche est assignée à un autre employé.

ETAPE 1: (b) <u>convertir le plus possible du réglage interne en réglage externe.</u>

Ceci a pour but de minimiser la durée totale du réglage interne. Il a été démontré (réf. 17) que cette conversion peut réduire de façon considérable les temps d'arrêts d'une machine.

- Préparer les conditions d'opération à l'avance. Par exemple, dans le cas d'une opération de moulage en coquille, on peut chauffer à l'avance le moule de métal employé de manière à ce que cette préparation ne soit plus effectuée lors du réglage interne.

- Effectuer le plus d'attaches et de détaches possibles durant le réglage externe. Par exemple, on peut positionner à l'avance une matrice sur une base standard durant la phase externe, et

lorsque la machine s'arrête, on remplace simplement l'ancienne base et la base suivante. Cette dernière sera cramponnée à la machine par un prodédé simple et rapide. Il est à noter qu'il est possible de standardiser l'outillage même. Néanmoins, dans bien des cas, il sera beaucoup plus coûteux de modifier l'outillage que de produire une série de bases identiques.

ETAPE 2: Eliminer si possible les opérations d'ajustement.

Les opérations directement liées aux ajustements de la machine font partie du réglage interne dans la plupart des cas. De plus, les temps d'ajustement représentent une fraction considérable du temps de réglage interne. Il est donc essentiel de porter une attention toute particulière aux opérations d'ajustement. Une première étape vise à abandonner toutes les actions basées sur l'intuition ou l'expérience de l'opérateur. Lorsque cela est nécessaire, on doit intégrer un calibre à la machine (réglette graduée, appareil digital, etc,).

Une méthode visant à éliminer l'ajustement a été décrite dans la section ETAPE 1 (b). En utilisant une pièce intermédiaire entre l'outillage et la machine, on élimine entièrement l'étape d'ajustement puisque la machine est déjà ajustée pour recevoir cette pièce standard.

Dans bien des cas, une méthode plus simple et moins coûteuse peut être employée pour diminuer le temps consacré à l'ajustement. Notamment, l'emploi d'arrêts mécaniques pour prédéterminer certaines positions.

Une bonne solution serait que l'outillage se positionne automatiquement sur la machine au moment de la dépose. Pour y arriver, l'équipement doit être modifié de façon à réduire à une seule l'ensemble des opérations actuelles d'ajustements. Cette méthode requiert un investissement plus ou moins considérable selon la nature de l'équipement et la complexite des opérations d'ajustement.

4.3.3 Généralités

- S'assurer que l'espace requis pour déplacer les composantes majeures est disponible, ceci pour permettre l'échange d'équipement le plus rapidement possible.

- Eliminer si possible les étapes qui requièrent l'utilisation d'un camion élévateur ou d'un palan. Normalement, on doit attendre que ceux-ci soient libres.

- Nettoyer l'outillage et l'outillage de réglage après chaque usage. De cette façon tout est prêt pour le prochain réglage.

- Améliorer les méthodes de manutention.

- Considérer la possibilité d'effectuer des opérations en parallèle. Ces opérations en parallèle impliquant plus d'un opérateur sont utiles pour accélérer le temps de réglage interne. Le temps de réglage est réduit de plus de sa moitié (pour deux opérateurs) grâce à une économie de mouvements. Ainsi, si un opérateur est placé devant et l'autre derrière la machine, ceux-ci n'ont plus à la contourner. Quand plus d'un opérateur participent à l'opération de réglage, on doit tenir compte d'un facteur très important: la sécurité. Chaque action exécutée par l'un des employés doit déclencher un signal aux autres employés.

- Améliorer les méthodes de fixation. Le temps requis pour effectuer le réglage est directement lié aux méthodes employées pour fixer l'outillage à la machine. Les éléments de fixation les plus employés sont les attaches filetées (boulon, écrou, vis). Les deux principaux avantages de cet emploi sont leur grande puissance pour retenir les deux pièces ensemble ainsi que le peu d'espace qu'elles occupent pour effetuer la fixation. Cette solution est satisfaisante pour attacher de façon permanente deux pièces. Autrement, lorsqu'on doit détacher régulièrement l'outillage de la machine, cette méthode compte beaucoup de désavantages. D'abord, lorsque l'opération de vissage ou de dévissage est effectuée de manière brusque, ou lorsque la saleté se loge entre les filets, ceux-ci sont abimés. On doit les

remplacer fréquemment, et cela, généralement durant le réglage interne. Ensuite, l'opération de vissage demande une certaine précision de la part de l'opérateur et dépend partiellement de son aptitude. Cela va à l'encontre des concepts de base mentionnés à l'étape 2. De plus, on a recours à des outils pour visser ou dévisser, et ceux-ci ont souvent été empruntés, volés ou perdus. On doit donc les chercher ou les remplacer. Finalement, c'est seulement le dernier tour d'un boulon, d'un écrou ou d'une vis qui fixe réellement les deux pièces ensemble. Inversement, le premier tour est suffisant pour desserer le tout. Si un boulon compte quinze tours (trente demi-tours), quatorze tours sont effectués pour rien. Il est donc préférable d'avoir recours à une autre méthode pour fixer temporairement deux pièces ensemble.

- Dans la recherche de nouveaux procédés d'attaches, on doit considérer deux choses; primo, fixer les pièces ensemble en deux mouvements au plus; secondo, éliminer si possible l'outillage .

Méthodes améliorées:

Méthode du trou en forme de poire

Avec cette méthode, il n'est pas nécessaire de retirer l'écrou du boulon. On désserre d'abord les pièces en tournant un tour. Ensuite on déplace l'outillage de manière à aligner l'axe des

boulons avec l'axe de la partie circulaire de la cavité. Finalement, on retire l'outillage sans avoir à dévisser l'écrou. Cela est possible puisque le diamètre du trou est supérieur au diamètre extérieur de l'écrou.

Méthode du joint en forme de "U"

Comme pour la méthode précédente, il n'est pas nécessaire de retirer l'écrou. On dévisse d'un tour l'écrou. On retire ensuite le joint en forme de "U". De là, on soulève l'outillage. Cela est possible puisque le diamètre extérieur de l'écrou est plus petit que le diamètre du trou. Pour terminer, on dépose la nouvelle matrice sur la machine, on replace le joint, et on visse d'un demi-tour.

Méthode des filets taillés

Un boulon est divisé en trois sections par des rainures taillées dans le sens de sa longueur. De façon similaire on taille des rainures dans les filets de la pièce femelle. On aligne les crêtes de la pièce mâle avec les rainures de la pièce femelle, on glisse dans cette dernière le boulon et on visse d'un tiers de tour. Il est à noter que pour conserver la même surface de contact, la pièce femelle employée est plus longue que celle employée antérieurement.

4.4 APPLICATION

4.4.1. Introduction

Les presses mécaniques occupent la part la plus importante du parc des machines destinées au travail des métaux en feuilles. Ceci parce qu'elles permettent d'effectuer tous les types de travaux (découpage, pliage, emboutissage, poinçonnage, etc.). L'importance de ces machines dans les ateliers de fabrication explique pourquoi il est intéressant de consacrer une partie de cet ouvrage à l'étude d'une presse mécanique . De plus, l'intervalle de temps requis pour changer la matrice d'une presse et pour effectuer tous les ajustements nécessaires, est en général beaucoup plus long que l'intervalle de temps requis pour effectuer le réglage de la plupart des autres types d'équipement.

La présente section inclut quelques définitions, une description de la machine et du réglage actuel, ainsi qu'une liste des changements apportés pour réduire le temps de réglage.

4.4.2 Définitions

4.4.2.1 Outil (die): La partie détachable de l'équipement qui sert à travailler le métal.

4.4.2.2 Table de presse: La section qui reçoit la partie inférieure de l'outil

4.4.2.3 Coulisseau: La partie mobile de la machine animée d'un mouvement alternatif

4.4.3 Fonctionnement

Cette machine est formée d'un bâti et d'un ensemble mobile qui anime le coulisseau d'un mouvement rectiligne. C'est un système bielle-manivelle qui imprime le mouvement au coulisseau. Un volant d'inertie installé sur l'arbre emmagasine l'énergie E1 et en cède une quantité E2 pendant l'opération de formage ce qui se traduit par un ralentissement du volant. Au début de l'opération suivante le volant doit avoir récupéré la totalité de l'énergie dépensée. Pour des raisons d'économie d'énergie et de temps, le volant de la presse tourne en permanence, donc la mise en mouvement et l'arrêt du coulisseau passent obligatoirement par l'utilisation d'un embrayage et d'un frein. L'alimentation de l'outil en matière première est réalisée à partir de bobines.

4.4.4 Le réglage actuel

Le réglage actuel compte quatre étapes:

1 - Changement de matrice

2 - Positionnement de la matrice

3 - Ajustement de la longueur de coupe

4 - Ajustement de la hauteur du coulisseau.

1. Changement de matrice

Lorsque la machine est arrêtée, on enlève la matrice à l'aide d'un chariot élévateur à fourches, et on l'amène au point de stockage. On embarque la matrice suivante et on vient la déposer sur la table de presse. Un préposé à la manutention exécute cette opération tandis que l'opérateur nettoie la machine (huile, copeaux, etc.). Le temps requis pour dévisser les quinze (15) boulons de trois (3) grosseurs différentes et de retirer les écrous est d'environ douze (12) minutes. le temps requis pour retirer la matrice, l'amener au point de stockage, ramener le nouvel outil et venir le déposer sur la table de presse est d'environ huit (8) minutes. Cette première étape demande donc au total environ vingt (20) minutes.

2. Positionnement de la matrice

La mise en position de la matrice (3 min.) ainsi que sa fixation à la machine sont des opérations qui requièrent environ quinze (15) minutes. Comme mentionné précédemment on utilise trois (3) types de boulons et en conséquence, l'emploi de plus d'un outil est requis pour fixer la matrice.

3. Ajustement de la longueur de coupe

Pour ajuster la longueur de coupe, on exécute une série d'essais. D'abord on ajuste à l'oeil la machine. On coupe une première fois et on compare la longueur de la pièce coupée avec celle d'une pièce modèle. On ajuste et on recommence le test de cette manière jusqu'à ce que la longueur soit bonne. Le temps requis pour ajuster cette longueur de coupe est d'environ cinq (5) minutes.

4. L'ajustement de la hauteur du coulisseau

Tout comme dans le cas de l'ajustement de la longueur de coupe, la méthode actuelle fait appel à une série d'essais. Il n'est pas rare que l'ajustement compte cinq ou six essais. La position inférieure du coulisseau doit permettre le poinçonnage ainsi que les travaux de pliage. Le temps requis pour effectuer cet ajustement est d'environ cinq (5) minutes. Le réglage est terminé lorsqu'un blocage final d'une durée d'environ une (1) minute est exécuté.

La durée totale du réglage est d'environ quarante-six (46) minutes soit 20+15+5+5+1. Il est à noter que certaines pièces, notamment les "black plates", doivent passer par deux matrices différentes et que ceci entraîne fréquemment deux réglages à l'intérieur d'un même cycle de fabrication. Dans ce cas, le temps de réglage n'est pas de quarante-six (46) minutes mais bien d'environ une (1) heure et demie. Actuellement, l'ensemble des opérations de réglage est effectué lorsque la machine est arrêtée. Il s'agit donc uniquement d'un réglage interne.

Dans la présente étude l'attention est portée particulièrement sur les deux premières étapes du réglage actuel, celles-ci représentant 76% du temps total. Des changements simples et peu coûteux sont proposés pour réduire les temps de réglage de ces deux étapes. En ce qui concerne l'aspect ajustement des deux dernières étapes du réglage actuel, les changements possibles sont plus complexes et coûteux et, de ce fait, moins intéressants.

Si on se ramène à la méthode de réduction des temps de réglage décrite dans la section 4.3. du présent ouvrage, l'étape concernée par cette étude est l'étape 1 soit la séparation du réglage externe et du réglage interne ainsi que la conversion du réglage interne en réglage externe. Il est important de mentionner à nouveau que l'objectif de cette première étape est de minimiser le temps de réglage interne.

4.4.5 Changements apportés

L'emploi d'une liste de vérification est recommandé afin de s'assurer que tout ce qui est nécessaire à l'échange des matrices soit sur place lorsque la machine est arrêtée. Ceci inclut la matière servant à fabriquer les prochaines pièces, l'outillage de réglage, ainsi que la nouvelle matrice requise. On peut minimiser le temps requis pour échanger les deux matrices en monopolisant deux chariots élévateurs au lieu d'un seul durant une courte période de temps. Quelques minutes avant la fin du cycle de travail, un premier chariot est employé pour aller chercher la nouvelle matrice à l'endroit de stockage approprié et l'amener à proximité de la machine. Lorsque la machine est arrêtée, on dévisse les écrous et on retire la matrice actuellement sur la table de presse à l'aide d'un deuxième chariot. pendant qu'on ramène la matrice précédente au point de stockage, un second employé dépose la nouvelle matrice et commence immédiatement le réglage. Dès que le cycle de travail est terminé et que la machine s'arrête, un employé se voit assigner la tâche d'échanger les bobines de matière première sur la machine d'alimentation. Cette opération devra être effectuée parallèlement au réglage interne de façon à minimiser les temps de réglage interne. Suite à ces changements simples, le temps requis pour échanger les matrices passe de huit (8) minutes à moins d'une (1) minute de réglage interne.

Chaque machine doit posséder l'outillage de réglage nécéssaire à l'ensemble des opérations pouvant être effectuées. Ceci pour ne pas avoir recours à l'emprunt de l'outillage, évitant une perte de temps causée par la recherche du bon objet. L'emploi d'un seul type et d'un seul format de boulons pour éviter les changements fréquents de l'outillage de réglage est recommandé. De plus il est nécéssaire de garder quelques boulons et écrous à portée de la main de façon à minimiser le temps d'échange lorsqu'un remplacement est requis. Une méthode simple visant à réduire les temps de vissage et de dévissage consiste à raccourcir la longueur de la section filetée sur les boulons. Par exemple: au lieu de tourner quinze (1) tours, l'employé tourne quelques trois (3) ou quatre (4) tours. Compte tenu de tous ces changements et du fait que le réglage compte quinze (15) boulons à visser et dévisser, le temps requis pour l'opération de dévissage lors du changement de matrice passe de douze (12) minutes à environ trois (3) minutes. De même, l'opération de vissage pour fixer la nouvelle matrice sur la table de presse sera réduite dans les mêmes proportions. Le temps requis pour visser passera de douze (12) minutes à environ trois (3) minutes.

En résumé, suite à tous les changements apportés, le temps requis pour effectuer l'étape 1 du réglage passe de vingt (20) minutes à quatre (4) minutes soit une réduction de (20-4)/20 = 80%. De même le temps de réglage de l'étape 2 passe de quinze (15) minutes à six (6) minutes soit une réduction de (15-6/15 = 60%.

4.5 CONCLUSION

Il est possible, suite à des changements simples et peu coûteux, de réduire de plus de sa moitié le temps de réglage d'une presse mécanique.

L'approche systématique décrite dans cet ouvrage est générale et s'applique à tous les types de machines.

L'objectif premier de cette approche est de minimiser les temps de réglage interne. Il est donc important de séparer le réglage externe du réglage interne.

Cette approche est un bon outil servant à guider l'agent dans son étude en vue de réduire les temps de réglage d'une machine.

CHAPITRE 5 : PLANIFICATION DE LA PRODUCTION ET EQUILIBRAGE DES CELLULES DE FABRICATION

5.1 PLANIFICATION DE LA PRODUCTION

5.1.1 PLANIFICATION PERIODIQUE

A partir des prévisions de vente on détermine les quantités de chaque produit à assembler durant la période de production à venir (1 mois chez Toyota). Par explosion de la nomenclature des produits on en déduit les quantités de chaque composante à fabriquer. Ce plan de production est distribué dans toutes les cellules de fabrication afin de permettre aux contremaîtres de planifier leurs besoins en termes de machines et de main-d'oeuvre et d'équilibrer leur cellule respective.

5.1.2 PLANIFICATION QUOTIDIENNE

Pour déterminer la quantité quotidienne de chaque produit à assembler on calcule une moyenne de pièces à produire par jour de manière à satisfaire la demande mensuelle.

Il est intéressant de noter que ce plan quotidien de production est remis uniquement aux unités d'assemblage. Les contremaîtres à la fabrication ayant déjà planifié le nombre d'hommes et de machines requis sont prêts à réagir à la demande de l'assemblage et ont nul besoin de savoir à l'avance l'ordre dans lequel les pièces doivent être fabriquées.

Tel que mentionné précédemment, c'est à l'assemblage qu'on détermine la cadence de production. Pour une production uniforme des composantes, on recherche une séquence d'assemblage particulière telle que la consommation des composantes soit la plus uniforme possible (l'approche "Goal Chassing").

La section qui suit porte sur l'équilibrage des cellules de fabrication à partir du plan mensuel.

5.2 EQUILIBRAGE DES CELLULES DE FABRICATION

L'objectif premier est d'équilibrer le rythme de sortie de chaque composante avec le taux de consommation de l'assemblage. C'est à partir de ce principe qu'on détermine le temps de cycle de chaque cellule de fabrication. Une fois le temps de cycle connu on équilibre la cellule de telle sorte que chaque poste ait un temps d'opération le plus rapproché possible du temps de cycle.

Selon la théorie juste-à-temps on fait varier le nombre d'employés dans chaque cellule selon que la demande est plus ou moins élevée. On équilibre la cellule chaque fois qu'un changement de production le requiert. L'expérience démontre que les opérations peuvent continuer sans équilibrage si le temps de cycle ne varie pas plus de 10% (ref. 6).

Généralement, on retrouve de un à six ouvriers dans une même cellule (ref. 6). Lorsque nécéssaire pour parvenir à un meilleur équilibrage, les machinistes se partagent la tâche sur une ou plusieurs machine(s). L'ouvrier se déplace d'une machine à une autre avec une pièce à la fois. Le temps de cycle de la cellule dépend de la vitesse à laquelle les ouvriers complètent leurs tâches et retournent à leur position initiale pour alimenter une nouvelle pièce.

Plusieurs composantes sont fabriquées par les machinistes d'une cellule. Certaines pièces ne requièrent pas toutes les machines regroupées dans la cellule. Il est toutefois préférable que chaque pièce à fabriquer demande environ le même temps de fabrication. Dans le cas contraire on doit prévoir un équilibrage supplémentaire pour chaque type de pièces qui le requiert. De plus, on souhaite inclure le plus possible de pièces semblables dans la cellule. On envisagera donc une solution qui regroupe des composantes relativement semblables et en nombre important.

La cellule "3" traîtée pour la première fois dans le chapitre 3 est citée à titre d'exemple dans la section qui suit. Cette section consiste en une application de la théorie juste-à-temps sur l'équilibrage des cellules de fabrication.

5.3 APPLICATION

La cellule "3" servant ici à titre d'exemple compte cinq types de machines. On a identifié (chapitre 3) vingt-quatre composantes à fabriquer dans cette cellule. En se basant sur les prévisions mensuelles on détermine les quantités de composantes à fabriquer à chaque mois et enfin à chaque jour.

Les vingt-quatre composantes appartiennent en fait à trois groupes de pièces similaires : le groupe 1 est formé de huit pièces qui requièrent les machines 10, 14, 19 et 22 tandis que le groupe 2 qui requiert les cinq machines compte six pièces et le groupe 3, enfin, compte dix pièces faisant usage des machines 8, 10, 14 et 19. Les temps de réglage des machines 8, 10, 14, 19, et 22 sont de 4, 1, 0.2, 2, et 1 minute(s) respectivement. Les temps d'opération varient selon le groupe auquel appartient la pièce en cours de fabrication. On trouve les quantités à fabriquer au tableau 5.1 page 64.

Compte tenu des temps de réglage qui sont relativement élevés on choisit de fabriquer les quantités quotidiennes en une seule fois et non une pièce à la fois. Par exemple la quantité de pièce numéro 13 à produire est de vingt unités par jour, et on produit ces 20 unités une à la suite de l'autre. On fabrique donc par contenant de 20 unités dans le cas de cette composante. Lorsqu'il reste que quelques pièces dans le contenant, on fabrique de nouveau l'équivalent d'un contenant de la composante 13. On fonctionne de la même façon pour les autres composantes de la cellule. Les contenants pleins sont déposés près de la section d'assemblage et les pièces sont disponibles selon le besoin. Cette solution respecte les principes du "pure pull" dans ce sens que c'est à l'assemblage qu'on détermine le moment où on doit fabriquer à nouveau un contenant de telle ou telle pièce. Tenant compte des besoins quotidiens (tableau 5.1) et des temps de production on calcule les besoins en main-d'oeuvre et en machines.

PREVISIONS

GROUPE 1

	DEMANDE MENSUELLE	DEMANDE QUOTIDIENNE
13	400	20
14	600	30
18	200	10
21	200	10
32	200	10
33	150	8
36	400	20
57	200	10
	TO	118

GROUPE 2

	DEMANDE MENSUELLE	DEMANDE QUOTIDIENNE
31	200	10
72	100	5
84	300	15
86	400	20
87	600	30
94	500	25
	TO	105

GROUPE 3

	DEMANDE MENSUELLE	DEMANDE QUOTIDIENNE
81	300	15
82	300	15
85	150	8
89	200	10
92	400	20
93	400	20
95	500	25
96	200	10
97	300	15
98	300	15
	TO	153

Tableau 5.1

Se référant aux tableaux 5.2 et 5.3 on constate que les opérations effectuées sur la machine de type 8 requièrent 1096 minutes de travail. On a donc besoin de trois machines de type 8 pour arriver à satisfaire la demande d'une journée de 400 minutes. On emploie trois personnes presque toute la journée sur ces trois machines (1096 min. / 400 min. = 2.7). Les opérations effectuées sur les autres machines requièrent moins de 400 minutes de travail par type de machine. Une machine de chaque modèle est donc plus que suffisante pour répondre à la demande. Le temps total requis pour produire toutes les pièces est de 1662.5 minutes. Sur ces 1662.5 minutes, 1096 minutes sont employées sur les trois machines de type 8. Il reste donc 567 minutes de travail associé aux machines 10, 14, 19 et 22. On requiert en moyenne 1.4 machinistes (567 min. / 400 min.) pour se partager les opérations sur les quatre machines. La cellule compte donc sept machines et 5 opérateurs. La figure ci-dessous représente l'aménagement suggéré de la cellule.

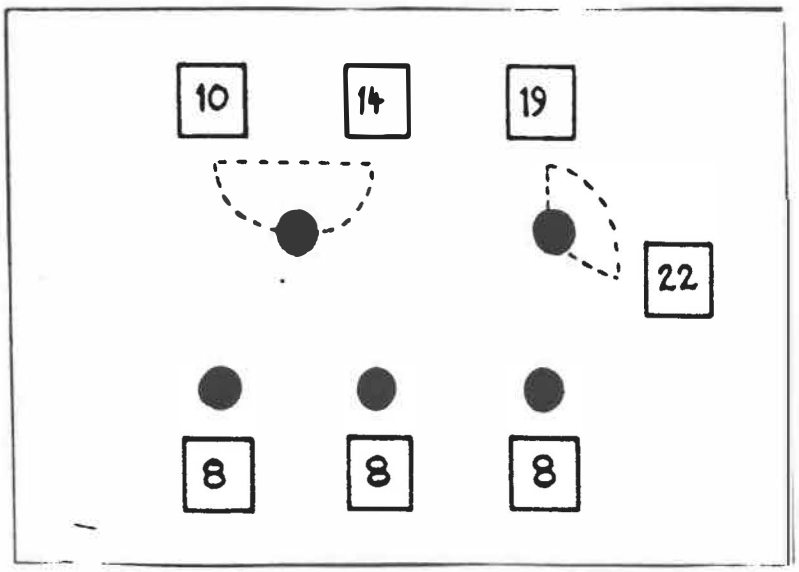


FIGURE 5.1

TEMPS DE FABRICATION

GROUPE 1

Machine	temps de reglage	temps d'operation	temps total
10	1 min. X 8 lots	.2 min. X 118 unites	31.6 min.
14	.2 min. X 8 lots	.5 min. X 118 unites	60.6 min.
19	2 min. X 8 lots	.5 min. X 118 unites	75.0 min
22	1 min. X 8 lots	.2 min. X 118 unites	31.6 min.
		TOTAL :	198.8 min.

GROUPE 2

Machine	temps de reglage	temps d'operation	
8	4 min. X 6 lots	4 min. X 105 unites	444.0 min.
10	1 min. X 6 lots	.3 min. X 105 unites	37.5 min.
14	.2 min. X 6 lots	.4 min. X 105 unites	43.2 min.
19	2 min. X 6 lots	.5 min. X 105 unites	64.5 min.
22	1 min. X 6 lots	.3 min. X 105 unites	37.5 min.
		TOTAL :	626.7 min.

GROUPE 3

Machine	temps de reglage	temps d'operation	
8	4 min. X 10 lots	4 min. X 153 unites	652.0 min.
10	1 min. X 10 lots	.2 min. X 153 unites	40.6 min.
14	.2 min. X 10 lots	.4 min. X 153 unites	63.2 min.
19	2 min. X 10 lots	.4 min. X 153 unites	81.2 min.
		TOTAL :	837.0 min.

Tableau 5.2

TEMPS PAR MACHINE	
Machine	temps total
8	1096.0 min.
10	109.7 min.
14	167.0 min.
19	220.7 min.
22	69.1 min.
TOTAL :	1662.5 min.

Tableau 5.3

L'étape qui suit consiste à déterminer le temps de cycle des opérateurs. Pour les opérateurs de machine 8 qui ont 105 pièces du groupe 2 et 153 pièces du groupe 3 à produire, chaque opérateur doit fabriquer (105 + 153 / 3 machines) 86 unités par jour. Le temps de cycle est de 400 minutes / 86 unités = 4.65 minutes. L'étape finale consiste à répartir les tâches effectuées sur les machines 10, 14, 19 et 22 entre les deux employés. Lorsqu'on fabrique une pièce appartenant au groupe 1, la situation est simple. L'employé 1 opère les machines 10 et 14 (total de 0.7 min.) tandis que l'employé 2 opère les deux autres machines (0.7 min.). Cependant, lorsqu'on fabrique une pièce appartenant au groupe 2 ou 3, il est plus difficile de répartir également les temps d'opération en parts égales. Conséquemment, il est souhaitable d'employer une autre méthode pour équilibrer la cellule. L'employé peut, par exemple, visiter les quatre machines avec une même pièce. Dans ce cas, les deux

machinistes effectuent exactement les mêmes tâches. Il s'agit désormais de synchroniser les activités plutôt que de répartir les tâches. On retrouve cette synchronisation en annexe D, à la fin de cet ouvrage. Un des avantages d'une telle approche est le peu d'espace requis entre les machines. On ne fait pas circuler le contenant mais bien une pièce à la fois. Le contenant se trouve en fin de ligne et lorsqu'il est plein, on fabrique un autre type de pièce. De plus, l'employé #2 ne doit plus attendre que l'employé #1 ait complété un contenant de pièces pour débuter son travail. Comme mentionné en annexe D, le temps de cycle varie selon le type de pièce (groupe 1, 2 ou 3). Les employés ne sont pas occupés 100 % du temps mais rappelons que chez Toyota, on préfère ralentir la production plutôt que de surproduire et ainsi accumuler des stocks. Durant les temps d'arrêt, les machinistes peuvent être chargés, par exemple, à l'entretien général des machines.

Le chapitre suivant porte sur le système "pull" et complète le présent mémoire.

5.4 CONCLUSION

- Il apparaît qu'avec le système juste-à-temps, la planification de la production est très simple. La planification se résume en fait à déterminer à l'avance les besoins de la cellule (hommes, machines) pour la période de production à venir. Nul besoin de tenir compte des délais de fabrication, ceux-ci étant réduits considérablement.

- L'étude de cas présentée dans la section pratique de ce chapitre suggère une production par contenant d'unités plutôt que par unité de manière à minimiser le temps consacré aux réglages. Ceci tenant compte du fait que les temps de réglage sont relativement élevés.

CHAPITRE 6 LA CREATION D'UN SYSTEME "PULL"

6.1 INTRODUCTION ET THEORIE

Ce cinquième et dernier chapitre porte sur la conception d'un système "pull". Dans bien des manufactures on utilise un système de prélèvement "batch-push" (système pousseur) entièrement basé sur les prévisions de ventes. Dans un tel système, on reçoit les matériaux, on les modifie (si nécéssaire), on les assemble, et finalement on les entrepose en attendant de les expédier. On doit aussi entreposer les pièces achetées et les pièces fabriquées.

Au contraire, l'approche juste-à-temps possède un système de prélèvement "demand-pull". Les produits sont assemblés sur demande et immédiatement expédiés. Les composantes sont achetées et fabriquées uniquement lorsque requises à l'assemblage. En d'autres termes, les besoins à l'assemblage contrôlent tous les autres prodédés de production.

Lorsqu'il y a une distance à parcourir entre les divers prodédés, on doit les relier de telle sorte que le flux des matières soit continu. Des cartes ou "kanbans" constitue une bonne connection entre les prodédés. Le système à kanbans informe et contrôle tous les employés de ce qui doit être fait et ce, à quel moment.

Système à deux cartes

Le système kanban tel que développé par Toyota compte deux types de cartes: les kanbans de production (production kanbans) et les kanbans de prélèvement (withdrawal kanbans). Le premier type autorise la production d'un contenant standard de pièces tandis que le second type permet le mouvement d'un contenant d'un point donné à un autre. Le nombre de kanbans détermine le nombre de contenants dans le système.

Système à une carte

Le système à un kanban est le plus commun des deux systèmes. Comme dans le cas du système à deux cartes, le nombre de kanbans détermine le nombre de contenants. Lorsque le contenant est vide, il est ramené à la station précédente avec son kanban, ce qui déclenche la production d'un contenant de pièces.

Le système à une carte permet un contrôle suffisant lorsque une ou quelques pièces sont produites à la station de travail. Le principal avantage d'un système à deux cartes est qu'il permet un contrôle plus complet, notamment sur la priorité des pièces dans la cellule.

Il est à noter que le système à carte(s) ne constitue pas l'unique solution pour synchroniser les différentes aires de production. Dans certains cas le contenant même peut servir de signal. Lorsque le contenant est vide, on produit les pièces en quantité suffisante pour le remplir. Une solution à mi-chemin entre le juste-à-temps et le Plan Besoin Matière (MRP) est dénommée le JRP. Il s'agit d'anticiper les besoins de l'aire d'assemblage et de fabriquer les composants requis à l'avance (1/2 journée par exemple). Ces composantes sont ensuite acheminées vers l'aire d'assemblage par l'intermédiaire d'un système "pull"

La deuxième partie de ce chapitre six cinq consiste en une application visant l'implantation d'un système "pull".

6.2 APPLICATION

Dans le chapitre traitant de la conception d'une ligne d'assemblage, la ligne d'assemblage de la famille "bath bars" est employée à titre d'exemple. Nous reprenons ici ce même exemple pour concevoir un système de synchronisation entre la ligne d'assemblage des produits "bath bars" et la ligne de fabrication des composantes de cette même famille.

Vu la courte distance à parcourir entre la ligne d'assemblage des produits "bath bars" et la ligne de fabrication des composantes "bath bars", l'emploi d'un système Kanban ne semble pas requis. Une meilleure solution serait d'intégrer la ligne de fabrication à la ligne d'assemblage de telle sorte que la fabrication des composantes soit synchronisée avec l'assemblage. Bien que très simple, cette solution est peu pratique pour la présente application. En effet, pour fabriquer les pièces servant à l'assemblage de plusieurs modèles de produits d'un même cycle, on doit effectuer de fréquents réglages. Bien que le temps de réglage ait été réduit de façon considérable (chap.4), un changement de matrice très fréquent ne peut être envisagé.

Une deuxième solution se situe à mi-chemin entre le juste-à-temps et le plan besoin matière (MRP: Material Requirement Planning). Un système "pure pull" semble difficilement applicable ici. Toutefois, l'on souhaite réduire le niveau des stocks. Connaissant la demande en unités de produits disons dans la demi-journée qui suit, on détermine les besoins en composantes et on les fabrique peu de temps à l'avance. On doit tenter de minimiser le nombre de réglages lors de la fabrication des composantes. On regroupe donc les pièces qui sont fabriquées par le même outil et à partir du même matériau. Ces pièces sont ensuite fabriquées en série. Finalement, les pièces sont amenées en tête de ligne à l'assemblage juste-à-temps pour le début de l'assemblage.

On sait que la demande en "bath bars" est de 42 unités par jour pour les produits A, B, C, D et E (31230-10, 3123-15, 3298-10, 3299-10 et le produit fictif respectivement). On doit fabriquer les composantes requises pour l'assemblage de 6A, 12B, 9C, 6D et 9 unités de type E. Si on produit ces composantes quelques heures avant leur utilisation, un petit espace de stockage est nécessaire durant la période d'attente. Toutefois, cet espace n'est pas comparable avec l'espace nécessaire à l'entrepôsage de tous les "couvercles" et les "dos" dans l'entrepôt central.

On a donc obtenu une réduction considérable des stocks (en-cours et finis). De plus, l'emplacement des composantes directement sur la ligne sans séjourner dans l'entrepôt central contribue à réduire la manutention. Conséquemment, il apparaît possible d'implanter un système Juste-à-temps dans une PME et d'obtenir les résultats escomptés.

6.3 CONCLUSION

Les principales différences entre un système "push" et un système "pull" sont que le premier est contrôlé par prévisions de ventes et caractérisé par une accumulation de stocks tandis que le second est beaucoup plus flexible et tend vers un inventaire zéro.

Lorsqu'une petite manufacture possède une très grande variété de produits et de composantes, en petites quantités, il est plus pratique d'y implanter un système "pure pull" adapté.

L'emploi de kanbans n'est pas l'unique solution lors de la conception d'un système "pull".

Une gestion de la production à mi-chemin entre le "juste-à-temps" et le "MRP" constitue une solution pour la petite/moyenne entreprise.

CONCLUSION GENERALE

Il est possible suite à des changements simples et peu coûteux de réduire le niveau des stocks ainsi que la manutention et ce, dans une petite/moyenne entreprise manufacturière produisant une grande variété de produits, en petites quantités.

La synchronisation des diverses ligne de production se fait à partir de la ligne d'assemblage. Il est donc essentiel que l'assemblage réflète bien le profil de la demande en produits finis si on souhaite obtenir une réduction considérable des stocks tant en produits finis qu'en produit en-cours.

On peut obtenir une réduction des stocks ainsi qu'une bonne syncronisation des différentes lignes de production et ce, sans l'emploi d'un système à Kanbans.

Cette étude a permis de revoir une implantation d'usine qui n'avait pas été mise à jour depuis plusieurs années.

Lorsque la PME manufacturière offre une grande variété de produits, il est recommandé de considérer uniquement les composantes et produits à demande élevée dans un premier temps. De même, il est recommandé de conserver un espace aménagé par procédé pour le traitement des pièces "exceptions". Ceci a pour but de simplifier l'implantation du système juste-à-temps.

Suite à l'implantation de lignes d'assemblage dédiées, de lignes ou cellules de fabrication dédiées ainsi qu'à une réduction des temps d'attentes, on observe une réduction des niveaux de stocks (produits finis et en-cours), une réduction de la manutention ainsi qu'une simplification de la planification et du contrôle de la production. L'implantation de cellules de fabrication requiert possiblement l'achat de machines supplémentaires. Dans la situation traîtée ici, l'achat de quelques machines est requis. il s'agit toutefois de machines très simples demandant un investissement de moins de $5,000 chacune. En conséquence, on obtient nécessairement un gain réel suite à l'implantation du juste-à-temps.

BIBLIOGRAPHIE

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

2. Arn, E.A., "Group Technology". Springer-Verlag, New York. (1975).

3. Burbridge, J.L., "The Introduction of Group Technology". Heinemann, London. (1975)

4. Edwards, G.A.B., "The family Grouping Philosophy". Int.J.Prod.Res., vol.9, no.3, pp.337-352. (1971).

5. Finch, B.J., Cox, J.P., "An Examination of Just-in-time Management for the Small Manufacturer : with an Illustration". Int.J.Prod.Res., vol.24, no.2, pp.329-342. (1986).

6. Hall, R.W., "Zero Inventories". Dow Jones Irwin, Homewood, Ill. (1983).

7. Hay, B.J., "Any Machine Setup Time Can Be Reduced by 75%". Industrial Engineering, pp.62-67. (August 1987).

8. Kim, P., "Just-in-time Manufacturing System : A Periodic Pull System". Int.J.Prod.Res., vol.23, no.3, pp.553-562. (1985).

8a King, J.R., Nakornchai, V. "Machine-component Group Formation in Group Technology : Review and Extension"...

9. Knayer, M., "Group Technology : A New Approach to Manufacturing". Industrial Engineering, pp.23-27. (September 1970).

10. Kusiak, A., "An Expert System for Group Technology". Industrial Engineering, pp.56-61. (October 1987).

11. Kusiak, A., "Efficient Solving of the Group Technology Problem". Journal of Manufacturing Systems, vol.6, no.2, pp.117-124. (1984).

12. Kusiak, A., "The Generalized Group Technology Concept". Int.J.Prod.Res., vol.25, no.4, pp.561-569. (1987).

13. Monden, Y., "Toyota Production System. Practical Approach to Production Management". Industrial Engineering & Management Press, Japan. (1979).

14. Nisanci, I., Nicoll, A.D., "Project Planning Network is Integrated Plan for Implementing Just-in-time". Industrial Engineering, pp.50-55. (October 1987).

15. Opitz, H., Wiendahl, H.P., "Group Technology and Manufacturing Systems for Small and Medium Quantity Production". Int.J.Prod.Res., vol.9, no.1, pp.181-203. (1971).

16. Ormsby, J., "Factory Integration Creates State-of-the-art Production Line". Electronics Tests, pp.53-63. (Nov. 1986).

17. Shingo, S., "A Revolution in Manufacturing : the SMED System". Productivity Press, Cambridge. (1985).

18. Suzaki, K., "The New Manufacturing Challenge. Techniques for Continuous Improvement". Arthur Young & Co., The Free Press, New York. (1987).

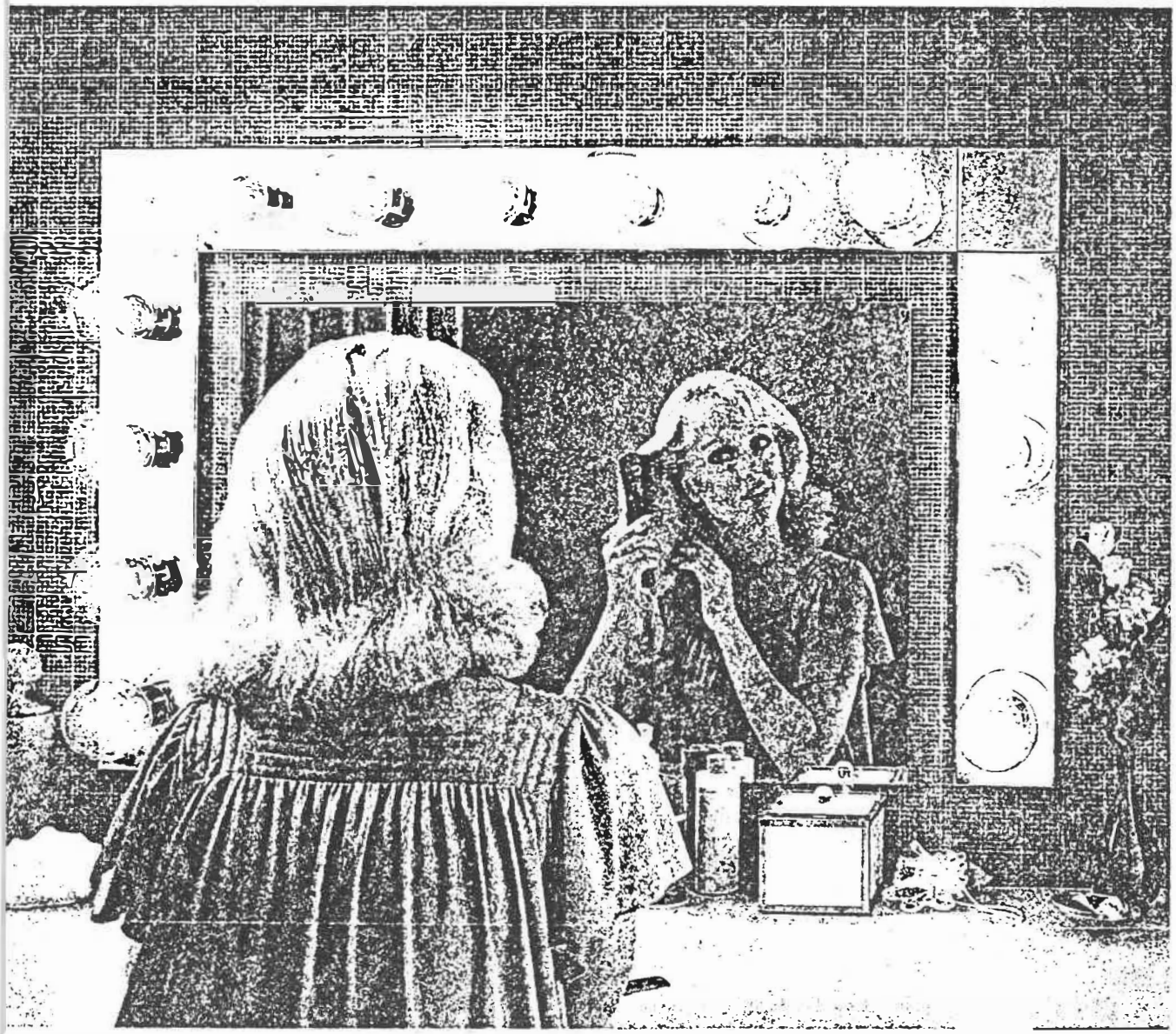
ANNEXE A

roadway Lighting

dway Lighting is one of many ways to beautify your or vanity. Mount them individually — horizontally or ally — or joined together around a mirror. You also can t them over a breakfast counter, frame a bar or ate walls in any room. More suggestions for bath and y lighting are on page 95. These Broadway Lighting strips knockouts so you can connect them in continuous runs ith matching corner accessories, in right angle lations. For continuous run installations, the maximum er of sockets are: 12 sockets with 60w bulbs; 18 sockets 40w bulbs; 30 sockets with 25w bulbs; 50 sockets with bulbs.

L'Eclairage Broadway

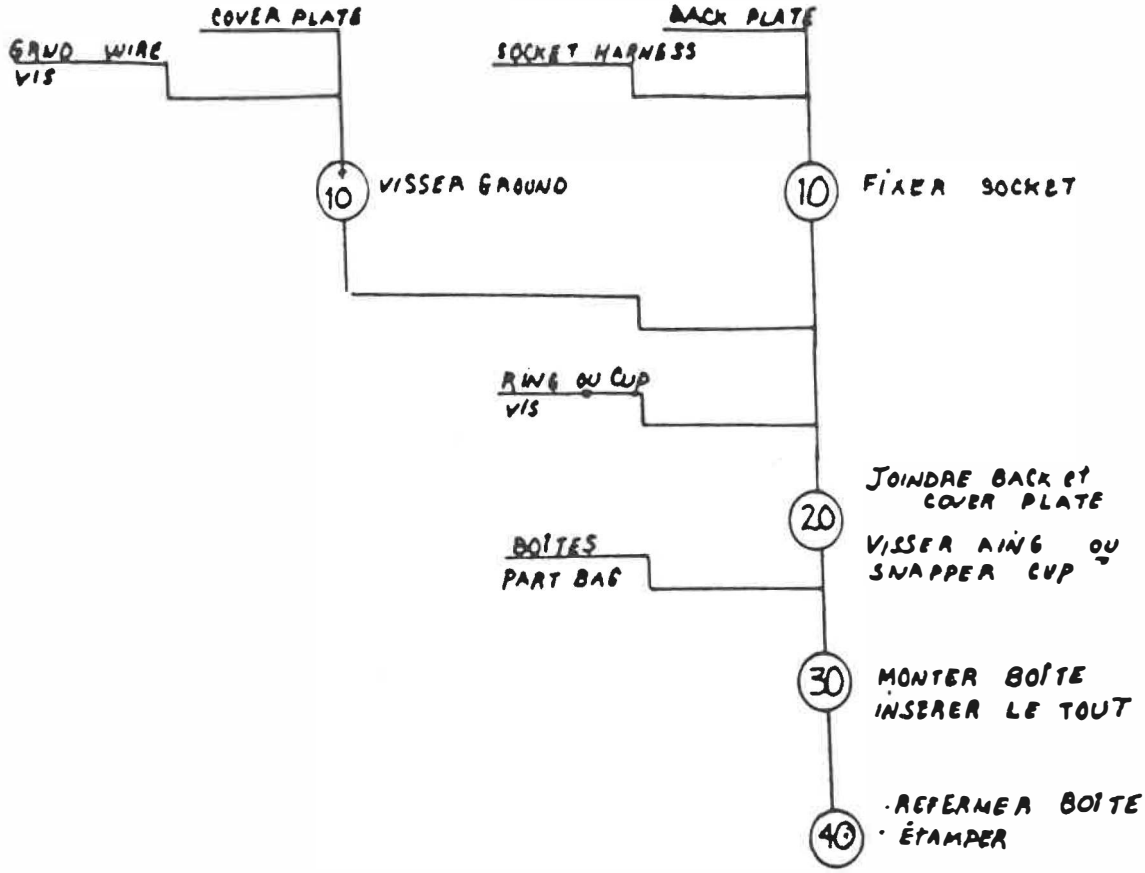
On peut poser ces rampes d'éclairage adaptables soit seules — à l'horizontale ou à la verticale — soit prises ensemble pour encadrer un miroir. Posez-les au dessus du bar, du coin casse-croûte, autour d'une porte ou d'une fenêtre; encadrez une peinture, ornez un mur — les possibilités de création sont quasi illimitées. Les extrémités des rampes sont munies de rondelles amovibles pour le branchement en enfilade ou à angle droit à l'aide des accessoires de coin assortis. Voici le nombre maximum d'ampoules qui peuvent être raccordées à une seule prise de courant: 18 ampoules de 40w; 30 ampoules de 25w; 50 ampoules de 15w. Les feuillets de directives donnent des renseignements complets.

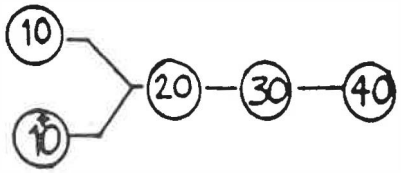


P.3123 . R3230 R3233 P.3300

'BATH BARS'

GRAPHIQUE D'ASSEMBLAGE





GRAPHE D'ANTÉRIORITÉ

ANNEXE B

MATRICE INITIALE

	21	10	19	8	22	14	11	9	15	12	7	13	1	2	3	4
59	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
46	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
50	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
51	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
53	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
68	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
70	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
78	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
37	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
76	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
91	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
30	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
79	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
40	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
99	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
83	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
84	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
94	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
88	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

MATRICE INITIALE (PAGE 2)

89	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
93	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
96	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
98	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
69	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
66	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
62	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
63	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
64	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
65	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
47	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
13	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
57	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
43	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

	59	61	46	55	58	60	49	50	51	53	68	70	78	37	45
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1	0	0	0	2E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	2D	0	0	2A	0
9	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0

	52	56	74	75	76	77	91	71	54	30	79	40	41	42	44
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	2A	0	0	0	0	2B	0	0	0	0	2B	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0

	31	72	84	86	87	94	81	82	85	88	89	92	93	95	96
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	3B	0	0	0	0	0	0	3A	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	97	98	69	66	62	63	64	65	47	48	67	73	80	13	14
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
14	1	1	0	0	0	0	0	2D	0	0	2C	0	0	1	1
11	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	3A	0	2E	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3C	0
15	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0

	18	21	32	33	36	57	43
21	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	0
8	0	0	0	0	0	0	0
22	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	3C	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0

MATRICE DE KING

ANNEXE C

GOAL CHASING

K=1

$$DifA=\frac{(1*6-0-1)}{14}+\frac{(1*2-0-1)}{14}+\frac{(1*4-0-0)}{14}+\frac{(1*4-0-0)}{14}+\frac{(1*8-0-0)}{14}+$$

$$\frac{(1*3-0-0)}{14}+\frac{(1*3-0-0)}{14}+\frac{(1*5-0-0)}{14}+\frac{(1*2-0-0)}{14}+\frac{(1*3-0-0)}{14}+$$

$$=2.1665$$

$$DifB=\frac{(1*6-0-1)}{14}+\frac{(1*2-0-0)}{14}+\frac{(1*4-0-0)}{14}+\frac{(1*4-0-1)}{14}+\frac{(1*8-0-2)}{14}+$$

$$\frac{(1*3-0-0)}{14}+\frac{(1*3-0-0)}{14}+\frac{(1*5-0-0)}{14}+\frac{(1*2-0-0)}{14}+\frac{(1*3-0-0)}{14}+$$

$$=1.8070$$

$$DifC=\frac{(1*6-0-0)}{14}+\frac{(1*2-0-0)}{14}+\frac{(1*4-0-0)}{14}+\frac{(1*4-0-0)}{14}+\frac{(1*8-0-0)}{14}+$$

$$\frac{(1*3-0-1)}{14}+\frac{(1*3-0-1)}{14}+\frac{(1*5-0-0)}{14}+\frac{(1*2-0-0)}{14}+\frac{(1*3-0-0)}{14}+$$

$$=1.4569$$

$$DifD=\frac{(1*6-0-0)}{14}+\frac{(1*2-0-0)}{14}+\frac{(1*4-0-0)}{14}+\frac{(1*4-0-0)}{14}+\frac{(1*8-0-0)}{14}+$$

$$\frac{(1*3-0-0)}{14}+\frac{(1*3-0-0)}{14}+\frac{(1*5-0-1)}{14}+\frac{(1*2-0-1)}{14}+\frac{(1*3-0-0)}{14}+$$

$$=1.4070$$

$$DifE=\frac{(1*6-0-0)}{14}+\frac{(1*2-0-0)}{14}+\frac{(1*4-0-0)}{14}+\frac{(1*4-0-0)}{14}+\frac{(1*8-0-0)}{14}+$$

$$\frac{(1*3-0-0)}{14}+\frac{(1*3-0-0)}{14}+\frac{(1*5-0-1)}{14}+\frac{(1*2-0-0)}{14}+\frac{(1*3-0-1)}{14}+$$

$$=1.3553$$

La différence minimale est obtenue lorsque le produit E est plaçé le premier (K=1) dans le cycle. Les résultats obtenus pour K=2, 3, 4, ect. suivent.

K=2	X8 =1	DIFA= 2.2497
	X10=1	DIFB= 1.4846
		DIFC= 1.9795
		DIFD= 2.3733
		DIFE= 2.5467
K=3	X1 =1	DIFA= 1.8406
	X4 =1	DIFB= 3.0170
	X5 =2	DIFC= 1.2936
	X8 =1	DIFD= 1.9166
	X10=1	DIFE= 2.1946
K=4	X1 =1	DIFA= 1.2936
	X4 =1	DIFB= 2.4411
	X5 =2	DIFC= 2.3212
	X6 =1	DIFD= 1.6782
	X7 =1	DIFE= 2.0603
	X8 =1	
	X10=1	
K=5	X1 =2	DIFA= 3.3258
	X2 =1	DIFB= 1.9795
	X3 =2	DIFC= 2.0504
	X4 =1	DIFD= 1.2206
	X5 =2	DIFE= 1.6660
	X6 =1	
	X7 =1	
	X8 =1	
	X10=1	

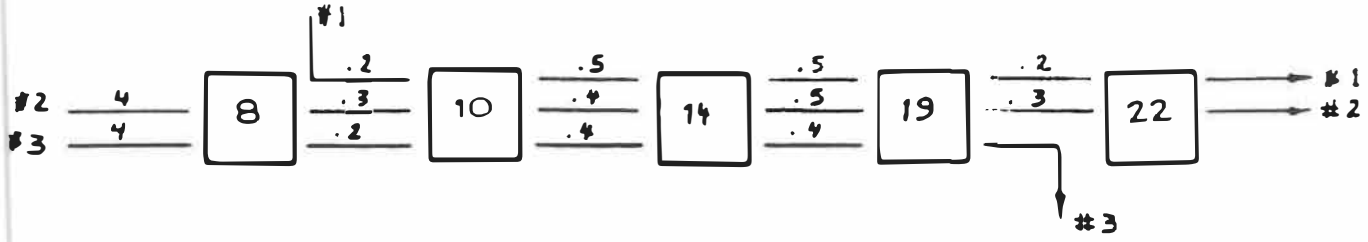
K=6	X1 =2	DIFA= 3.0905
	X2 =1	DIFB= 0.9897
	X3 =2	DIFC= 2.0304
	X4 =1	DIFD= 2.2946
	X5 =2	DIFE= 1.8626
	X6 =1	
	X7 =1	
	X8 =2	
	X9 =1	
	X10=1	
K=7	X1 =3	DIFA= 2.6458
	X2 =1	DIFB= 2.6458
	X3 =2	DIFC= 1.0000
	X4 =2	DIFD= 1.4142
	X5 =4	DIFE= 1.0000
	X6 =1	
	X7 =1	2 CHOIX POSSIBLES
	X8 =2	DISONS E
	X9 =1	
	X10=1	
K=8	X1 =3	DIFA= 2.3561
	X2 =1	DIFB= 2.0304
	X3 =2	DIFC= 0.9897
	X4 =2	DIFD= 1.6721
	X5 =4	DIFE= 2.1665
	X6 =1	
	X7 =1	
	X8 =3	
	X9 =1	
	X10=2	
K=9	X1 =3	DIFA= 4.4470
	X2 =1	DIFB= 1.2206
	X3 =2	DIFC= 2.2812
	X4 =2	DIFD= 1.9795
	X5 =4	DIFE= 2.1524
	X6 =2	
	X7 =2	
	X8 =3	
	X9 =1	
	X10=2	
K=10	X1 =4	DIFA= 1.6429
	X2 =1	DIFB= 2.9207
	X3 =2	DIFC= 1.7613
	X4 =3	DIFD= 1.2936
	X5 =6	DIFE= 1.4983
	X6 =2	
	X7 =2	DERNIER "D"
	X8 =3	
	X9 =1	
	X10=2	

K=11	X1 =4	DIFA= 1.2936
	X2 =1	DIFB= 2.4411
	X3 =2	DIFC= 1.8406
	X4 =3	DIFE= 2.2714
	X5 =6	
	X6 =2	DERNIER "A"
	X7 =2	
	X8 =4	
	X9 =2	
	X10=2	
K=12	X1 =5	DIFB= 1.9795
	X2 =2	DIFC= 1.4846
	X3 =4	DIFE= 1.6660
	X4 =3	
	X5 =6	
	X6 =2	DERNIER "C"
	X7 =2	
	X8 =4	
	X9 =2	
	X10=2	
K=13	X1 =5	DIFB= 1.3553
	X2 =2	DIFE= 1.9962
	X3 =4	
	X4 =3	
	X5 =6	
	X6 =3	
	X7 =3	
	X8 =4	
	X9 =2	
	X10=2	

On obtient donc le cycle suivant :
E-B-C-A-D-B-E-C-B-D-A-C-B-E

Ce cycle est répété trois (3) fois par jour de telle sorte que la production s'élève à quarante-deux (42) unités.

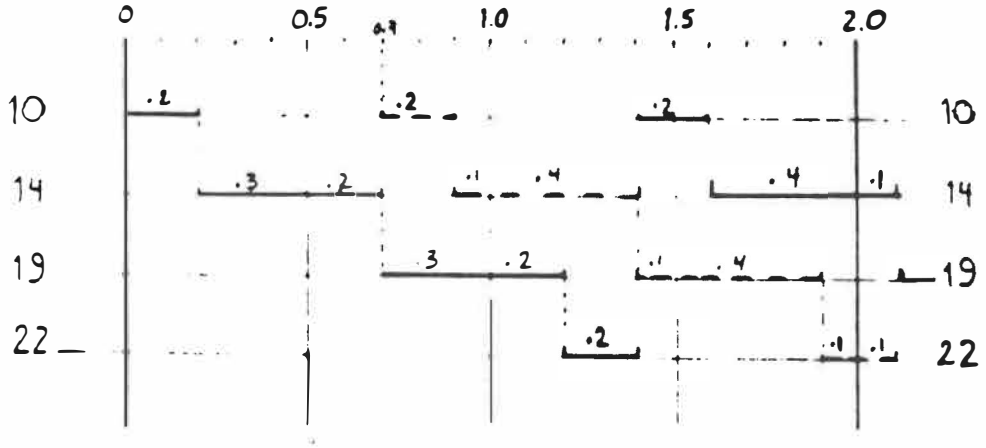
ANNEXE D



PIECES DU GROUPE #1

TEMPS REQUIS : 1.4 MINUTE = .2 + .5 + .5 + .2

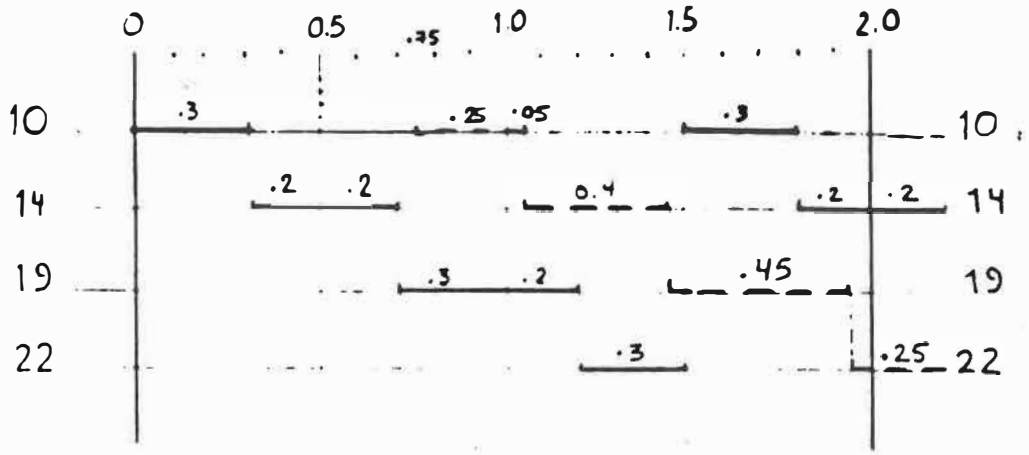
TEMPS DE CYCLE : 1.4 / 2 = 0.7 MINUTE



PIECES DU GROUPE #2

TEMPS REQUIS : 1.5 MINUTE = .3 + .4 + .5 + .3

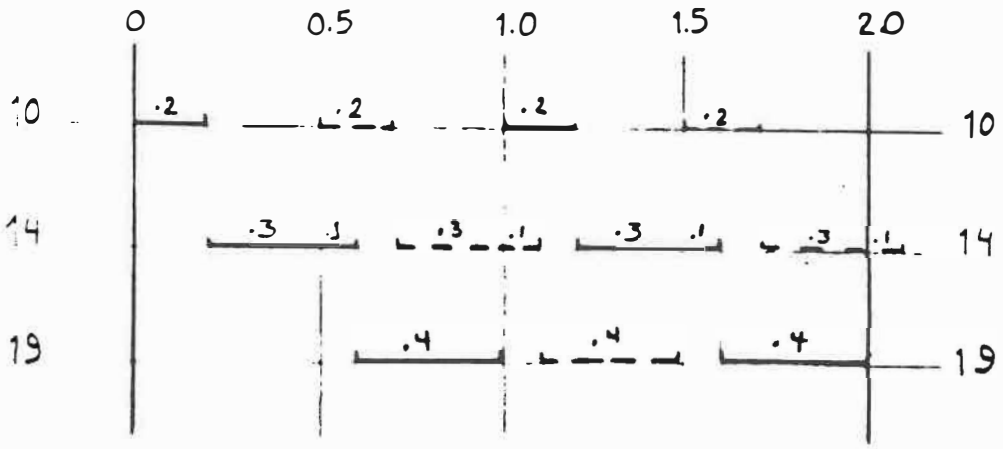
TEMPS DE CYCLE : 1.5 / 2 = 0.75 MINUTE



PIECES DU GROUPE #3

TEMPS REQUIS : 1.0 MINUTE = .2 + .4 + .4

TEMPS DE CYCLE : 1.0 / 2 = 0.5 MINUTE



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
3 9334 00273457 0