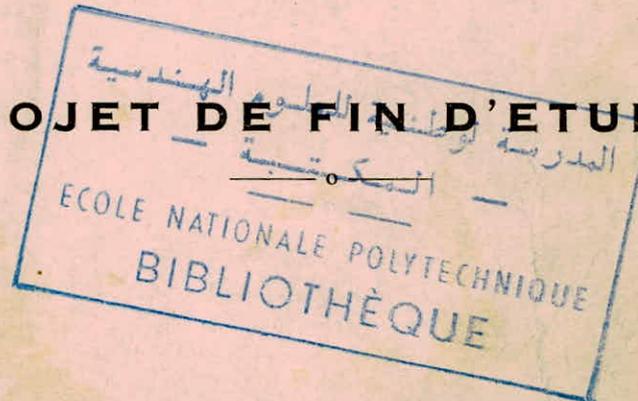


15/75

DEPARTEMENT ECONOMIE

2x

PROJET DE FIN D'ETUDES



MODELE D'ORDONNANCEMENT
DANS UN ATELIER
DE FABRICATION



PROPOSE PAR

M^r. V. DOLIATOVSKI D^r es Sciences

ETUDIÉ Par

TAOUAL Mohamed

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT ECONOMIE

MODELE D'ORDONNANCEMENT
DANS UN ATELIER DE FABRICATION

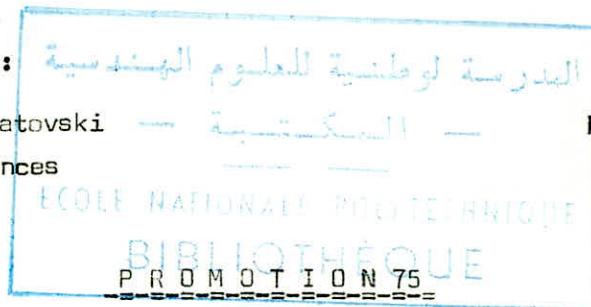
EXCLU DU PRÊT

Proposé par : المدرسة لوطنية للعلوم الهندسية

Etudié par :

M^r. Valéri Doliatovski — المكتبة —
D^r es Sciences

M^r Taoual Mohamed



A MES PARENTS QUI ONT CONSENTI A TANT

DE SACRIFICES POUR MON EDUCATION,

JE DEDIE MA MODESTE ETUDE .

AVANT PROPOS

Je remercie toutes les personnes ayant contribué à ma formation et à l'élaboration de ce projet.

Ma gratitude va aux professeurs de l'école nationale polytechnique et aux responsables de l'unité menuiserie générale de la société nationale des lièges et bois qui ont bien voulu mettre à ma disposition la malgré mon inexpérience

Ma gratitude va plus particulièrement à Monsieur Valéri Doliatovski pour son aide précieuse, ainsi qu'à Monsieur Kartous du service commercial et tous les contremaîtres de l'unité .

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| Introduction | |
| Chapitre I - <u>Analyse du système de production de l'entreprise</u> | |
| 11 caractéristiques générales de l'entreprise | 4 |
| 12 organigramme de l'unité | 6 |
| 13 schéma du processus de transmission de l'information suivie par une commande | 8 |
| 14 problème actuel d'ordonnement | 10 |
| 141 conséquence de l'augmentation du cycle de fabrication sur la situation financière de l'entreprise | |
| 142 position du problème | 13 |
| Chapitre II - <u>Analyse du processus technologique</u> | 16 |
| 21 processus technologique | |
| 211 graphe de la structure technologique | |
| 212 différentes phases de production | 18 |
| 22 organisation de la production | 21 |
| 221 liaisons entre les sections de bases | |
| 222 organisation au niveau des sections spécialisées | 22 |
| 23 dynamisme du système de production - cycle de fabrication | 25 |
| 231 structure du cycle de fabrication | |
| 232 cycle de rotation des moyens circulants | 27 |
| 24 cycle de fabrication de chaque produit | 29 |
| 25 matrice des temps de réalisations de tous les produits | 36 |
| Chapitre III - <u>Modèle d'ordonnement</u> | 37 |
| 31 généralités | 38 |
| 32 rappels mathématiques | 39 |
| 33 formulation du problème | 41 |
| 331 suppositions | |
| 332 fonction de but | |
| 333 contraintes | 42 |
| 334 données nécessaires | 43 |
| 335 étapes de résolution du problème | 45 |
| 336 présentation des résultats | |
| 34 position heuristique | 47 |
| 341 cas de deux sections technologiques et n tâches | |
| 342 cas général : m sections technologiques et n tâches | |

Chapitre IV - Application

- 41 données
- 42 algorithme heuristique
- 43 programme
- 431 données
- 432 variables
- 433 programmation
- 44 présentation des résultats
- 441 résultats
- 442 graphique de charge
- 443 graphique de GANTT
- 45 algorithme Booléen

Conclusion

Bibliographie

Introduction

Une chaîne de fabrication comprend une succession de postes d'usage, de montage, ou de sections technologiques sur lesquelles les produits passent dans un ordre déterminé.

Il s'agit d'organiser la chaîne de fabrication de façon à minimiser la durée de réalisation de chaque tâche et par conséquent la durée totale de réalisation de toutes les tâches.

La situation idéale serait qu'une quantité de travail mesurée en temps soit affectée à chacun des postes, si c'était possible il n'y aurait pas ~~perdu~~ dans tous les postes de travail et la chaîne de fabrication serait équilibrée. Si toutefois la durée des travaux à exécuter diffère d'un poste de travail à un autre, le poste ayant la plus longue durée devient le goulot d'étranglement et le rythme de la chaîne de fabrication doit être ajusté. Ceci entraîne une perte de temps à certains postes et le processus de fabrication se trouve ralenti, on aura un déséquilibre de la chaîne.

En plus du déséquilibre de la chaîne, le délai de réalisation de toutes les tâches sera dépassé. Les stocks intermédiaires en cours de fabrication se trouvent gonflés; c'est une partie du capital de l'entreprise qui se trouvera immobilisé.

L'objet de notre étude consiste à analyser le système d'ordonnement des commandes à lancer en fabrication, le processus technologique les cycles d'obtention de chaque produit afin d'élaborer un modèle mathématique d'ordonnement qui pourrait résoudre le problème.

=====

II Caractéristiques générales de l'entreprise

L'entreprise à laquelle nous nous sommes intéressés est une unité de menuiserie générale qui appartient à la Société Nationale du liège et du bois; située à Hussein-Dey.

C'est une unité industrielle qui emploie environ 886 personnes avec un chiffre d'affaires de 22714745 B.A/AN environ.

Les matières premières principales utilisées le bois, le polystyrène qui sont importées et le contreplaqué livré par l'unité menuiserie de Bougie appartenant à la même société. Il y a aussi comme matière première le panneau peut être obtenu à l'usine même à partir des copeaux d'usinage.

L'approvisionnement est irrégulier; fréquemment l'unité manque de matières premières; ce problème est dû aux lenteurs administratives causées par l'importation.

L'unité fabrique :

- Du préfabriqué.
- Des portes .
- Des volets roulants.
- Des persiennes.
- Des châssis.
- Des croisés.
- Des panneaux.
- Des profilés divers (selon les spécifications du client)

La production s'effectue sur commande:

- Des commandes de réapprovisionnement des stocks (produits standards).
- Des commandes spéciales (suivant les spécifications des clients).

La production "standard" est très faible relativement à la production globale.

Le rythme de production est constant, il y a toujours un retard à rattrapper sur les commandes non satisfaites, l'unité travaille presque à sa capacité maximale.

CAPACITE DE PRODUCTION ANNUELLE PAR PRODUIT /

| PRODUITS | UNITE | CAPACITE ANNUELLE |
|--------------------------------|---------------------|-------------------|
| BLOCS-PORTES | UNITE m | 60.000 |
| CROISES, CHASSIS PERSIENNES | m ² | 30.000 |
| VOLETS ROULANTS | m ² | 14.400 |
| PREFABRIQUE | m ² /sol | 24.000 |
| DIVERS | m ³ | 120 |

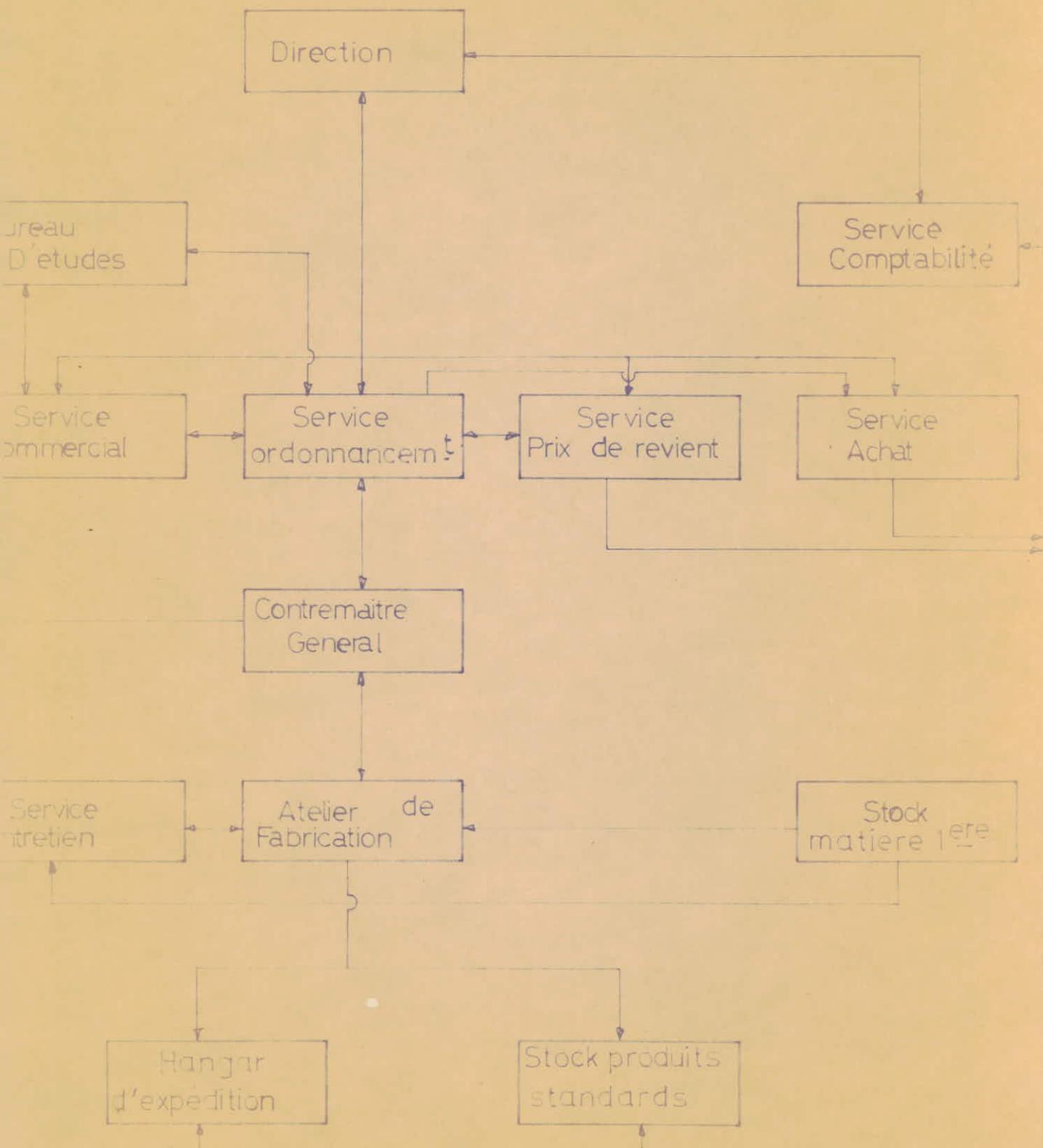
Comme la production s'effectue généralement sur commande spéciale, la recherche des séries économiques optimales est impossible. La production destinée au stock est très faible, généralement le service ordonnancement en profite des périodes creuses pour lancer la production standard.

L'estimation des fluctuations des commandes est impossible, le service commercial n'enregistre que les commandes retenues pour la réalisation.

En plus de production réalisée dans l'atelier de fabrication, l'unité réalise des travaux de sous-traitance. Elle possède des équipes spécialisées dans le revêtement, montage, ferrage du préfabriqué sur chantier.

Après la livraison de commande les équipes spécialisées effectuent des travaux supplémentaires sur chantier du client. Ceci est valable surtout pour les grosses commandes.

ORGANIGRAMME DE L'UNITE



La fig. 1 nous montre le processus de transmission de l'information entre les différents services constituant l'entreprise.

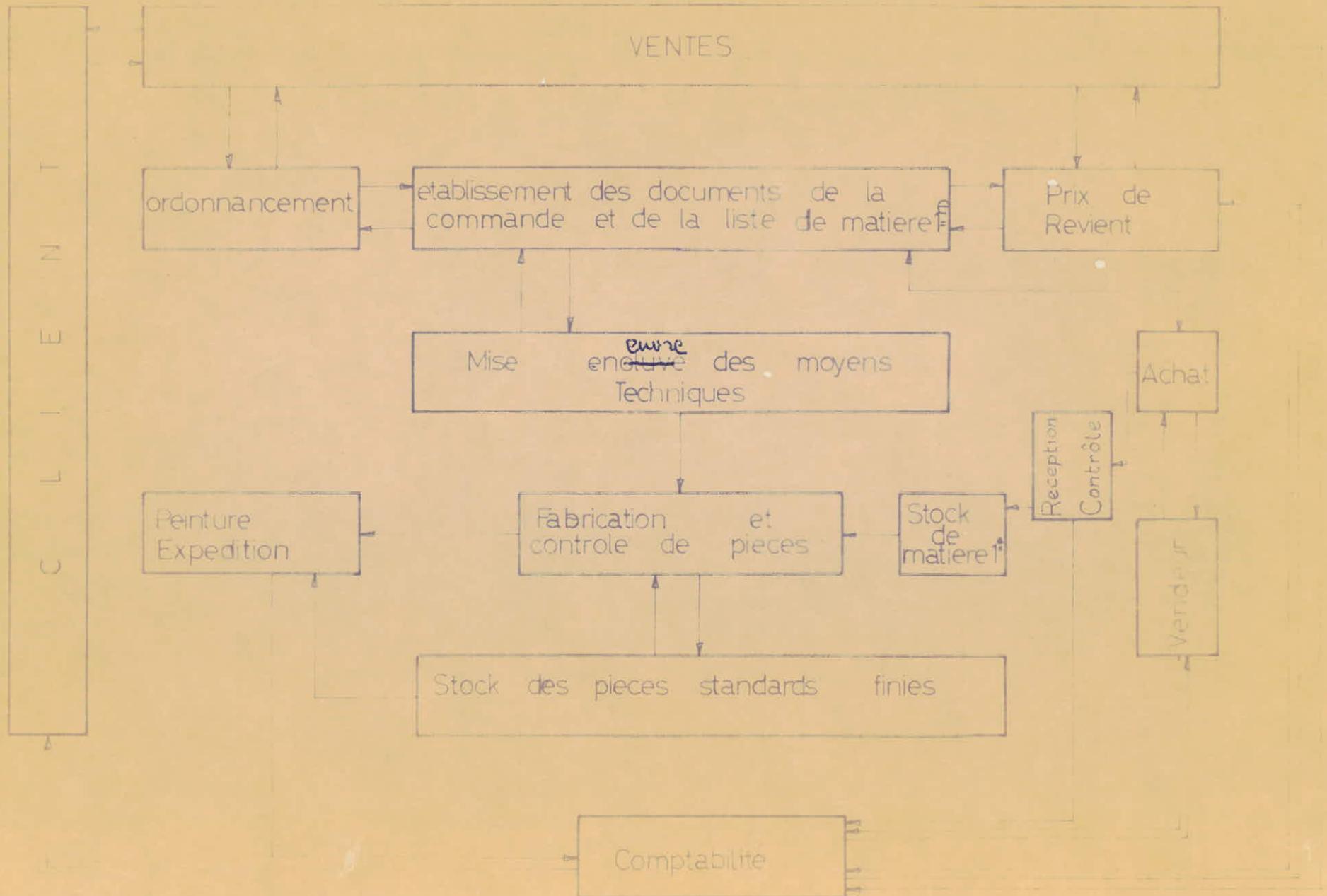
L'organisation de l'administration de l'entreprise possède les quatre cinq fonctions principales. :

- 1/ La fonction de production assurée par le service technique
- 2/ La fonction vente assurée par le service commercial
- 3/ La fonction achat assurée par le service achat
- 4/ La fonction financière assurée par le service comptabilité et financier
- 5/ La fonction administrative sous la direction, chargée de l'organisation, la planification et le contrôle de toutes les décisions.

En plus de ces fonctions principales, l'entreprise possède un service sécurité pour prévenir les risques que peut encourir le personnel, un service magasinage et stockage des pièces destinées au stock ou à l'expédition.

Le service ordonnancement a pour tâche la répartition des commandes clients ou commandes de réapprovisionnement à travers les différentes sections technologiques, et la recherche d'une circulation régulière et équilibrée du produit à travers toutes les opérations de fabrication.

UNE COMMANDE



La fig. 2 nous montre la circulation de l'information à travers tous les services intéressés lorsqu'un client fait une commande.

Il y a quatre opérations d'enregistrement :

- Accusé de réception de la commande
- Enregistrement au service des commandes
- Notification aux services intéressés
- Enregistrement au service comptable.

a) Le service commercial accuse réception de la commande, il consulte le service ordonnancement sur le délai probable de réalisation et le service approvisionnement pour la disponibilité des matières premières.

Si le client et le service commercial arrivent à un compromis, il y a enregistrement.

b) Le service commande intégré au service commercial établit un O.G.F. (ordre général de fabrication) un dossier comprenant plusieurs formulaires est adressé aux différents services :

- Au service commandes pour planifier les besoins en matières premières, ressources humaines et techniques.
- Au service prix de revient pour suivre la commande et établir le prix de revient réel

Enfin le service ordonnancement lance la production par l'intermédiaire du contre maître général. Une fois la commande réalisée elle est expédiée.

Toutes les opérations financières sont enregistrées au service financier et comptable, le service financier doit veiller à la solvabilité des clients

La commande expédiée est enregistrée au service prix de revient et comptable par le bon d'expédition.

L'opération la plus longue est au niveau du commercial sous-service commandes. Ce dernier établit la liste des matières premières nécessaires à cette opération de fabrication et le prix de revient de chaque produit.

Le service ordonnancement est avisé pour la préparation et le lancement.

14 - PROBLEME ACTUEL D'ORDONNANCEMENT

Actuellement le problème primordial qui se pose aux responsables de l'unité est le respect des délais prévus de livraisons.

En effet les délais de livraison ne sont pas respectés. Le cycle d'obtention des différentes commandes dépasse les cycles "standarts" ou cycles prévus par le service commercial. L'erreur varie d'une semaine à trois mois suivant l'importance de la commande.

L'augmentation du cycle de fabrication est dû à plusieurs facteurs :

- Goulots d'étranglement au niveau des sections technologiques.
- Inexistence d'un service planning des commandes.
- Mauvaise répartition des tâches à travers les sections technologiques.
- Temps morts très importants.

Exemple :

A l'instant t on veut lancer n commandes à travers deux sections technologiques

Section 1 le débitage

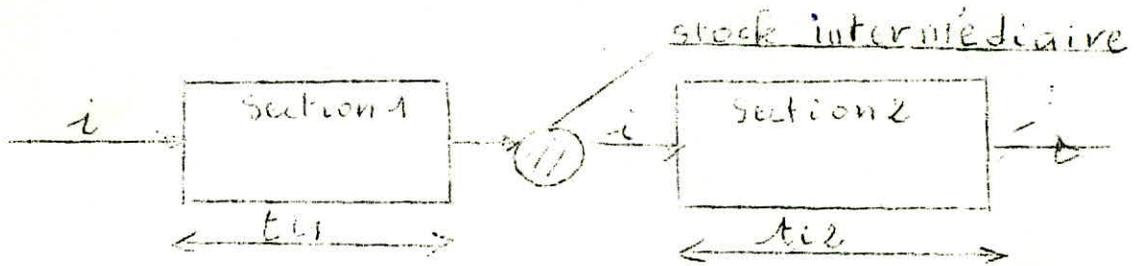
Section 2 le machinage.

Soit t_{ij} le temps de réalisation de la commande i sur la section j

| $i \backslash j$ | 1 | 2 |
|------------------|----------|----------|
| 1 | t_{11} | t_{12} |
| 2 | t_{21} | t_{22} |
| \vdots | \vdots | \vdots |
| i | t_{i1} | t_{i2} |
| \vdots | \vdots | \vdots |
| N | t_{N1} | t_{N2} |

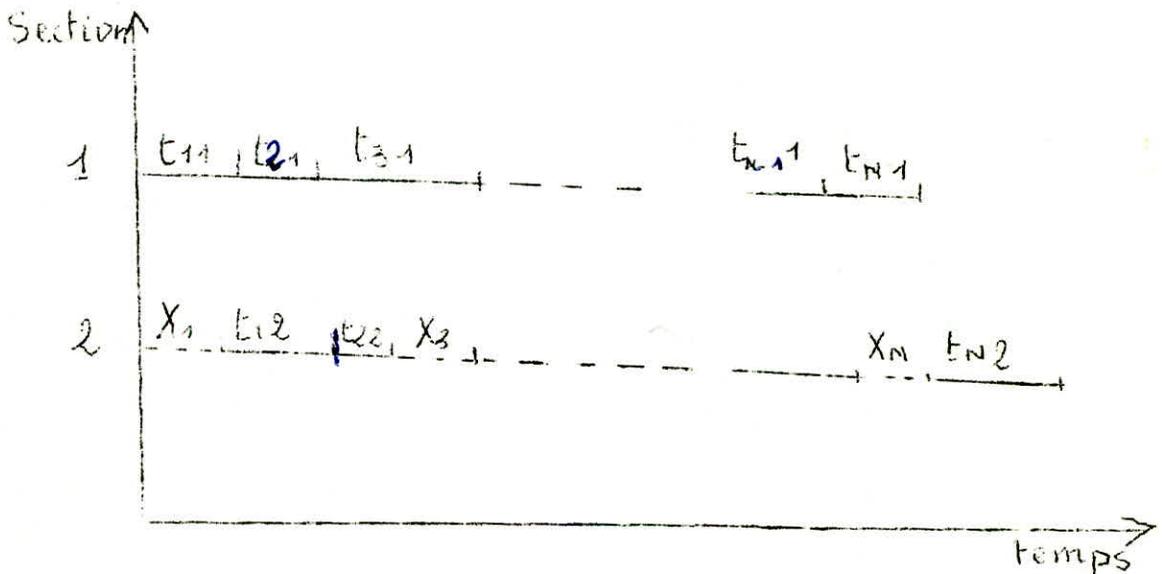
$i = 1, N$

$j = 1, 2$



Soit t_{i1} le temps que met la commande i sur la machine 1
 t_{i2} _____ 2
 X_i le temps qui s'écoule entre la sortie de la commande $i-1$
 et l'entrée de la commande i dans la section 2
 X_i est le non travail de la section 2

Considérons le schéma de Gantt suivant:



Le temps total de réalisation de toutes les commandes est égal à :

$$T = \sum_{i=1}^N t_{i2} + \sum_{i=1}^N X_i$$

$\sum t_{i1}$ est constant mais $\sum X_i$ est variable; c'est un terme qui est fonction de l'ordre de lancement des commandes.

Cette méthode de détermination des temps morts est applicable dans un atelier qui fabrique des pièces dont les opérations sont organisées séquentiellement.

14-1 CONSEQUENCE DE L'AUGMENTATION DU CYCLE DE FABRICATION
SUR LA SITUATION FINANCIERE DE L'ENTREPRISE

L'augmentation du cycle de fabrication entraîne une immobilisation excessive des moyens circulants qui sont formés principalement des stocks :

- Marchandises
- Matières et fournitures
- Produits semi-couvrés
- Produits en cours de fabrication

Considérons $A =$ dépenses variables par unité de produit

$B =$ dépenses constantes pour un lot de X produits

$Q =$ quantité totale de produits fabriqués en une période donnée
l'année parexemple

Prix de revient des X produits

$$P_X = A \cdot X + B$$

Considérons $K =$ coefficient des correction des moyens circulants

$r =$ coefficient de rentabilité de l'entreprise

$$r = \frac{\text{bénéfice}}{\text{valeurs des moyens circulants consommés}}$$

Le nécessaire des moyens circulants pour la fabrication de X produits est

$$N = K \cdot p_X \cdot n_c \quad n_c : \text{représente la durée du cycle de fabrication}$$

$$n_c = \frac{Q}{X}$$

Puisque chaque produit a un cycle de fabrication on aura :

$$\text{pour une période d'une année} \quad n_c = \frac{1}{Q/X} = \frac{X}{Q}$$

Donc le nécessaire des moyens circulants est :

$$N = p_X \cdot \frac{X}{Q} \cdot K$$

Pertes des moyens circulants dues à l'immobilisation

$$P_N = K \cdot p_X \cdot \frac{X}{Q} \cdot r$$

Dépenses moyennes de production pour un lot de X produits

$$P_X = p_X + P_N$$

$$P_X = p_X + K \cdot p_X \cdot \frac{X}{Q} \cdot r$$

Pour que l'entreprise réalise des bénéfices ; elle a intérêt à agir sur le cycle de fabrication plus particulièrement.

I4-2 POSITION DU PROBLEME

L'entreprise travaille exclusivement sur commandes à sa capacité maximal avec un rythme constant.

La demande est très importante il y'a toujours un retard à rattraper sur les commandes non satisfaites .

Ils'agit d'établir un programme optimal périodique (mensuel , hebdomadaire) de lancement des commandes .

Pour cela , il faut :

I/ Minimiser le temps de transmission de l'information concernant une commande d'un service à un autre car les lenteurs administratives, les prises de décisions incomplètes retardent beaucoup la réalisation des commandes.

Donc il faut une organisation administrative adéquate et une coordination des ordres efficace.

2/ Au niveau du lancement, plusieurs critères peuvent être envisagés:

-Le premier arrivé est le premier servi

-Lancer la commande dont la valeur marchande est important la première.

- Lancer les commandes ^{suivant} un ordre tel que le temps total de réalisation de toutes les commandes soit minimal.

-Lancer les commandes suivant le délai de livraison le plus proche

-lancer les commandes tel que le nombre de jours avant la livraison diminué de la durée de réalisation soit le plus petit

L'efficacité d'un système de production dépend du cycle de fabrication. Comme de l'énoncer, il y a plusieurs politiques de lancement des commandes en fabrication.

Pour trouver la meilleure politique une simulation est nécessaire. Pour que cette simulation soit objective, il faut tenir compte de plusieurs contraintes :

- Fluctuations statistiques des temps opératoires standards.
- Distributions des probabilités des absences des ouvriers.
- Distributions des probabilités des pannes des machines dans les différentes sections technologiques.

Pour une entreprise qui a un problème de rotation des moyens circulants, le critère le plus avantageux est de minimiser la durée totale de la réalisation des commandes lancées en une période donnée..

Avant de fixer de livraison, le service commercial détermine l'ordre optimal de lancement en fabrication.

Cet ordre optimal est celui qui minimise la durée totale de réalisation.

Processus du choix de la solution optimale

Soit : $F_i = (f_1, f_2, f_3, \dots, f_N)$ l'ensemble des commandes à lancer à la période T.

$B_j = (b_1, b_2, b_3, \dots, b_M)$. l'ensemble des points de traitement ou sections technologiques.

$S_T = (s_1, s_2, s_3, \dots, s_t)$. l'ensemble des variantes t différentes possibilités de répartition des commandes à travers les sections technologiques .

$D_{St}^k = (d_{S1}^k, d_{S2}^k, \dots, d_{St}^k)$. la durée minimale des différentes variantes.

Soit T_{St} la durée totale de réalisation de toutes les commandes, la variante optimale est telle que :

$$T_{St\ opt} = \min_{St} \left(\min_R T_{St}^R \right)$$

Cette variante présente :

- les temps morts minimum
- évite les goulots d'étranglement
- évite l'immobilisation des moyens circulants due aux stocks intermédiaires (ou commandes en cours de fabrication)

La réalisation de ce problème nécessite l'analyse du processus technologique et l'estimation des temps opératoires de fabrication ou de montage.

2 ANALYSE DU PROCESSUS TECHNOLOGIQUE

2.1 PROCESSUS TECHNOLOGIQUE :

Pour bien comprendre l'organisation du processus technologique, nous allons d'abord établir la structure générale, ensuite par approche déductive nous analysons les différentes sections spécialisées.

L'atelier de fabrication comprend huit sections spécialisées interdépendantes dont trois sections sont communes à tous les produits (voir fig.1)

2.1.1 graphe de la structure technologique:

Considérons $\dots O_v \quad v = 0, \dots, 8$ l'ensemble des sections technologiques

-giques

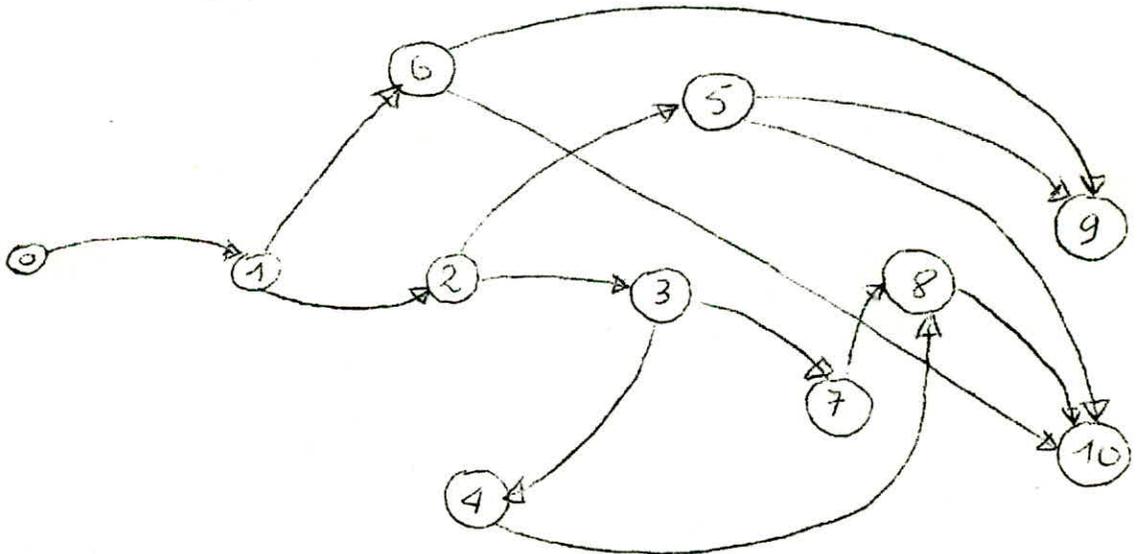
- R

Relation de précédence

$O_1 < O_2 < \dots < O_k < \dots < O_v$

Le graphe $G=(O,R)$ représente la structure technologique.

Cette séquence ordonnée en des opérations de fabrication constitue la chaîne technologique de fabrication.



0 :stock des matières premières

9 :service expédition

10 :stock des produits finis et semi finis

2 1 2 Les différentes phases de productions

La production est organisée en séquences.

1ère section: Le débitage.

Pour toute commande à lancer, le service débitage prépare la mat. 1ère qui est le bois ensuite il est coupé suivant les spécifications du produit à obtenir. La section débitage reçoit les directives du service lancement et ordonnancement.

| Machines | Capacité/heure/machine en m/l | nb d'heures de W/machine |
|------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 3 scies à couper | 2.000 m/l | 16 heures |
| 8 scies à ruban | 1.800 m/l | 16 heures |

Une fois que toute la matière destinée à une commande est débitée, elle est acheminée vers la section suivante suivant le produit désiré.

2ème Section : Le Machinage I.

C'est une section qui fabrique des éléments d'assemblage pour menuiserie, soit pour des productions en série, soit pour des commandes spéciales.

Elle fournit des éléments d'assemblage pour la section porte, la section préfabriquée et la section machinage II.

C'est la section la plus importante pour son importance et pour la complexité de sa production.

| Machines | capacité mach/heure | nb d'heures de W/machine |
|------------------|---------------------|--------------------------|
| 1 raboteuse | 1.000 m/l | 16 |
| 4 quatreface | 1.200 m/l | 16 |
| 4 dégochisseuses | 800 m/l | 16 |
| 1 bouchonneuse | 800 m/l | 16 |

3ème Section : Machinage II.

C'est une section qui réalise des travaux de finition pour la fabrication des persiennes, châssis, croisées, profilés, portes et divers.

C'est une section très complexe.

| Machines | capacité/mach/heure | nb d'heures de W/machine |
|----------------|---------------------|--------------------------|
| 7 toupies | 1.000 m/l | 16h |
| 4 tonnenneuses | 1.000 m/l | 16h |
| 9 mortèseuses | 10 mortèses | 16h |
| 2 panseuses | 800 m/l | 16h |
| 1 tronçonneuse | 1.200 m/l | 16h |
| 1 piqueuse | / | 16H |
| 3 ficheuses | 10 fiches | 16h |
| 3 défonceuses | 800 m/l | 16h |

4ème Section : Porte.

C'est une section spécialisée dans la fabrication et le montage des différents types de portes.

Elle reçoit des produits semi-finis des sections machinage. C'est une section qui travaille 16 heures sur 24. Elle possède six machines.

5ème Section : Préfabriqué.

Cette section est spécialisée dans le montage des panneaux, la fabrication de la charpente traditionnelle et la charpente préfabriquée.

La charpente traditionnelle est très peu demandée. Elle reçoit les éléments d'assemblage des panneaux du machinage I.

| Machines | Capacité mach/heure | nb d'heures W/machine |
|-------------------|---------------------|-----------------------|
| 2 scies à ruban | 500 m/l | 16 |
| 1 scie circulaire | 700 m/l | 16 |
| 1 mortèseuse | 100 mortèses/heure | 16 |
| 1 tonneneuse | 800 m/l | 16 |
| 1 toupie | 1.000 m/l | 16 |
| 1 dégot | 800 m/l | 16 |

6ème Section : volets roulants.

C'est la seule section indépendante, elle reçoit la matière débitée de la section 1, fabrique des volets roulants et les envoie au service expédition.

| Machines | capacité/mach/heure | nb d'heures W/machine |
|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 1 scie à trançonner | 800 m/l | 16 |
| 1 cataplene | 500 m/l | 16 |
| 1 toupie | 500 m/l | 16 |
| 1 quatre-face | 1.000 m/l | 16 |
| 1 dégot | 800 m/l | 16 |
| 1 raboteuse | 1.000 m/l | 16 |

Les sections ferrage et montage reçoivent les produits des sections machinage et portes. Elles réalisent des travaux de finitions et de contrôle. Le service serrurerie alimente la section ferrage en matière première. De là, les produits sont soit stockés si c'est une commande d'approvisionnement soit expédiés si c'est une commande spéciale.

Nous constatons que les sections débitage, machinage I et II sont communes à tous les produits, une organisation effective et efficace est nécessaire pour éviter le gonflement des stocks et l'immobilisation des moyens circulants .

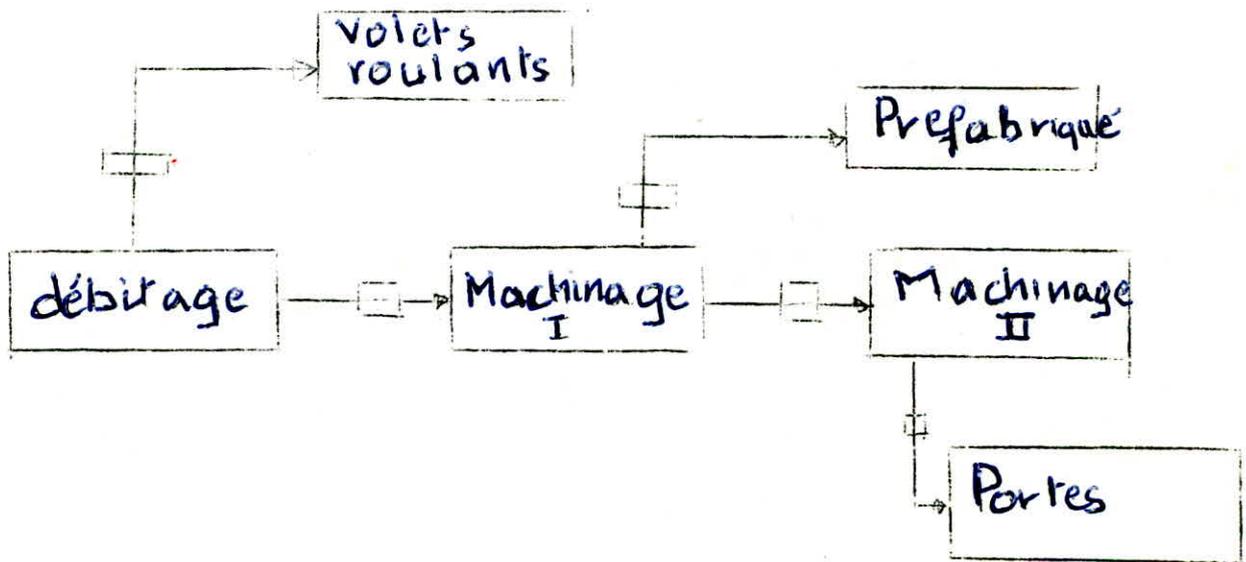
Cet inconvénient augmente le cycle de fabrication et par conséquent prolonge les délais de livraison des différentes commandes.

2.2 ORGANISATION DE LA PRODUCTION:

Les sections de fabrication délivrent au service commercial des commandes qui ont fait l'objet d'un contrat.

Les trois quarts de la production se font sur commande spéciale le reste est destiné à l'approvisionnement du stock en produits standards. La fabrication est organisée en chaîne. Pour les grosses commandes la réalisation dure plusieurs mois.

2.2.1 Liaisons entre les sections de base:



Au niveau des sections technologiques la production se fait commande après commande, à chaque fois qu'une section réalise l'opération qui est assignée, la matière est acheminée par chariot vers l'opération suivante sur une autre section jusqu'à la finition.

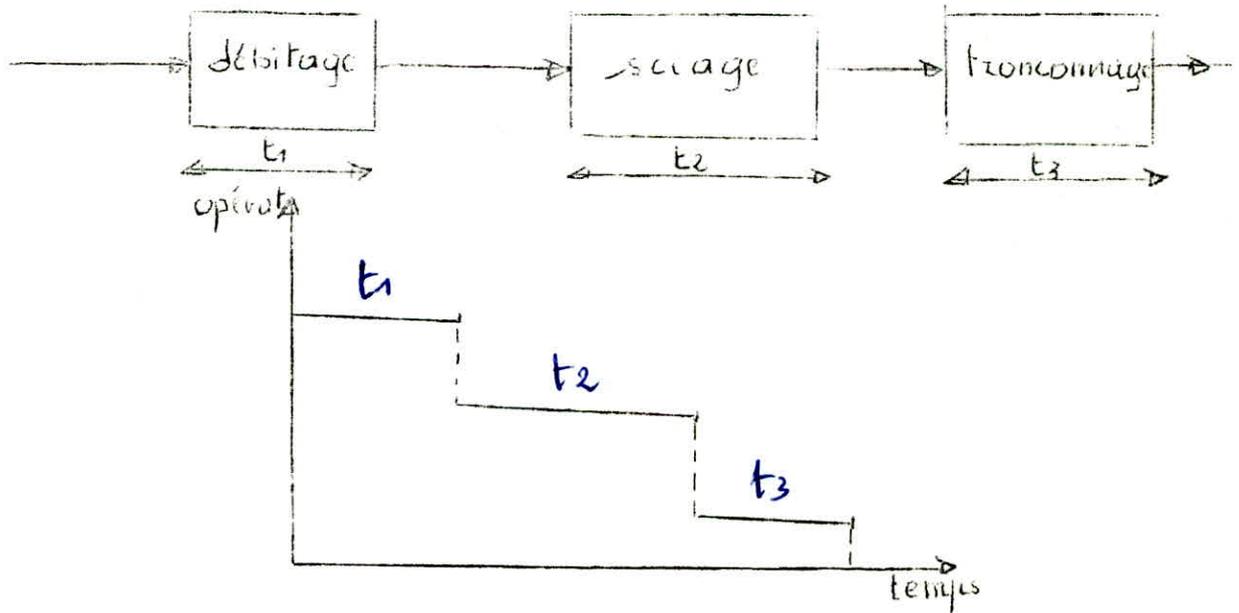
Le problème est d'assurer la continuité du processus tout en évitant le gonflement des stocks intermédiaires (les en cours de fabrication).

222 ORGANISATION AU NIVEAU DES SECTIONS SPECIALISEES:

222-1 section débitage: la section débitage comprend trois opérations communes à tous les produits.

- Le débitage
- Le sciage
- Le tronçonnage

Ces trois opérations consistent à préparer le bois et le couper pour faciliter son usinage.



Durée du cycle opératoire en série:

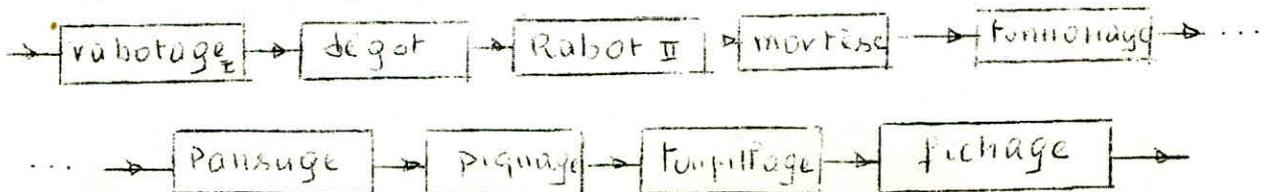
$$D_{cos} = N_p \cdot \sum_{i=1}^n T_{pi}$$

N_p : nombre de produits

T_{pi} : temps opératoire (opération i)

222-1 section machinage I et II: ce sont les sections les plus complexes, c'est là où s'effectuent l'usinage des différents éléments d'assemblage.

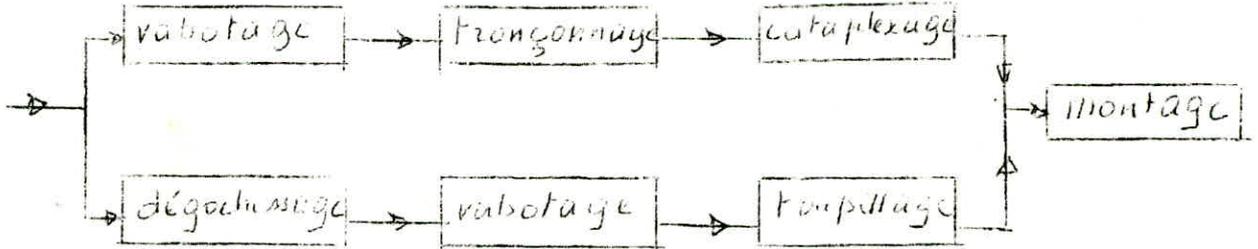
La fabrication s'effectue en séries, la durée du cycle opératoire est déterminée comme précédemment.



222-3 Section volet roulant

Dans cette section la production est organisée d'une façon mixte, la fabrication commence en parallèle et se termine en série.

L'organisation en parallèle permet la fabrication des éléments d'assemblage



Le raccordement en parallèle est tel que les pièces passent individuellement d'une opération à l'autre sans attendre la réalisation d'une opération pour le lot entier

Durée du cycle opératoire:

1) En parallèle:

$$D_{cop} = \sum_{i=1}^N T_{pi} + (N_p - 1) \cdot T_{opv}$$

N_p : nombre de produits

T_{opr} : temps de l'opération principale

2) Mixte:

$$D_{cops} = \sum_{i=1}^N T_{pi} + (N_p - 1) \left[\sum T_{op1} - \sum T_{opc} \right]$$

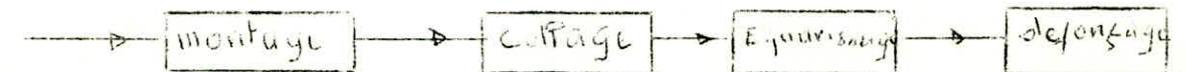
T_{op1} : temps de l'opération la plus longue

T_{opc} : temps de l'opération la plus courte

L'organisation mixte est utilisée pour l'élaboration des éléments d'assemblage pour un produit dans une production en chaîne très importante

222-4: Section portes

cette section possède quatre opérations principales organisées en série.



la durée du cycle opératoire est calculée comme précédemment (cas en série)

222-5. Section préfabriquée :

C'est une section autonome elle reçoit le bois directement de la section débitage, elle effectue surtout le montage

La durée du cycle opératoire est déterminée comme précédemment.



l'organisation est faite en série.

Donc :

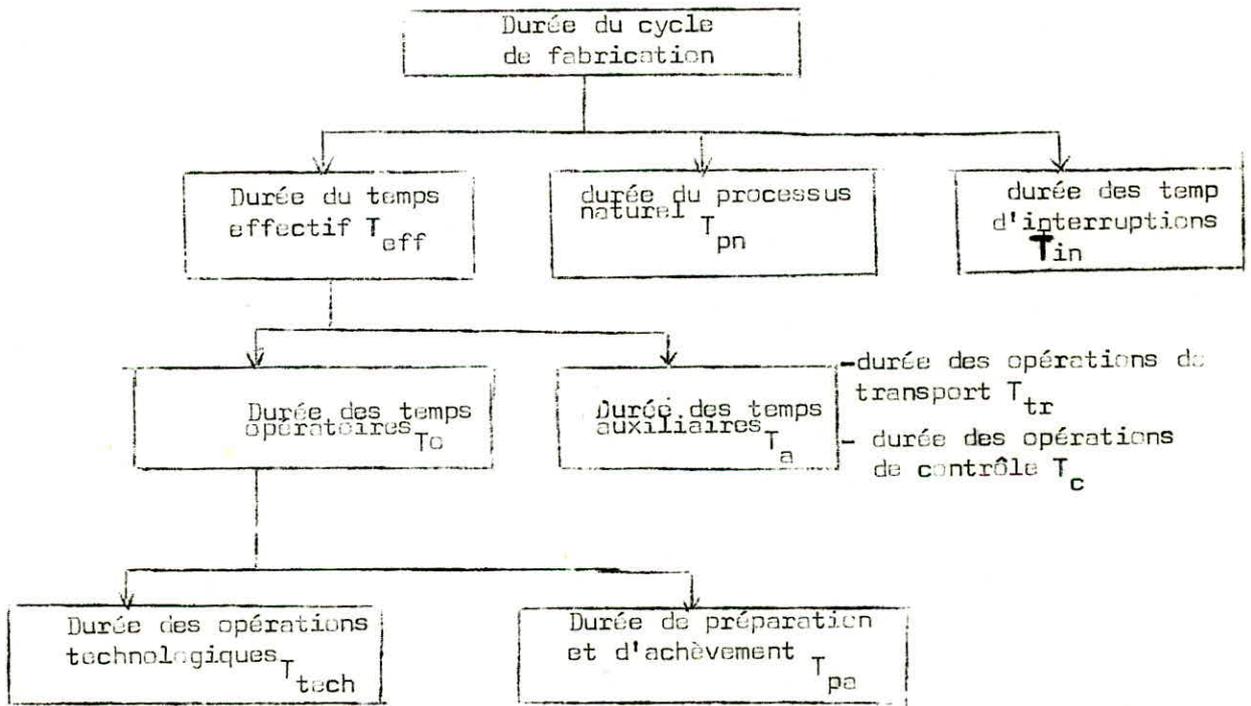
$$D_{cos} = \sum_{i=1}^N T_{pi} \cdot N_p$$

2.3 DYNAMISME DU SYSTEME DE PRODUCTION-CYCLE DE FABRICATION:

LE cycle de fabrication représente une série d'opérations mécaniques et manuelles réalisées en série ou en parallèle d'une façon continue ou discontinue. L'objet de travail passe par différentes étapes de transformation jusqu'à ce qu'il devient produit fini.

2.3-1 Structure d'un cycle de fabrication :

Il est propre à chaque entreprise, dépend de la nature du processus technologique, des moyens de productions, d'organisation et de la productivité.



La durée des opérations de transport T_{tr} et la durée des opérations de contrôle T_c sont égales à la durée totale du temps auxiliaires.

Durée du cycle de fabrication (D_{cf})

$$D_{cf} = T_{eff} + T_{pn} + T_{in} = T_o + T_a + T_{in} + T_{pn}$$

$$D_{cf} = T_{tech} + T_{pa} + T_{tr} + T_c + T_{pn} + T_{in}$$

Durée du cycle opératoire : D_{co}

$$D_{co} = T_{tech} + T_{pa}$$

Si N_p est le nombre de produits d'un lot, le cycle opératoire d'un produit est égal à :

$D_{co} = N_p \cdot T_{tech} + T_{pa}$ pour un lot, pour un produit:

$$D_{co} = T_{tech} + \frac{T_{pa}}{N_p}$$

REMARQUES:

Dans notre problème, le temps du processus naturel $T_{pn} = 0$ car nous considérons que le bois est acheté sec.

Les temps opératoires, les temps de préparation et les auxiliaires sont déterminés par enquête au niveau du contre maitre général et des contre maitres des différentes sections technologiques.

Nous voyons que les temps opératoires sont très approximatifs, pour une étude rigoureuse il faut effectuer un chronométrage des temps d'exécution de toutes les opérations et dans chaque section pour tous les produits.

Encore il faut tenir compte des pannes des machines et des absences des ouvriers.

2.3.2 CYCLE DE ROTATION DES MOYENS CIRCULANTS:

La durée du cycle de fabrication est utilisée dans le planning et l'ordonnement de la production. Sa variation exerce une influence sur la situation financière et économique de l'entreprise.

Un cycle plus court est équivalent à une quantité supplémentaire de produits réalisés dans le même intervalle de temps avec une quantité minimale de moyens circulants immobilisés.

$$N_c = \frac{P_r}{V_m} \text{ cycles/an}$$

P_r : production réalisée (D.A/AN)

V_m : volume des moyens circulants (D.A/AN)

Une rotation est le passage continu des moyens circulants de l'étape d'approvisionnement à l'étape de fabrication et de vente. Si le nombre de cycles est grand, la durée du cycle de production est faible.

Exemple:

soit deux cycles N_{c1} N_{c2} .

1) Considérons $V_{m1} = V_{m2}$ (volumes des moyens circulants constants) nous avons :

$$N_{c1} = \frac{P_{r1}}{V_{m1}}$$

$$N_{c2} = \frac{P_{r2}}{V_{m2}}$$

$$\Rightarrow \frac{P_{r1}}{N_{c1}} = \frac{P_{r2}}{N_{c2}} \Rightarrow P_{r2} = \frac{N_{c2}}{N_{c1}} \cdot P_{r1}$$

$$P_{r2} > P_{r1}, \Delta P_r = P_{r2} - P_{r1} = \frac{N_{c2}}{N_{c1}} \cdot P_{r1} - P_{r1} = P_{r1} \left(\frac{N_{c2}}{N_{c1}} - 1 \right)$$

$$\Delta P_r = P_{r1} \left(\frac{N_{c2}}{N_{c1}} - 1 \right)$$

ΔP_r étant l'augmentation de production due à un cycle de production minimal et un même volume des moyens circulants immobilisés

2) Considérons $P_{r1} = P_{r2}$ (production constante)

$$\left. \begin{aligned} N_{c1} &= \frac{P_{r1}}{V_{m1}} \\ N_{c2} &= \frac{P_{r2}}{V_{m2}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow N_{c1} \cdot V_{m1} = N_{c2} \cdot V_{m2} \Rightarrow V_{m2} < V_{m1}$$
$$\Delta V_m = \frac{N_{c2}}{N_{c1}} \cdot V_{m2} - V_{m2} = V_{m2} \left(\frac{N_{c2}}{N_{c1}} - 1 \right)$$

$$\boxed{\Delta V_m = V_2 \left(\frac{N_{c2}}{N_{c1}} - 1 \right)}$$

ΔV_m étant les moyens circulants épargnés à l'immobilisation; c'est une économie pour l'entreprise.

CONCLUSION:

Le rythme de fabrication de l'atelier de menuiserie est constant, alors que les délais de livraison ne sont pas respectés, cela est dû à un cycle de production élevé qui est lui même engendré par une mauvaise répartition des tâches à travers les sections technologiques .

.....

24 - CYCLE DE FABRICATION POUR CHAQUE PRODUIT

Définition :

Le cycle de fabrication couvre toutes les opérations de production ; de la préparation de la matière première jusqu'à l'obtention du produit final.

$$D_{cf} = T_{eff} + T_{in} = T_o + T_a + T_{in}$$

T_o : temps opératoire

T_a : temps auxiliaire (y compris le temps de transport t_r
le temps de contrôle T_c)

24-1 CYCLE D'OBTENTION D'UNE PORTE

Le temps est exprimé en minutes.

| Sections | Opérations | Temps opératoire T_o | Temps auxiliaire T_a | Temps effectif T_{eff} | Temps interruption T_{in} |
|-------------|--------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Débitage | Débitage | 10 | 5 | 15 | 10 |
| | Tronçonnage | 8 | 5 | 13 | |
| | Sciage | 8 | 5 | 13 | |
| Machinage 1 | Rabotage | 10 | 5 | 15 | 10 |
| | Dégochissage | 10 | 5 | 15 | |
| Porte | Montage | 10 | 8 | 18 | 15 |
| | Collage | 12 | 8 | 20 | |
| | Equarissage | 10 | 10 | 20 | |
| | Défonçage | 10 | 5 | 15 | |
| Machinage 2 | Fichage | 0,5 | 0,5 | 1 | 20 |
| | Mortésage | 0,5 | 0,5 | 1 | |
| | Défonçage | 1 | 1 | 2 | |
| Ferrage | Ferrage | 10 | 15 | 25 | 20 |

Le temps de préparation est couvert par le débitage.

$$D_{cf} = 246 \text{ mn}$$

24-2 CYCLE D'OBTENTION D'UN m/1 DE VOLET ROULANT

| Sections | Opérations | Temps opératoire T_o | Temps auxiliaire T_a | Temps effectif T_{eff} | Temps interruption T_{in} |
|---------------|--------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Débitage | Débitage | 8 | 5 | 13 | 10 |
| | Tronçonnage | 8 | 5 | 13 | |
| | Sciage | 8 | 5 | 13 | |
| Volet roulant | Rabotage 1 | 5 | 8 | 13 | 20 |
| | Tronçonnage | 10 | 8 | 18 | |
| | Cataplexage | 15 | 10 | 25 | |
| | Dégochissage | 10 | 10 | 20 | |
| | Rabotage 2 | 10 | 8 | 18 | |
| | Toupillage | 16 | 8 | 24 | |

La production des volets roulants est organisée en chaîne technologique mixte.

$$D_{ef} = 123 \text{ mn}$$

24-3 CYCLE DE FABRICATION D'UNE PERSIENNE :

| Sections | Opérations | Temps opérateur T_o | Temps auxiliaire T_a | Temps effectif T_{eff} | Temps interruption T_{in} |
|-------------|--------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Débitage | Débitage | 5 | 5 | 10 | 8 |
| | Tronçonnage | 5 | 5 | 10 | |
| | Sciage | 5 | 5 | 10 | |
| Machinage 1 | Rabotage | 8 | 5 | 13 | 8 |
| | Dégochissage | 8 | 5 | 13 | |
| Machinage 2 | Rabotage | 8 | 7 | 15 | 14 |
| | Mortésage | 10 | 5 | 15 | |
| | Tonnonage | 10 | 5 | 15 | |
| | Toupillage | 10 | 5 | 15 | |
| | Pansage | 10 | 5 | 15 | |
| | Piquage | 10 | 5 | 15 | |
| | Fraisage | 10 | 5 | 15 | |
| Montage | Montage | 12 | 8 | 20 | 8 |
| Ferrage | Ferrage | 10 | 8 | 18 | 8 |

$$D_{cf} = 245 \text{ mn}$$

24-4 CYCLE DE FABRICATION D'un CHASSIS

| Sections | Opérations | Temps opératoire T_o | Temps auxiliaire T_a | Temps effectif T_{eff} | Temps interruption T_{in} |
|-------------|--------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Débitage | Débitage | 5 | 3 | 8 | 8 |
| | Tronçonnage | 5 | 3 | 8 | |
| | Sciage | 5 | 3 | 8 | |
| Machinage 1 | Rabotage | 8 | 3 | 11 | 8 |
| | Dégochissage | 8 | 3 | 11 | |
| Machinage 2 | Rabotage | 8 | 7 | 15 | 12 |
| | Mortésage | 7 | 5 | 12 | |
| | Tonnonage | 10 | 5 | 15 | |
| | Touillage | 8 | 5 | 13 | |
| | Pensage | 10 | 5 | 15 | |
| | Piquage | 10 | 5 | 15 | |
| | Fraisage | 8 | 5 | 13 | |
| Montage | Montage | 5 | 5 | 10 | 8 |
| Ferrage | Ferrage | 5 | 8 | 13 | 8 |

$$D_{cf} = 211 \text{ mn}$$

24-5 CYCLE DE FABRICATION D'UN CROISE

| Sections | Opérations | Temps opérateur T_o | Temps auxiliaire T_a | Temps effectif T_{eff} | Temps interruption T_{in} |
|-------------|--------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Débitage | Débitage | 6 | 5 | 11 | 8 |
| | Trançonnage | 6 | 5 | 11 | |
| | Sciage | 6 | 5 | 11 | |
| Machinage 1 | Rabotage | 8 | 5 | 13 | 10 |
| | Dégochissage | 8 | 5 | 13 | |
| Machinage 2 | Rabotage | 11 | 7 | 18 | 14 |
| | Mortésage | 12 | 6 | 18 | |
| | Tonnage | 10 | 5 | 15 | |
| | Toupillage | 11 | 5 | 16 | |
| | Pansage | 10 | 5 | 15 | |
| | Piquage | 12 | 5 | 17 | |
| | Fraisage | 9 | 5 | 14 | |
| Montage | Montage | 10 | 5 | 15 | 8 |
| Ferrage | Ferrage | 12 | 8 | 20 | 5 |

$D_{cf} = 258 \text{ mm}$

24-6 CYCLE DE FABRICATION D'UNE UNITE DE m²/sol DE PREFABRIQUE

| Sections | Opérations | Temps opératoire T _o | Temps auxiliaire T _a | Temps effectif T _{eff} | Temps interruption T _{in} |
|-------------|--------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Débitage | Débitage | 8 | 5 | 13 | 10 |
| | Trançonnage | 8 | 5 | 13 | |
| | Sciage | 6 | 4 | 10 | |
| Machinage 1 | Rabotage | 8 | 8 | 16 | 10 |
| | Dégochissage | 8 | 8 | 16 | |
| Machinage 2 | Mortésage | 10 | 10 | 20 | 8 |
| | Tonnage | 18 | 12 | 20 | |
| Préfabriqué | Montage | 11 | 7 | 18 | 8 |
| | Clouage | 10 | 7 | 17 | |

! D_{cf} = 179 mn !
! cf = 179 mn !

24-7. DUREE DU CYCLE DE FABRICATION D'UN PANNEAU :

| Sections | Opérations | Temps opératoire T_o | Temps auxiliaire T_a | Temps effectif T_{eff} | Temps interruption T_{in} |
|-------------|--------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Débitage | Débitage | 8 | 5 | 13 | 10 |
| | Trançonnage | 8 | 5 | 13 | |
| | Sciage | 8 | 5 | 13 | |
| Machinage 1 | Rabotage | 11 | 7 | 18 | 10 |
| | Dégochissage | 13 | 6 | 19 | |
| Machinage 2 | Mortésage | 12 | 9 | 21 | 12 |
| | Tonnage | 9 | 6 | 15 | |
| Préfabriqué | Montage | 14 | 10 | 24 | 12 |
| | Clouage | 5 | 5 | 10 | |

$D_{cf} = 190 \text{ mn}$

25 - MATRICE DES TEMPS DE FABRICATION DE TOUS LES PRODUITS

| Sections Produits | Débitage | Machinage 1 | Machinage 2 | Portes | Volets roulants | Préfabri- qué | Montage | Ferrage |
|------------------------------------|----------|----------------|----------------|--------|--------------------|------------------|---------|---------|
| Porte unité | 61 | 40 | 24 | 88 | 0 | 0 | 0 | 45 |
| Persienne unité | 32 | 34 | 119 | 0 | 0 | 0 | 28 | 26 |
| Chassis unité | 32 | 30 | 110 | 0 | 0 | 0 | 18 | 21 |
| Crois unité | 47 | 36 | 127 | 0 | 0 | 0 | 23 | 25 |
| Volets roulant m/l | 49 | 0 | 0 | 0 | 128 | 0 | 0 | 0 |
| Préfabriqué m ² /sol | 46 | 42 | 48 | 0 | 0 | 43 | 0 | 0 |
| Panneau m ² | 49 | 47 | 48 | 0 | 0 | 46 | 0 | 0 |

3 - MODELE D'UNE TACHE D'ORDONNANCEMENT

Introduction :

L'ordonnancement de la production consiste à élaborer une circulation régulière et équilibrée du produit à travers les différentes séquences d'opérations de fabrication.

Il a pour but d'éviter le déséquilibre des charges dans les différentes sections technologiques, d'utiliser la main d'oeuvre disponible au maximum, tout en respectant les cycles de fabrication prévus (cycle 'standart').

L'ordonnancement doit donc couvrir les opérations de fabrications des stock des matières premières jusqu'au stock des produits finis ou à l'expédition.

A chaque période choisie, le service ordonnancement et lancement de la production doit lancer un certain nombre de commandes en fabrication.

Pour éviter le déséquilibre des charges au niveau des machines et des différentes sections, il faut choisir un ordre optimal de lancement.

Sur quel critère il faut se baser pour lancer des commandes en fabrication ?

- La commande qui présente une valeur marchande importante ;
- Le délai de livraison le plus proche ;
- Le temps de réalisation minimal ;
- Un ordre pour lesquelles les dépenses moyennes de production sont minimales.

Le critère le plus économique pour l'entreprise est celui qui minimise les dépenses moyennes de production.

Le problème revient à trouver un ordre optimal de lancement des commandes en fabrication de façon à minimiser le cycle d'obtention des commandes en une période P donnée.

Ceci revient à augmenter la vitesse de rotation des moyens circulants.

31 - GENERALITES

Un problème d'ordonnement : n tâches, et m machines (ou sections technologiques) est un problème extrémal de type combinatoire.

Le problème revient à choisir entre un nombre fini de variantes, la variante fournissant la valeur extrémale (minimale ou maximale) d'une fonction économique.

A chaque variante de l'espace on peut faire correspondre un point X de l'espace de dimension N . Le problème combinatoire se ramène alors à maximiser la fonction économique $F(x)$ définie sur un système fini de point x de l'espace de dimension N .

Cependant les problèmes combinatoires, présentant un intérêt pratique possédant un nombre de variantes possibles si grand que leur résolution par une exploration directe de toutes les variantes, comportent beaucoup de difficultés pour les ordinateurs.

Pour cela il faut trouver une méthode spéciale qui permettrait de réduire le nombre de variantes à examiner.

Actuellement, les problèmes combinatoire sont en général ramenés à des problèmes de programmation linéaire en nombres entiers.

32 : RAPPELS MATHÉMATIQUES

Un programme linéaire en nombres entiers est un programme linéaire auquel s'ajoute la contrainte : les variables indépendantes x^j sont entières

32-1 FORMULATION GÉNÉRALE D'UN PROGRAMME LINÉAIRE EN NOMBRES ENTIERS

Considérons une application linéaire non homogène de $R^N \rightarrow R$:

$C_{0i} X_i + b_0$ que l'on veut maximiser ou minimiser, que l'on appellera fonction objective.

Considérons aussi des applications non homogènes de $R^N \rightarrow R$

$$C_{ij} X_i + b_j \leq 0 \quad \begin{matrix} i = 1, M \\ j = 1, N \end{matrix} \quad \text{que l'on appellera} \\ \text{contraintes}$$

Le programme linéaire se présentera comme suit :

$$\text{MAX } (C_{01} X_1 + C_{02} X_2 + \dots + C_{0N} X_N + b_0)$$

$$C_{11} X_1 + C_{12} X_2 + \dots + C_{1N} X_N + b_1 \leq 0$$

$$C_{21} X_1 + C_{22} X_2 + \dots + C_{2N} X_N + b_2 \leq 0$$

⋮

$$C_{M1} X_1 + C_{M2} X_2 + \dots + C_{MN} X_N + b_M \leq 0$$

$$X_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, N$$

$$C_{ij} \in R$$

$$X_i \text{ entières}$$

Le programme linéaire peut s'écrire aussi :

| | $-X^J$ | | | | j_0 |
|-------|----------|----------|-----|----------|-------|
| X_0 | C_{01} | C_{02} | ... | C_{0N} | |
| X_I | C_{11} | C_{12} | ... | C_{1N} | b_1 |
| | C_{21} | C_{22} | ... | C_{2N} | b_2 |
| | ⋮ | | | | ⋮ |
| | C_{M1} | C_{M2} | | C_{MN} | b_M |

$I = 1, 2, \dots, N$
 $J = 1, 2, \dots, M$
 $X^J \quad X_I \geq 0$

- X^J variables indépendantes
- X_I " dépendantes
- X_0 fonction économique à optimiser

Le problème revient à chercher les variables $X^J / :$

$$\left\{ \begin{array}{l} (i_0, J) (-X^J) \quad \text{MAX} \\ (I, J) (-X^J) + (I, j_0) \geq 0 \\ X^J \geq 0 \\ X^J \text{ entières} \end{array} \right.$$

$(I, J) :$ matrice à coefficients constants

Soit X_0 la forme linéaire à maximiser

$X_I :$ les contraintes

On a :

$$X_0 = (i_0, J) (-X^J)$$

$$X_I = (I, J) (-X^J) + (I, j_0)$$

L'ensemble $X^J \cup X_I$ représente $N + M$ plans dans R^N .

33 FORMULATION DU PROBLEME

L'efficacité d'un système de production dépend du cycle de fabrication. Le cycle de fabrication est égal à l'ensemble des temps opératoires nécessaires pendant la période totale du système.

33-1 SUPPOSITIONS

- A a/ Le processus de réalisation d'un produit sur une section est continu (organisation des opérations en séquences).
- b/ Les travaux en cours sont exécutés sans rupture, si on lance une commande en fabrication elle n'est interrompue jusqu'à la réalisation totale.
- c/ La même opération de travail pour le produit sans répétition
- d/ On ne peut réaliser deux produits en même temps sur une même section
- e/ Les temps opératoires T_{ij} ; durée de réalisation de la commande i sur la section j sont 'standards'. Nous supposons que les T_{ij} à la période de réalisation T sont constants:

- Pas de pannes de machines
- Pas d'absence des ouvriers

Si l'on considère la distribution des probabilités des pannes des machines et les absences des ouvriers, le problème serait plus compliqué

- f/ Entre toutes les opérations de fabrication, les relations de précedence sont bien déterminées par le graphe de la structure technologique ou par la matrice d'incidence des arcs.

332 FONCTION DE BUT.

Soit P la période de lancement des commandes, T le temps total de réalisation.

Nous pouvons décomposer T en K_N intervalles de temps ΔT tel que:

$$T = K_N \cdot \Delta T$$

Considérons la variable linéaire $X_{ij}^{(k)}$

$$X_{ij}^{(k)} = \begin{cases} -0 & \text{si à l'intervalle } k \text{ la commande } i \text{ ne se réalise pas sur la section } j. \\ -1 & \text{si à l'intervalle } k \text{ la commande } i \text{ se réalise sur la section } j. \end{cases}$$

donc $X_{ij}^{(k)} = (0, 1)$

Le but est de minimiser le temps de réalisation total; c'est à dire minimiser les temps morts engendrés par une mauvaise répartition des tâches à travers les sections technologiques.

Soit Z la fonction de but tel que:

$$Z = \text{MIN} \sum_{k=1}^{k_N} (1 - X_{ij}^{(k)}) \Delta t$$

Ou bien minimiser le temps total de réalisation des moyens technologiques pendant les dernières périodes de travail:

$$Z = \text{MIN} \sum_{k=k_N-a}^{k_N} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N X_{ij}^{(k)} \quad \text{a un nombre tel que } a \ll k_N$$

333 CONTRAINTES:

a) $0 \leq X_{ij}^{(k)} \leq 1 \quad i=1, M ; j=1, N ; k=1, k_N$

La variable binaire $X_{ij}^{(k)}$ peut prendre 2 états 0 ou 1

b) La réalisation d'une commande lancée en fabrication en une période donnée met une durée au moins égale à son cycle de fabrication

$$\Delta T \sum_{k=1}^{k_N} X_{ij}^{(k)} \geq T_{ij}$$

c) Il est impossible de réaliser à l'intervalle k sur la même section j plusieurs commandes i

$$\sum_{i=1}^M X_{ij}^{(k)} \leq 1$$

d) nous considérons qu'il n'y a pas de rupture de fabrication de la commande i sur la section j

$$T_{ij} \cdot X_{ij}^{(k)} - T_{ij} \cdot X_{ij}^{(k+1)} + \Delta T X_{ij}^{(k)} \leq T_{ij}$$

e) les commandes sont réalisées d'une façon séquentielle par exemple; la commande i réalisée sur j, doit être réalisée avant i+1 sur j+1.

$$T_{ij} \cdot X_{ij}^{(k)} \leq \Delta T \sum_{k=1}^{k_N} X_{ij}^{(k)} \quad k=1, k_N$$

En définitive le problème combinatoire n'est pas résolu en tant que tel, mais on peut le résoudre en utilisant des méthodes de programmation linéaire en nombres entiers.

RÉSUMÉ DU PROBLÈME :

Résoudre le programme linéaire à variables entières suivant :

- Fonction objectif :

$$Z = \text{MIN} \sum_{k=1}^{k_N} (1 - X_{ij}^{(k)})$$

ou

$$Z = \text{MIN} \sum_{k=k_N-a}^{k_N} \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^M X_{ij}^{(k)}$$

- Contraintes :

$$1) \quad 0 \leq X_{ij}^{(k)} \leq 1 \quad i=1, M$$

$$2) \quad \Delta T \sum_{k=1}^{k_N} X_{ij}^{(k)} \geq T_{ij} \quad j=1, N$$

$$3) \quad \sum_{l=1}^M X_{ij}^{(k)} \leq 1 \quad k=1, k_N$$

$$4) \quad T_{ij} \cdot X_{ij}^{(k)} - T_{ij} \cdot X_{ij}^{(k+1)} + \Delta T \cdot X_{ij}^{(k)} \leq T_{ij}$$

$$5) \quad T_{ij} \cdot X_{ij}^{(k)} \leq \Delta T \sum_{k=1}^{k_N} X_{ij}^{(k)} \quad k=1, k_N$$

DETERMINATIONS DU NOMBRE DE CONTRAINTES :

1) $M \cdot N \cdot k_N$

2) $M \cdot N$

3) $N \cdot k_N$

4) $M \cdot N \cdot k_N$

5) $k_N (M-1)$

Nombre total de contraintes N_c

$$N_c = M \cdot N + M \cdot N \cdot k_N + M \cdot N \cdot k_N + N \cdot k_N + k_N (M-1)$$

$$= N \left[M(2k_N + 1) + k_N \right] + k_N (M-1)$$

334 DONNEES NECESSAIRES A LA RESOLUTION DE CE PROBLEME

a) Matrice des temps de réalisations MA (I,J);

Considérons J l'ensemble des points de traitement ou sections technologiques, I l'ensemble des tâches.

T_{ij} de réalisation de I sur J

| I \ J | 1 | 2 | ... | j | ... | N |
|-------|----------|---|-----|----------|-----|----------|
| 1 | T_{11} | | | T_{1j} | | T_{1N} |
| 2 | T_{21} | | | T_{2j} | | T_{2N} |
| ... | ... | | | ... | | ... |
| i | T_{i1} | | | T_{ij} | | T_{iN} |
| ... | ... | | | ... | | ... |
| M | T_{M1} | | | T_{Mj} | | T_{MN} |

Les opérations de fabrication sont organisées d'une façon séquentielle

b) Graphe de la structure technologique;

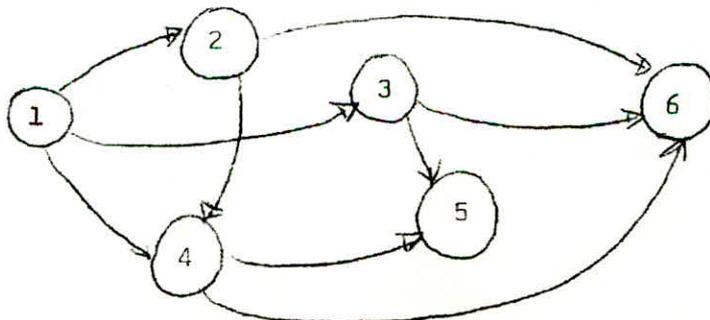
Considérons l'ensemble des tâches $F(I) = (f_1, f_2, \dots, f_M)$

..... moyens technologiques $J(I), J(J) = (b_1, b_2, \dots, b_N)$

F est un ensemble dénombrable fini.

Soit une application multivoque de $\bigcup f$ \rightarrow $\bigcup f$, le couple $G = (F, \bigcup f)$ est un graphe d'ordre n.

Exemple: n=6



Les sommets du graphe représentent les points de traitement des tâches

c) Matrice d'incidence des arcs du graphe $G = (F, N)$:

$C = c_{ij}$ est
 $c_{ij} = 1$ si le sommet j relié par le sommet i antécédent
 $c_{ij} = 0$ si le sommet j n'est pas relié par le sommet i antécédent.

Exemple: On a 10 sommets.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 2 | | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 3 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 4 | | | | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 6 | | | | | | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | | | | | | | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 8 | | | | | | | | 0 | 1 | 0 |
| 9 | | | | | | | | | 0 | 1 |
| 10 | | | | | | | | | | 0 |

d) Matrice de destination des tâches aux différents points de traitement

$A = a_{ij}$ $a_{ij} = 1$ si la tâche i passe par la section j
 $a_{ij} = 0$ si la tâche i ne passe pas par la section j

Exemple : M commandes, N sections technologiques

| I \ j | 1 | 2 | ... | j | ... | N |
|-------|---|---|-----|---|-----|---|
| 1 | 1 | 0 | ... | 1 | ... | 1 |
| 2 | 1 | 1 | | 0 | ... | 1 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | | ⋮ | | |
| l | 0 | 1 | ... | 1 | ... | 1 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | | ⋮ | | |
| M | 0 | 1 | | 0 | | 1 |

33-5 ETAPES DE RESOLUTION DU PROBLEME

En utilisant les hypothèses précédentes, nous pouvons répartir l'ensemble des tâches de production sur l'ensemble des moyens technologiques et organiser les séquences temporelles de façon que le temps de réalisation total soit minimal.

Les différentes étapes seront comme suit:

- 1) Considérer l'ensemble des moyens technologiques
- 2) " " " opérations technologiques
- 3) Déterminer l'ensemble des variantes possibles de répartition des tâches (commandes) sur les moyens technologiques.
- 4) En utilisant le temps de réalisation de chaque tâche, choisir pour chaque variante le temps minimal.
- 5) De toutes les variantes, retenir la variante qui présente le temps minimal; c'est la variante optimale.

33-6 PRESENTATION DES RESULTATS :

Les résultats seront présentés sur des tableaux de Gantt.

1) Matrice de Gantt H(.)

Elle donne la répartition des charges sur les moyens technologiques j

| j \ k | 1 | 2 | ... | $k_{(j)}$ | ... | k_N |
|-------|-----|-----|-----|-----------|-----|-------|
| 1 | 1 | 1 | ... | 0 | ... | 1 |
| 2 | 1 | 0 | ... | 1 | ... | 0 |
| ... | ... | ... | | ... | | ... |
| j | 1 | 1 | ... | 1 | ... | 1 |
| ... | ... | ... | | ... | | ... |
| N | 0 | 1 | ... | 0 | ... | 1 |

$$T = k_N \cdot \Delta T$$

$$k = 1, \dots, k_N$$

$$j = 1, \dots, N$$

$$M < N$$

Soit T le temps de réalisation des tâches (commandes) à la période P
 on a :

$$T = K_N \cdot \Delta T \quad K_N = 1, \dots, N$$

2) Matrice de Gantt $H(i)$:

Elle détermine la charge des différentes sections technologiques

$$T = \Delta T \cdot K_N \quad K_N = 1, \dots, N$$

$$i = 1, \dots, N$$

| I \ K | 1 | 2 | 3 | ... | R_N |
|-------|-----|-----|-----|-----|-------|
| 1 | 1 | 0 | 1 | | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | | 0 |
| ... | ... | ... | ... | J | ... |
| M | 1 | 1 | 0 | ... | 1 |

34 - POSITION HEURISTIQUE :

Soit un atelier de fabrication disposant de m machines ou sections technologiques qui exécutent n tâches (des lots de pièces)

Le problème est de trouver un ordre de lancement des tâches en exécution de façon à minimiser la durée totale de réalisation, ce qui revient à minimiser les temps morts engendrés par une mauvaise répartition des tâches à travers les moyens technologiques .

Les problèmes d'ordonnement sont très importants dans les services de fabrication car le but constant des organisateurs est le meilleur emploi de leur installations industrielles.

34 - 1 CAS DE DEUX SECTIONS TECHNOLOGIQUES ET n TACHES

Considérons le cas simple où n tâches devant traverser successivement deux sections A et B dans cet ordre, et ne pouvant se dépasser ; cela signifie que celles des tâches qui est la première à traverser la section A doit être également la première à traverser B, celle qui est la seconde à traverser A doit être également la seconde à traverser B... etc... Cette condition est réalisée dans le cas des travaux séquentiels.

Considérons A_i le temps de passage de la tâche i sur la section A
 B_i " " " " B
 T " total de réalisation des tâches $i = 1, N$ sur les deux sections

X_i " qui s'écoule entre la sortie de la tâche $i - 1$ et l'entrée de la tâche i dans la section B.

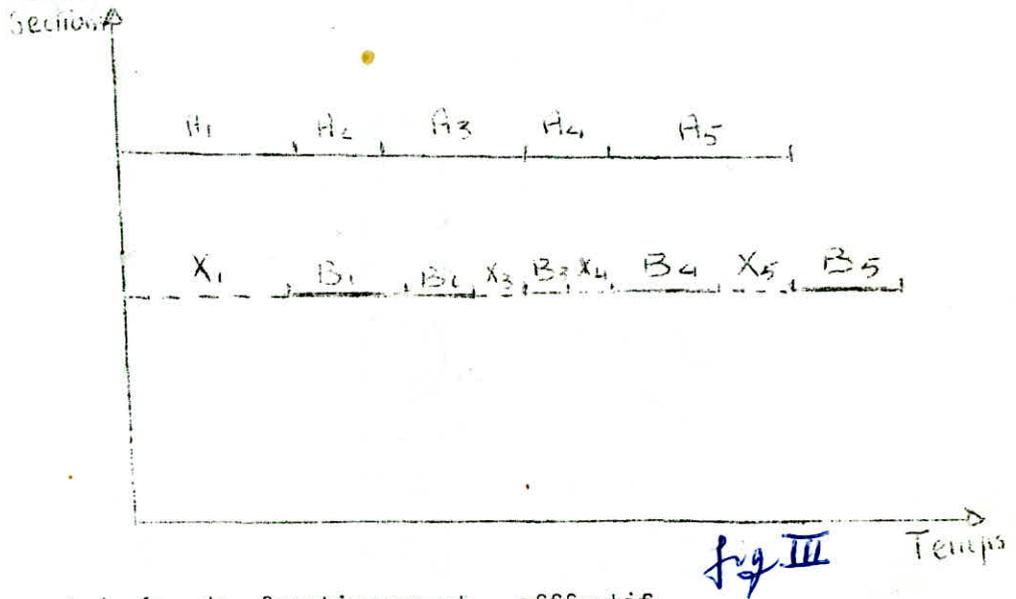
Le problème est de trouver un ordre i_1, i_2, \dots, i_N , qui soit une permutation des N premiers nombres entiers et qui minimise T .

Il y a $N!$ ordres possibles

Pour un ordre donné, le déroulement des opérations peut être schématisé par un graphique de Gantt.

.../...

Pendant A_1 heures, la section A travaille sur la tâche 1 et la section B attend. Dès que 1 quitte A, 2 y entre et 1 va en B (voir schéma fig.III).



————— durée de fonctionnement effectif

- - - - - durée de l'arrêt de la section B

A_i, B_i : durée de passage de la tâche i sur la section

X_i : Temps mort entre deux passages des tâches dans la section B.

Le temps total est celui qui s'écoule entre l'entrée de la tâche 1 dans la section A et la sortie de la tâche 5 de la section B.

$$T = \sum_{i=1}^5 B_i + \sum_{i=1}^5 X_i$$

GENERALISATION : N TACHES .

$$T = \sum_{i=1}^N B_i + \sum_{i=1}^N X_i$$

Puisqu'il s'agit de minimiser T ; le problème se ramène à minimiser $\sum X_i$ car $\sum B_i$ ne dépend pas de l'ordre envisagé.

a/ Calcul des temps morts

D'après le schéma de Gantt (fig.III) on peut écrire :

$$X_1 = A_1$$

$$X_2 = A_1 + A_2 - B_1 - X_1, \text{ si } A_1 + A_2 \geq B_1 + X_1$$

$$X_2 = 0, \text{ si } A_1 + A_2 < B_1 + X_1$$

X_2 peut se mettre sous la forme :

$$X_2 = \text{Max} (A_1 + A_2 - B_1 - X_1, 0)$$

$$= \text{Max} \left(\sum_{l=1}^2 A_l - \sum_{l=1}^1 B_l - \sum_{l=1}^1 X_l, 0 \right) \quad (2)$$

ajoutons X_1 aux deux membres de l'équation (2)

$$X_1 + X_2 = \text{Max} \left(\sum_{l=1}^2 A_l - \sum_{l=1}^1 B_l, A_1 \right)$$

$$X_3 = \text{Max} \left(\sum_{l=1}^3 A_l - \sum_{l=1}^2 B_l - \sum_{l=1}^2 X_l, 0 \right)$$

$$\sum_{l=1}^3 X_l = \text{Max} \left(\sum_{l=1}^3 A_l - \sum_{l=1}^2 B_l, \sum_{l=1}^2 X_l \right)$$

$$= \text{Max} \left(\sum_{l=1}^3 A_l - \sum_{l=1}^2 B_l, \sum_{l=1}^2 A_l - \sum_{l=1}^1 B_l, \sum_{l=1}^1 X_l \right)$$

etc ...

$$\left\{ \sum_{i=1}^N X_i = \text{Max} \left(\sum_{l=1}^N A_l - \sum_{l=1}^{N-1} B_l, \sum_{l=1}^{N-1} A_l - \sum_{l=1}^{N-2} B_l, \dots, A_1 \right) \right.$$

posons $D_N(s) = \sum_{l=1}^N X_l$ ou $D_N(s)$ est une fonction de l'ordre S d'une façon générale, on aura :

$$D_N(s) = \sum_{l=1}^N X_l = \text{Max}_{1 \leq u \leq N} \left(\sum_{l=1}^u A_l - \sum_{l=1}^{u-1} B_l \right)$$

Pour chaque ordre S, nous pouvons calculer les temps morts donc il y a autant de variantes de lancement des taches en fabrication que d'ordres S. Le problème est très compliqué il y a N! ordres possibles.

Un algorithme heuristique fut proposé par Johnson, c'est un algorithme qui a donné de bons résultats.

a) ALGORITHME DE JOHNSON

Considérons deux sections technologiques M1 et M2 et N taches i

i = 1, N
j = 1, 2

| Tâches I | M1 | M2 |
|----------|-----------------|-----------------|
| 1 | T ₁₁ | T ₁₂ |
| 2 | T ₂₁ | T ₂₂ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| i | T _{i1} | T _{i2} |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| N | T _{N1} | T _{N2} |

T_{ij} = durée de réalisation de la tache i sur la section j.

- 1/ Chercher Min (T_{ij})
- 2/ Si j = 1 ; c'est-à-dire le temps minimal opératoire T_{ij} appartient à la section M1, classer la tache i correspondante la première dans l'ordre d'exécution.
Si j = 2 c'est-à-dire le temps minimal opératoire T_{ij} appartient à la section M2, classer la tache i correspondante la dernière.
- 3/ Rayer la tache classée et recommencer les opérations 1 et 2 jusqu'au classement de toutes les taches.

342 CAS GENERAL: N TACHES, M SECTIONS TECHNOLOGIQUES.

Nous disposons de N tâches (lots de produits) et M sections technologiques.

A la période T_p , nous voulons lancer ces lots de produits qui sont des commandes-clients en fabrication. Nous savons que ces tâches s'exécutent d'une façon séquentielle.

Quel est l'ordre optimal de lancement des tâches en production de façon à minimiser la durée totale T d'exécution.

Parmi toutes les variantes possibles, il y en a une et une seule qui présente un temps mort minimal.

Soit: T_{ij} la durée de la tâche i sur la section j

$M A (I,J)$ la matrice totale de réalisation

$$I = 1, N$$

$$J = 1, M$$

| I | J | 1 | 2 | ... | j | ... | M |
|---|---|----------|----------|-----|----------|-----|----------|
| 1 | | T_{11} | T_{12} | ... | T_{1j} | ... | T_{1M} |
| 2 | | T_{21} | T_{22} | ... | T_{2j} | ... | T_{2M} |
| ⋮ | | ⋮ | ⋮ | | ⋮ | | ⋮ |
| i | | T_{i1} | T_{i2} | ... | T_{ij} | ... | T_{iM} |
| ⋮ | | ⋮ | ⋮ | | ⋮ | | ⋮ |
| N | | T_{N1} | T_{N2} | ... | T_{Nj} | ... | T_{NM} |

Si $T_{ij} = 0$, la tâche i ne s'exécute pas sur la section j .

34-2 PRESENTATION DE L'ALGORITHME :

La méthode consiste à ramener le problème N tâches M sections technologiques à plusieurs problèmes N tâches deux sections technologiques qu'on appellera ; problèmes auxiliaires .

Soit M le nombre de sections technologiques , le nombre de problèmes auxiliaires est égal à :

$$P = M - 1$$

Posons T_{ij} $i = 1, \dots, N$; $j = 1, \dots, M$ le temps du processus de la i^{e} tâche sur la j^{e} section , le problème auxiliaire N tâches deux sections pourrait être présenté comme suit :

$$\left. \begin{aligned} X^R(i,1) &= \sum_{j=1}^R T_{ij} && \text{le temps du processus de la } i^{\text{e}} \text{ tâche sur} \\ &&& \text{la section 1 (M1)} \\ X^R(i,2) &= \sum_{j=M+1}^{M+R} T_{ij} && \text{le temps du processus de la } i^{\text{e}} \text{ tâche} \\ &&& \text{sur la section 2 (M2)} . \end{aligned} \right\}$$

Le nombre de séquences k est égal au nombre de problème auxiliaires

$$k = P$$

A chaque problème auxiliaire on fait appel à l'algorithme de JOHNSON (N tâches deux sections) pour déterminer un ordre optimal de lancement des tâches en fabrication avec le temps total de réalisation les temps morts compris .

A chaque problème auxiliaire nous aurons une variante, donc nous aurons k variantes possibles . La variante optimale est celle qui présente le temps de réalisation total minimal.

342-2 ALGORITHME HEURISTIQUE GENERAL

(voir fig. IV)

4 APPLICATION

4.1 DONNEES

Le service commercial enregistre en moyenne 17 commandes par mois. Ces commandes diffèrent par leur nature et par leur quantité. Si le produit commandé est disponible en stock, le client est servi dans l'immédiat et après la livraison le service ordonnancement reçoit l'ordre pour approvisionner le stock.

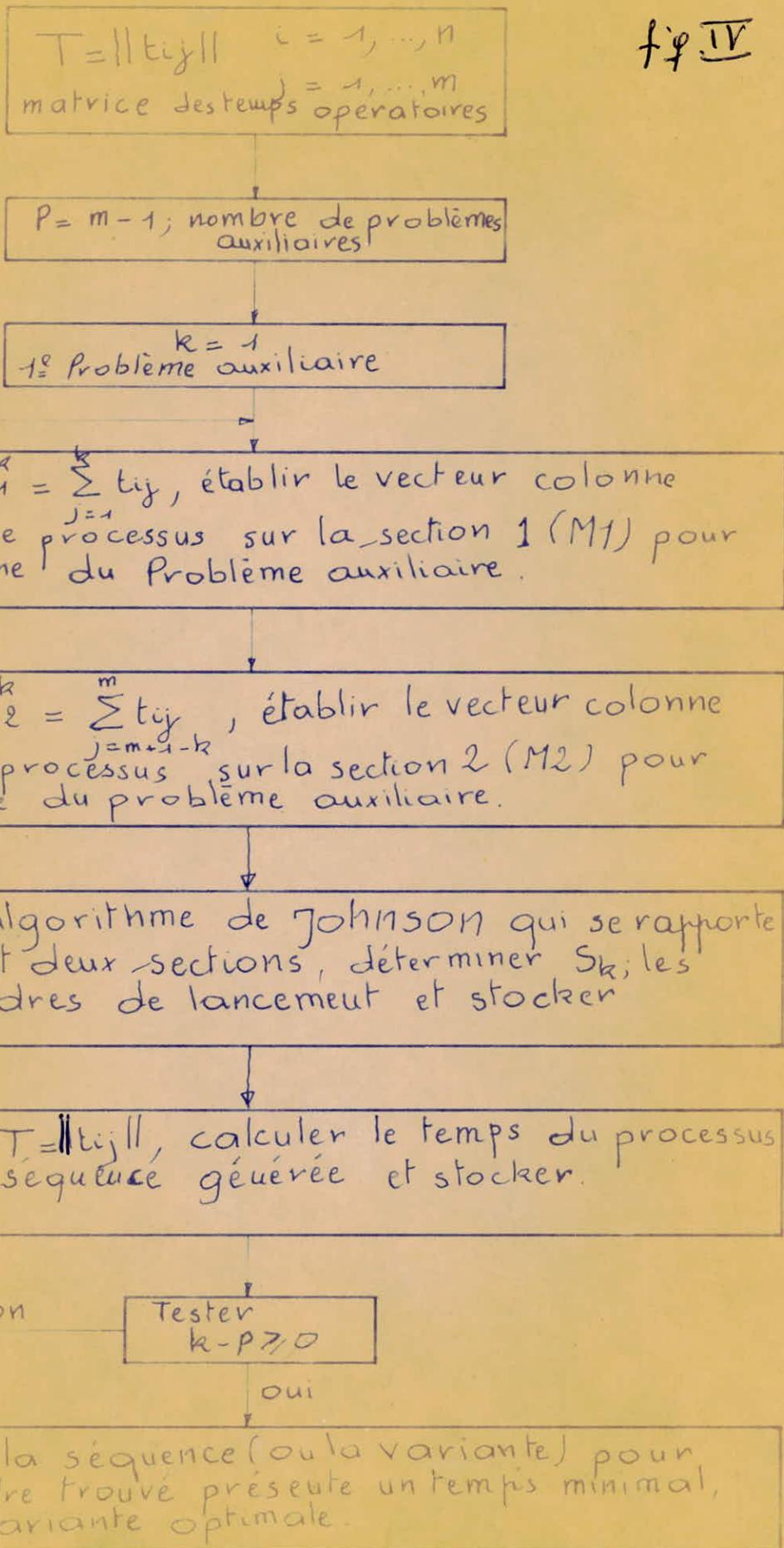
Si le produit commandé est spécial ou il n'est pas disponible en stock le client doit attendre un certain délai jusqu'à son lancement en production et sa réalisation.

APPLICATION

Considérons les 17 commandes à lancer en fabrication à la période P (la période étant le mois)

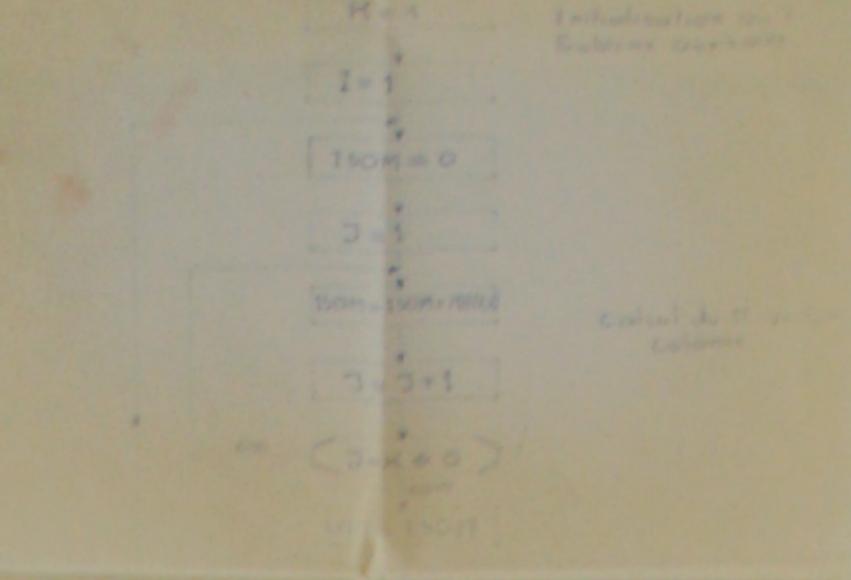
| N° des commandes | Nature | Quantité | Date de réception |
|------------------|-----------------|------------------------|-------------------|
| 1 | portes | 500 | ... |
| 2 | persiennes | 200 | ... |
| 3 | châssis | 200 | ... |
| 4 | croisés | 200 | ... |
| 5 | volets roulants | 100 m/1 | ... |
| 6 | préfabriqué | 50 m ² /sol | ... |
| 7 | panneaux | 20 m ² | ... |
| 8 | volets roulants | 120 m/1 | ... |
| 9 | panneaux | 50 m ² | ... |
| 10 | préfabriqué | 20 m ² | ... |
| 11 | portes | 300 | ... |
| 12 | croisés | 80 | ... |
| 13 | panneaux | 80 m ² /sol | ... |
| 14 | persiennes | 100 | ... |
| 15 | portes | 180 | ... |
| 16 | préfabriqué | 10 m ² /sol | ... |
| 17 | châssis | 30 | ... |

fig IV



Matrice des durées de chaque tâche sur
les différentes sections technologiques
 (en heures)

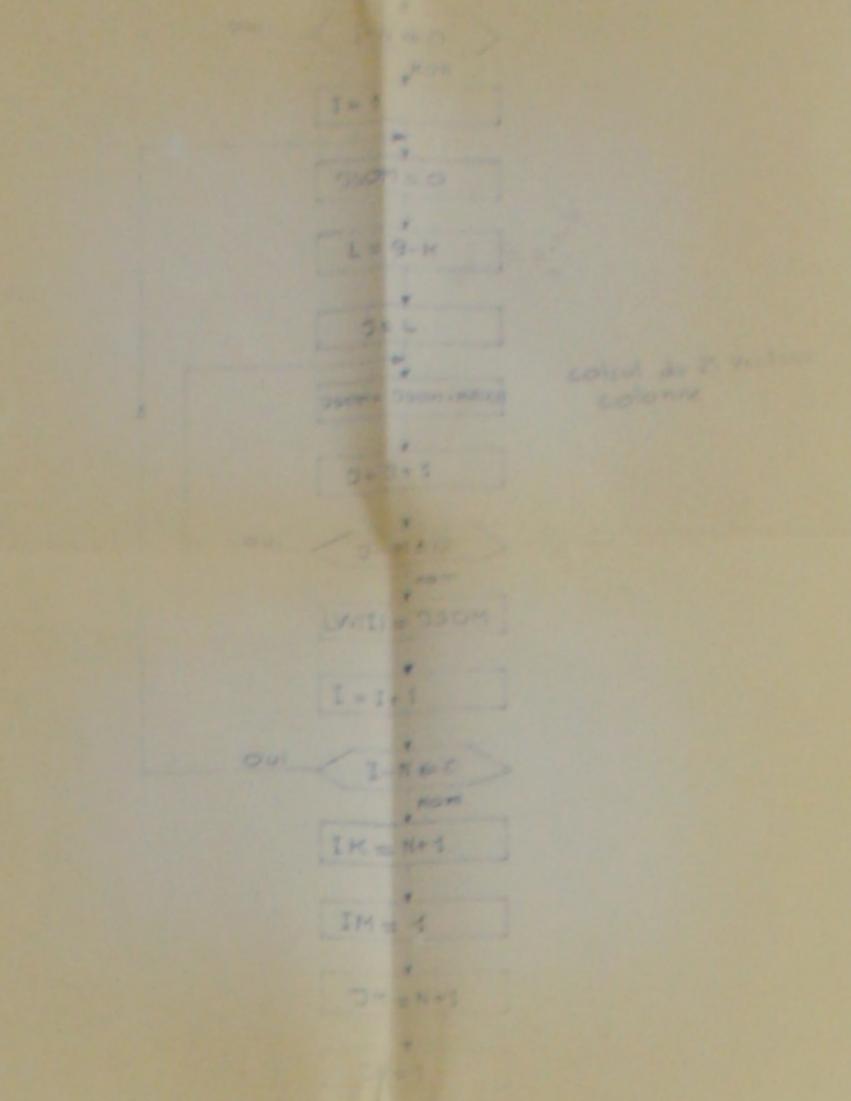
| Sections commandées | debitage | machinage I | machinage II | Portes | volets roulants | Préfabriqué | montage | Ferrage |
|------------------------|----------|----------------|-----------------|--------|--------------------|-------------|---------|---------|
| 1 | 508 | 333 | 200 | 730 | 0 | 0 | 0 | 375 |
| 2 | 126 | 113 | 396 | 0 | 0 | 0 | 93 | 86 |
| 3 | 106 | 100 | 366 | 0 | 0 | 0 | 76 | 70 |
| 4 | 156 | 120 | 423 | 0 | 0 | 0 | 76 | 83 |
| 5 | 81 | 0 | 0 | 0 | 215 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 38 | 35 | 40 | 0 | 0 | 35 | 0 | 0 |
| 7 | 16 | 15 | 17 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 |
| 8 | 98 | 0 | 0 | 0 | 266 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 41 | 39 | 40 | 0 | 0 | 38 | 0 | 0 |
| 10 | 15 | 14 | 16 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 |
| 11 | 305 | 200 | 120 | 440 | 0 | 0 | 0 | 225 |
| 12 | 63 | 48 | 169 | 0 | 0 | 0 | 30 | 33 |
| 13 | 64 | 60 | 68 | 0 | 0 | 60 | 0 | 0 |
| 14 | 63 | 57 | 197 | 0 | 0 | 0 | 47 | 43 |
| 15 | 183 | 120 | 72 | 264 | 0 | 0 | 0 | 135 |
| 16 | 8 | 7 | 8 | 0 | 0 | 7 | 0 | 113 |
| 17 | 16 | 15 | 55 | 0 | 0 | 0 | 9 | 11 |



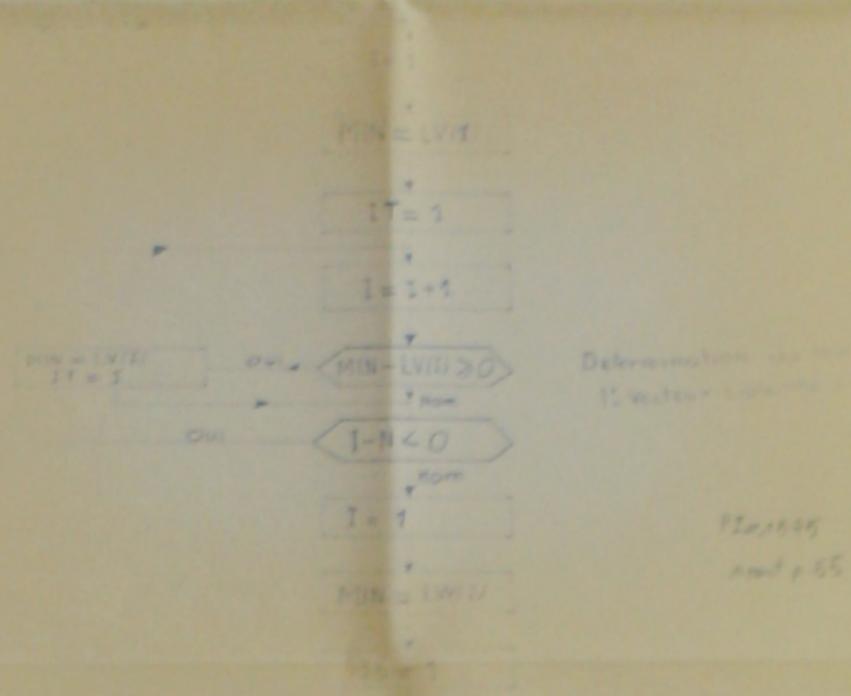
matrice des poids
supérieurs

Initialisation du
Système courant

Calcul de σ_j
colonne

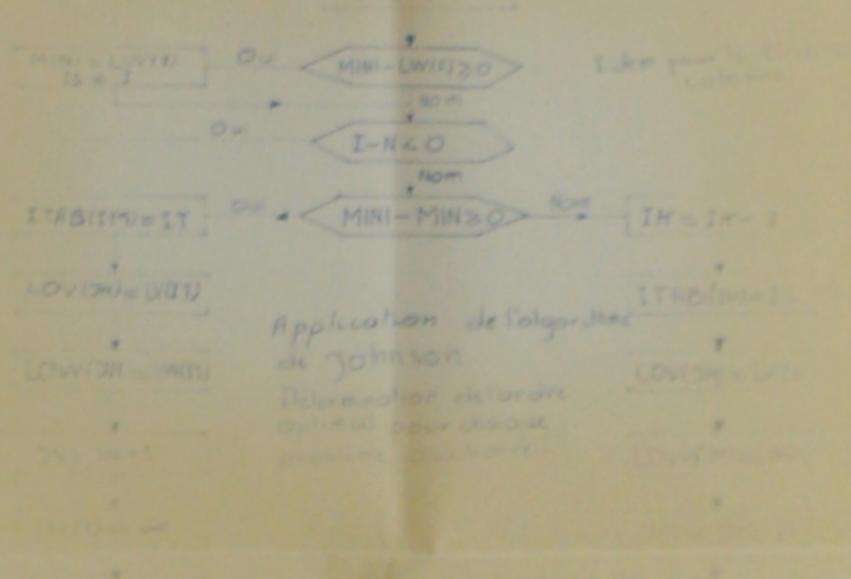


Calcul de 2^e valeur
colonne



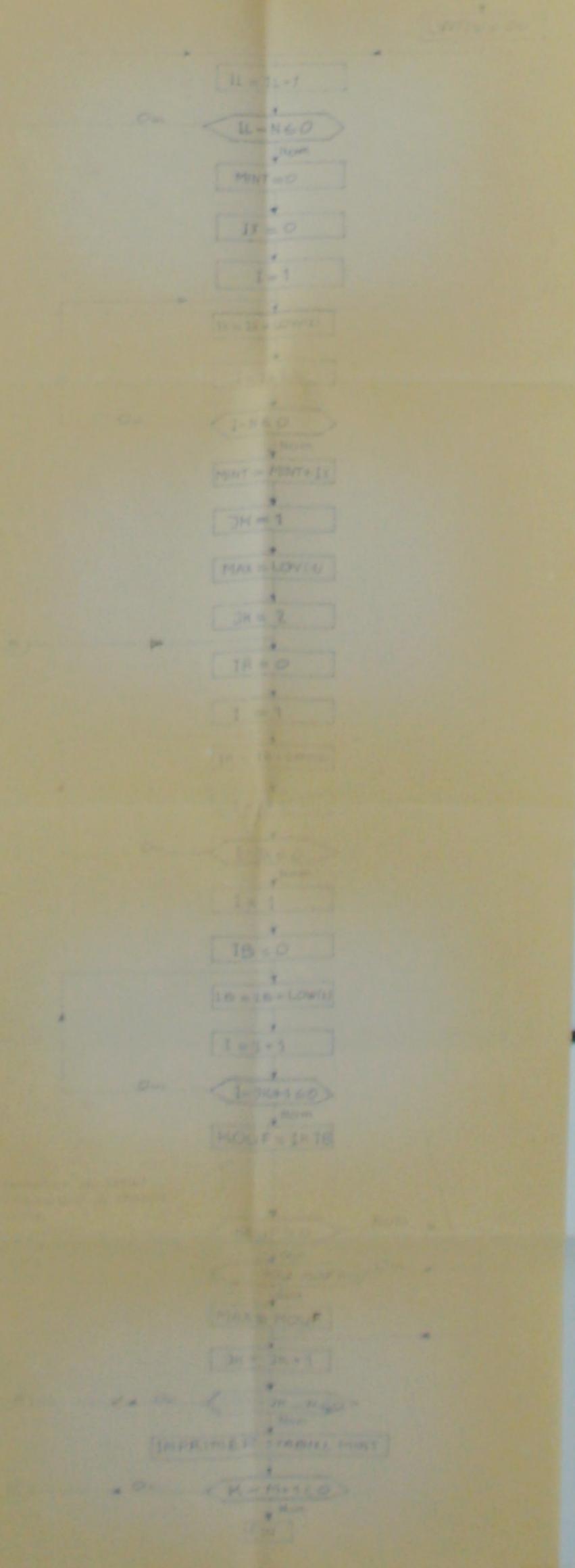
Détermination de la
1^{re} valeur colonne

Page 65
and p 65



Loop pour la 2^e valeur
colonne

Application de l'algorithme
de Johnson
Détermination de l'ordre
optimal pour chaque
programme



4 3 PROGRAMMATION

4 3-1 Données

- MA(I,J) : matrice des temps du processus de réalisation des commandes I sur les sections J.
- N : nombre des commandes à lancer en fabrication à la période P
- M : nombre des sections du processus technologique

4 3-2 Variables

- K : nombre de problèmes auxiliaires ou variantes possibles de lancement des tâches en exécution
- LV(I) : Vecteur colonne des temps du processus sur la section technologique M1 pour le Kième problème auxiliaire.
- LW(I) : Vecteur colonne des temps du processus sur la section technologique M2 pour le Kième problème auxiliaire.
- LOV(I) : Vecteur colonne des temps du processus ordonné suivant l'ordre d'exécution sur la section technologique M1 pour le Kième problème auxiliaire.
- LOW(I) : Vecteur colonne des temps du processus ordonné suivant l'ordre de lancement en exécution sur la section technologique M2 pour le Kième problème auxiliaire.
- MAX : durée des temps morts ou durée de non travail des sections technologiques présentée par le Kième problème auxiliaire ou la variante K
- MINT : durée totale de réalisation des tâches lancées en exécution à la période P, présentée par le Kième problème auxiliaire ou la variante K
- ITAB : tableau donnant l'ordre optimal de lancement des tâches en exécution correspondant à chaque variante .

4 3-3 PROGRAMME:

```
DIMENSION MA(N,M), ITAB(N), LV(N), LW(N), LOV(N), LOW(N)
READ(2,1) ((MA(I,J), J=1,M), I=1,N)
1  FORMAT(8I4)
   DO 33 K=1,M
     I=1
7   ISOM=0
     J=1
5   ISOM=ISOM+MA(I,J)
     J=J+1
     IF(J-K) 5,5,6
6   LV(I)=ISOM
     I=I+1
     IF(I-N) 7,7,8
8   I=1
     L=M+1-K
12  JSOM=0
     J=L
10  JSOM=JSOM+MA(I,J)
     J=J+1
     IF(J-M) 10,10,11
11  LW(I)=JSOM
     I=I+1
     IF(I-N) 12,12,13
13  IK=N+1
     IM=1
     IL=1
     JN=1
     JM=N+1
24  I=1
     MIN=LV(1)
     IT=1
14  I=I+1
```

```

    IF(MIN=LV(I)) 72,32,32
32  MIN=LV(I)
    IT=I
72  IF(I=N) 14,15,15
15  I=1
    MINI=LW(1)
    IS=1
18  I=I+1
    IF(MINI=LW(I)) 16,17,17
17  MINI=LW(I)
    IS=I
16  IF(I=N) 18,20,20
20  IF(MINI=MIN) 22,23,23
22  IK=IK-1
    ITAB(IK)=IS
    JM=JM-1
    LOV(JM)=LV(IS)
    LOW(JM)=LW(IS)
    LV(IS)=A
    LW(IS)=A
    GOTO 30
23  ITAB(IM)=IT
    LOV(JN)=LV(IT)
    LOW(JN)=LW(IT)
    JN=JN+1
    LV(IT)=A
    LW(IT)=A
    IM=IM+1
30  IL=IL+1
    IF(IL=N) 24,24,25
25  MINT=0
    IX=0
    DO 50 I=1,N
50  IX=IX+LOW(I)
```

A nombre choisi très grand relativement aux temps opératoires

4.4 Présentation des résultats

4.4-1 Variantes possibles

| Variantes | ordre de lancement en fabrication (des commandes) | Durée des temps morts (en heures) | Durée de réalisation pour chaque variante |
|-----------|---|-----------------------------------|---|
| 1 | 16-1-11-15-2-4-3 14-12-17-5-6-7- 8-9-10-13 | 713 | 1887 |
| 2 | 16-1-11-2-4-3-15 14-12-17-5-6-7 8-9-10-13 | 1658 | 3163 |
| 3 | 16-1-11-2-4-3-15 14-12-13-6-17-7-9 10-5-8 | 3700 | 5350 |
| 4 | 16-5-8-1-11-2-4-3- 15-14-12-13-6-17-7- 9-10 | 4679 | 6798 |
| 5 | 16-1-11-15-8-5-2-4 3-14-12-13-6-17-7-9 -10 | 3714 | 7267 |
| 6 | 16-1-11-4-2-3-15-14 8-12-5-13-6-17-9 -7-10 | 1688 | 7428 |
| 7 | 16-1-11-4-2-3-15 14-12-8-5-13-6-9 17-7-10 | 1666 | 8682 |

Ce premier programme nous présente 7 variantes possibles des commandes en fabrication. De ces variantes, la variante 1 est celle qui présente temps réalisation minimal.

Cependant si cette période est très bénéfique pour l'entreprise, les clients n'acceptent pas un mois pour savoir le délai de livraison probable de leur commande. Par conséquent, le service ordonnancement est amené à opter pour une période qui satisfait le client.

PERIODE DE LANCEMENT: une semaine

Supposons que nous sommes à la fin de la semaine du mois M, jusqu'à ce jour le service ordonnancement a reçu du service commercial approximativement 7 commandes - clients.

Le service ordonnancement détermine l'ordre optimal de lancement et suivant la charge actuelle des sections de fabrication et la disponibilité des matières premières, lance en exécution les commandes ordonnées. La même opération va se répéter chaque semaine.

APPLICATION:

Considérons les 7 premières commandes reçues jusqu'à la fin de la première semaine du mois M (voir page 53)

Le programme de la méthode heuristique nous donne les résultats de la page suivante.

1^{re} période:

Variante optimale:

| variante | ordre de fabrication | Temps de réalisation (heures) | Temps morts (heures) |
|----------|----------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 1 | 1- 2- 4- 3- 5- 6- 7 | 1122 | 508 |

1^{eme} Période:

| Variantes | ordre de fabrication | Temps de réalisation (heures) | Temps morts (heures) |
|-----------|----------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1 | 1- 2- 4- 3- 5- 6- 7 | 1122 | 508 |
| 2 | 1- 2- 4- 3- 5- 6- 7 | 1747 | 888 |
| 3 | 1- 2- 4- 3- 6- 7- 5 | 3189 | 2280 |
| 4 | 5- 1- 2- 4- 3- 6- 7 | 3934 | 2832 |
| 5 | 1- 5- 2- 4- 3- 6- 7 | 4167 | 2315 |
| 6 | 1- 4- 2- 3- 5- 6- 7 | 5065 | 1771 |
| 7 | 1- 4- 2- 3- 5- 6- 7 | 5781 | 1771 |

2^{eme} Période:

| Variantes | ordre de fabrication | Temps de réalisation (heures) | Temps morts (heures) |
|-----------|----------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1 | 4- 7- 5- 1- 2- 3- 6 | 649 | 348 |
| 2 | 4- 7- 5- 1- 2- 3- 6 | 1067 | 689 |
| 3 | 4- 7- 5- 6- 2- 3- 1 | 1677 | 1211 |
| 4 | 1- 4- 7- 5- 6- 2- 3 | 2131 | 1409 |
| 5 | 4- 1- 7- 5- 6- 2- 3 | 2387 | 1225 |
| 6 | 4- 7- 1- 5- 6- 2- 3 | 2837 | 1065 |
| 7 | 4- 7- 5- 1- 6- 2- 3 | 3255 | 1065 |

Variante optimale : à la 2^{eme} période

| variante | ordre de fabrication | Temps de réalisation (heures) | Temps morts (heures) |
|----------|----------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1 | 4- 7- 5- 1- 2- 3- 6 | 649 | 348 |

44-2 GRAPHIQUE DE CHARGE DES SECTIONS DE FABRICATION:

Le graphique de charge permet de connaître à un moment donné la charge totale par type de section technologique et le temps total de main d'oeuvre. Il nous permet aussi le contrôle d'exécution des ordres affectés. Lorsque une section est saturée avant que la charge totale de main d'oeuvre ne le soit, il faut choisir entre deux solutions:

- Retarder les travaux suivant.
- Ou répartir ces travaux sur une section disponible.

(voir fig. V11)

44-3 GRAPHIQUE DE GANTT:

Le graphique de GANTT représente la charge et l'ordonnance-
ment en fonction du temps; c'est à dire l'avancement réel comparé aux
p révisions d'avancement.

Sur le graphique de GANTT le temps figure en abscisse, les sections tech-
nologiques en ordonnées. Le contrôle s'effectue par le tracé des lignes
horizontales.

A l'aide du graphique de GANTT, nous analysons le processus de fabrica-
-tion afin de déterminer le cycle d'obtention de chaque commande.

(voir les pages suivantes les cycles d'obtention des commandes
lancées en fabrication à la première période)

GRAPHIQUE DE CHARGES DES SECTIONS TECHNOLOGIQUES

(1^{ère} semaine du mois)

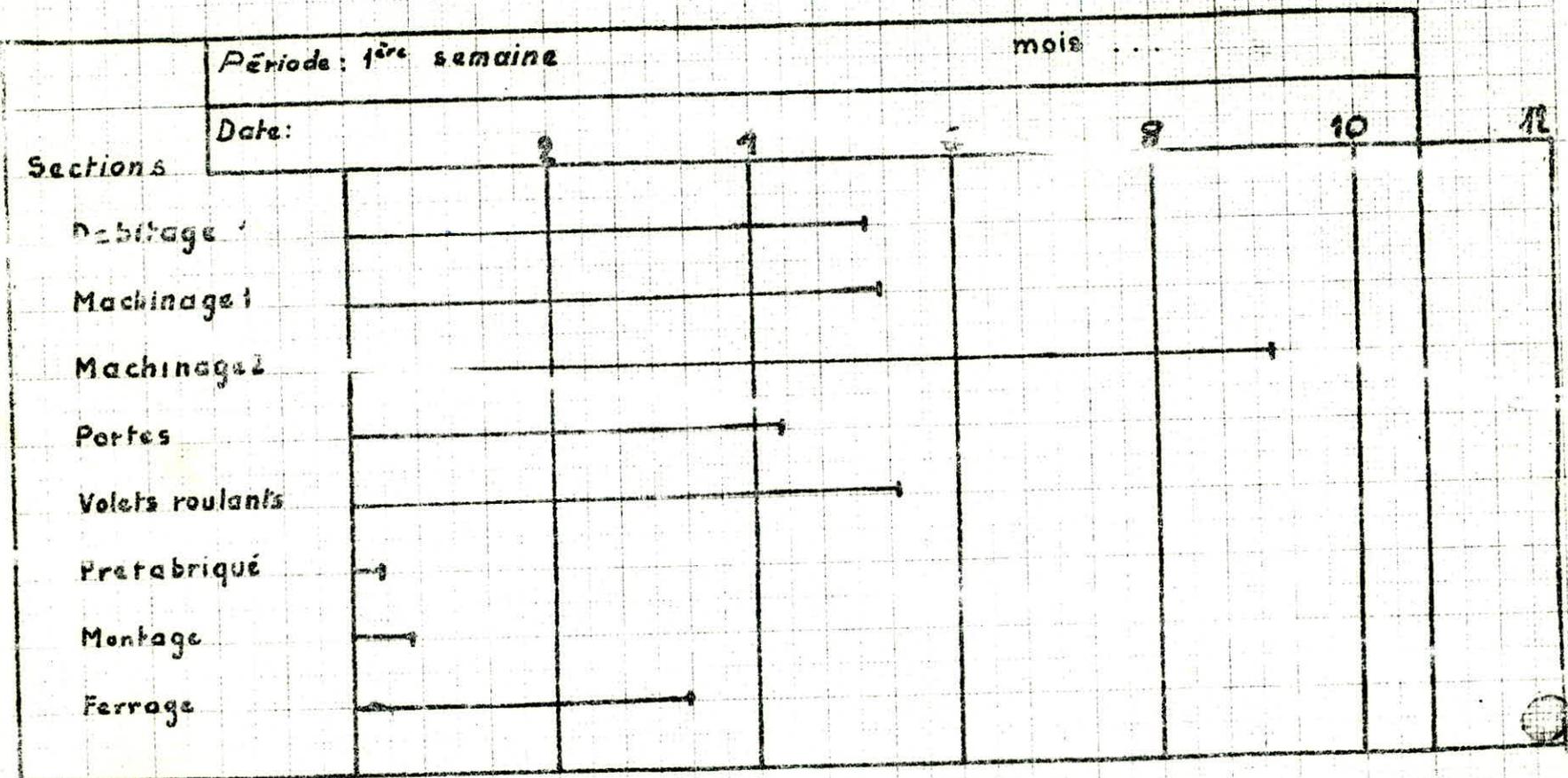


Fig VII

Echelle: 15 mm = 1 mois

CYCLE D'OBTENTION DE CHAQUE COMMANDE

| Commande N° 1 | Semaine ... | mois ... |
|---------------------------------|-------------|----------|
| Nature: Portes Quantité: 500 | Equipar | 269 |
| | Heures | 2154 |
| | Jours | 135 |
| Sections | | |
| Débitage | 32 | |
| Machinage 1 | 21 | |
| Machinage 2 | 13 | |
| Portes | 46 | |
| Volets roulants | | |
| Préfabriqué | | |
| Montage | | |
| Ferrage | 24 | |

Echelle : 1 mm = 1 jour

CYCLE D'OBTENTION DE CHAQUE COMMANDE

| Commande N°2 | Semaine ... | | mois ... |
|---------------------------------------|-------------|-------|----------|
| Nature : Persiennes Quantité : 200 | Equipes | 104 | |
| | Heures | 830 | |
| Sections | Jours | 52 | |
| Débitage | | ┌ | |
| Machinage 1 | | ┌ | |
| Machinage 2 | | ┌───┐ | |
| Portes | | | |
| Volets roulants | | | |
| Pre fabriqué | | | |
| Montage | | | ┌ |
| Ferrage | | | ┌ |

Echelle : 1mm = 1 jour

CYCLE D'OBTENTION DE CHAQUE COMMANDE

| Commande N°3 | Semaine ... | | mois.. |
|------------------------------------|-------------|------|--------|
| Nature : châssis Quantité : 200 | Equipes | | |
| | Jours | 48 | |
| | heures | 856 | |
| Sections | | | |
| débitage | | — | |
| Machinage 1 | | — | |
| Machinage 2 | | ———— | |
| Portes | | | |
| volets roulants | | | |
| Pré fabriqué | | | |
| Montage | | | — |
| Ferrage | | | — |

Echelle : 1mm = 1 jour

CYCLE D'OBTENTION DE CHAQUE COMMANDE

| Commande N°4 | Semaine... | Mois... | |
|-----------------------------------|------------|--------------|-------|
| Nature : Croisé Quantité : 200 | Equipes | 464 | |
| | Heures | 928 | |
| Sections : | Jours | 58 | 58 |
| Bébitage | | ┌───┐ | |
| Machinage 1 | | ┌───┐ | |
| Machinage 2 | | ┌──────────┐ | |
| Portes | | | |
| Volets roulants | | | |
| Préfabriqué | | | |
| Montage | | | ┌───┐ |
| Ferrage | | | ┌───┐ |

Echelle : 1mm = 1 jour

CYCLE D'OBTENTION DE CHAQUE COMMANDE

| Commande N°5 | Semaine ... | | Mois ... |
|--|-------------|-----|----------|
| Nature : volets R. Quantité : 100 mIP | Equipes | 37 | |
| | Heures | 294 | |
| Sections | Jours | 37 | 37 |
| Débitage | | — | |
| Machinage 1 | | | |
| Machinage 2 | | | |
| Portes | | | |
| Volets roulants | | — | |
| Préfabriqué | | | |
| Montage | | | |
| Ferrage | | | |

CYCLE D'OBTENTION DE CHAQUE COMMANDE

| Commande N° 6 | Semaine... | Mois... |
|--|------------|---------|
| Nature : Prefabriquée Quantité : 50 m ² /100 | Equipes | 20 |
| | Heures | 160 |
| | Jours | 20 |
| Sections | | |
| Débitage | | ┌ |
| Machinage 1 | | ┌ |
| Machinage 2 | | ┌ |
| Portes | | |
| Volets roulants | | |
| Prefabriquée | | ┌ |
| Montage | | |
| Ferrage | | |

Echelle : 1 mm = 1 jour

CYCLE D'OBTENTION DE CHAQUE COMMANDE

| Commande N°7 | Semaine ... | Mois ... |
|--|-------------|----------|
| Nature: Panneau Quantité: 20 m ² | Equipes | 8 |
| | Heures | 64 |
| Sections | Jours | 8 |
| Débitage | | |
| Machinage 1 | | |
| Machinage 2 | | |
| Portes | | |
| Volets roulants | | |
| Préfabriqué | | |
| Montage | | |
| Ferrage | | |

Echelle : 1 mm = 1 jour

ALGORITHME BOOLEEN

$MA (J, M)$ matrice des temps opératoires

$F(J) ; I = 1, M$

Ensemble des commandes à la période P

$B(J) ; J = 1, N$

Ensemble des sections technologiques ou points de
Traitement

S_e : Ensemble des variantes

$d_{S_e}^k$: durée k possible pour chaque variante S_e
 $T_{S_e}^k$: temps de réalisation de chaque variante

des k possibles retenir S_e^k :

$$T = \min_{k} T_{S_e}^k ;$$

Variante Optimale :

$$T_{st}^{opt} = \min_{S_e} \left(\min_k (T_{S_e}^k) \right)$$

4.5. Algorithme Booléen (voir fig. VII1)

Le problème général de la théorie des horaires: N pièces (ou lot de pièces) et M machines (ou sections technologiques) est un problème combinatoire du type extrémal ramené à un problème de programmation linéaire en nombres entiers. Toutefois sa résolution présente beaucoup de difficultés par le nombre très grand de variantes $(N!)^M$ et le nombre très grand de contraintes soit:

$$N_c = N(M(2k_N + 1) + k_N) + k_N(M-1)$$

N: nombre de pièces

M: nombre de machines ou sections

$$k_N / T = k_N$$

La résolution de ce problème est très difficile pour les ordinateurs actuelles .

CONCLUSION :

Le modèle ainsi élaboré permet au service ordonnancement la détermination des ordres de fabrication ainsi que les cycles de production de chaque commande. En collaboration avec le service ordonnancement, le service commercial peut déterminer les délais probables de livraison des commandes à leurs clients

Malgré les difficultés de résolution du problème de la théorie des horaires qui est un problème combinatoire du type extrémal, l'algorithme heuristique a donné des résultats acceptables.

L'étude expérimentale du modèle a donné de bons résultats, faute de données quantitatives nous n'avons pas pu vérifier l'efficacité du système pour pouvoir comparer avec le système existant.

En réalité le problème est plus complexe; pour une étude rationnelle, les temps opératoires d'exécution des pièces doivent être déterminés par un chronométrage, tenir compte des pannes des machines, de l'absence des ouvriers et de la disponibilité des matières premières. Pour cela, il faut simuler les différentes positions, ceci dépasse le cadre de notre étude.

BIBLIOGRAPHIE

- Journal of the institute of management science, volume 16/ N°10/ june 1970
(CAMPBELL-DUDEK)
- Le planning de la production et le contrôle des stocks
(J.F. MAGEE)
- Eléments de recherche opérationnelle
(C.W. CHURCHMAN)
- Cours manuscrit d'organisation de la production dispensé à l'école
nationale polytechnique d'Alger par M^{me} C. STIRBU

