

## Objectifs

Cette ressource est destinée principalement à des étudiants engagés dans des études de gestion et qui ont besoin de connaître les spécificités de la gestion des flux pour pouvoir dialoguer avec un responsable de production et comprendre ses préoccupations, son vocabulaire, les principaux outils et méthodes utilisés en gestion de production.

Pré-requis :

Il n'y a pas de pré-requis particuliers autres que ceux normalement attendus d'un étudiant de licence en économie gestion. La ressource peut être utilisée au niveau licence ou dans le cadre d'un diplôme de master donnant une double compétence en gestion.

L'objectif n'étant pas de former des responsables de production opérationnels mais plutôt de sensibiliser des gestionnaires aux problématiques de la gestion des flux internes.

## Introduction

Cette ressource concerne principalement la gestion des flux internes, elle ne traite pas des flux externes (Flux d'approvisionnement ou flux amont : circulation des matières et consommables depuis le magasin du fournisseur jusqu'au magasin de l'entreprise cliente et flux de distribution ou flux aval : circulation des produits finis ou semi-finis de l'entrepôt de l'entreprise jusqu'à celui d'une autre entreprise cliente.)

Après avoir présenté les différents types (production, vente et élaboration du produit) de flux, sont définies les notions de charge et de capacité, les causes de variation de flux ainsi que la différence entre flux tirés et flux poussés.

Les problématiques liées à l'ordonnancement et notamment, la planification l'implantation et les ressources goulots, sont détaillées et présentées à l'étudiant sous forme de cas simplifiés mais concrets. Les difficultés liées à ces problématiques ainsi que les méthodes utilisées y sont bien mises en évidence. Les exercices associés permettent aussi de mettre en œuvre ces méthodes.

Les principes du juste à temps sont explicités et illustrés avec un mode de gestion des flux : le Kanban et une méthode de changement de séries : le SMED. Les exercices associés sont tirés de cas réels.

La structure de mise en œuvre utilisant le MRP est décrite ainsi que le principe de calcul des besoins.

Le choix d'un logiciel de gestion de production ainsi que les fonctions attendues sont abordées.

Des méthodes d'améliorations de la qualité utilisées en gestion des flux sont présentées, elles portent essentiellement sur le contrôle de réception, la maîtrise statistique des procédés et la maintenance.

## Présentation

La ressource est composée de 12 leçons indépendantes, chaque leçon comporte une partie cours incluant les concepts fondamentaux et des exemples nécessaires à l'acquisition des objectifs pédagogiques. Pour chaque leçon il existe des exercices permettant aux étudiants de valider l'acquisition et la maîtrise des concepts du cours. Ces exercices peuvent être interactifs et directement réalisables à l'écran ou à réaliser sur « papier ». Tous les exercices comportent un corrigé (les corrigés sont disponibles aux membres d'Aunege). Des animations permettent de représenter des types de gestion des flux tels que le Kanban.

Les deux premières leçons introduisent les connaissances nécessaires à la compréhension des autres. Leur consultation est donc vivement conseillée avant d'aborder les autres leçons. Les autres leçons peuvent ensuite être consultées sans ordre précis excepté la leçon MRP calcul des besoins qui nécessite la lecture de la leçon structure du MRP.

## Typologie, flux

### Introduction

A l'issue de la leçon l'étudiant doit être capable : d'identifier les caractéristiques techniques et économiques de gestion des flux.

### Historique

Du fait de l'organisation taylorienne des entreprises la gestion des flux a été confiée au personnel de production ou issu de la production (production, ordonnancement, méthodes) tandis que la gestion des stocks était réservée à de purs gestionnaires (comptables, acheteurs).

Il s'est établi ainsi une véritable séparation du fait du découpage des tâches et de la différence de sensibilité des personnels.

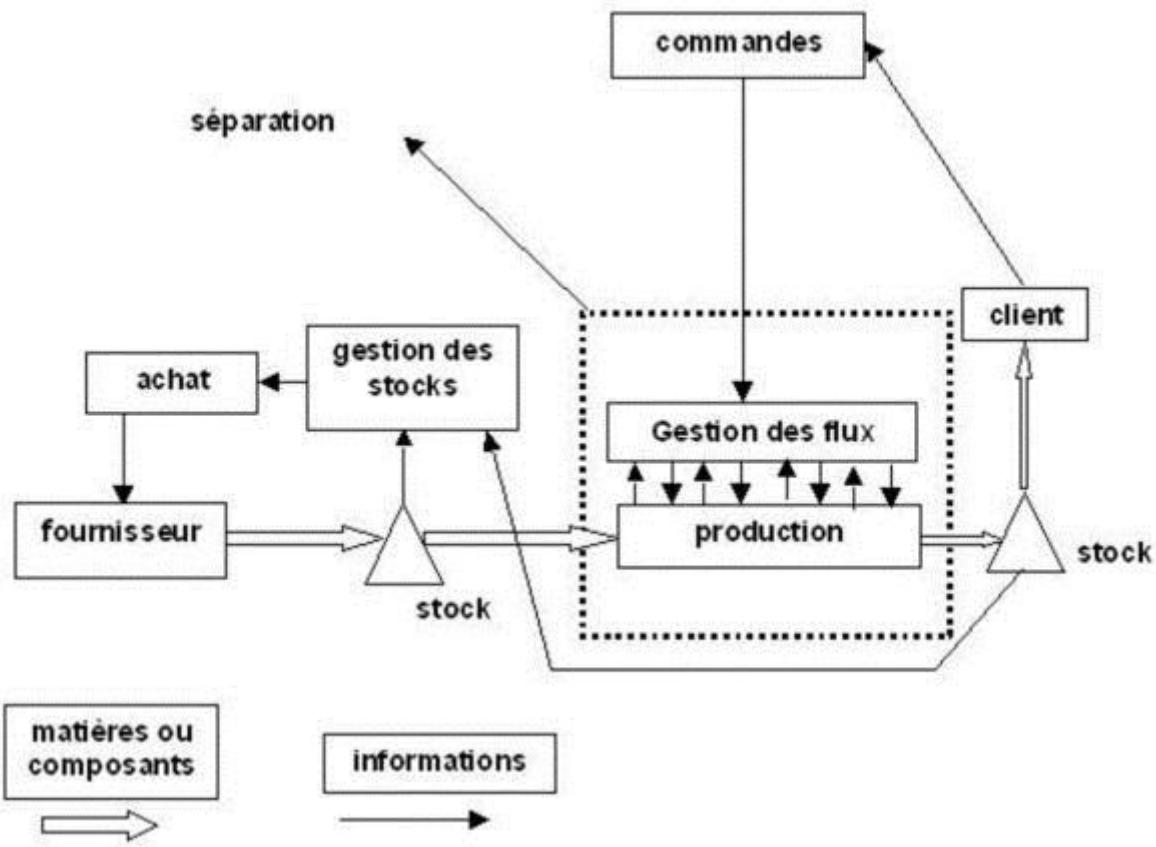
Cette séparation génère encore des conflits ou des incompréhensions lorsque les intérêts des uns sont en opposition à ceux des autres.

Par exemple le gestionnaire du stock a intérêt à minimiser celui-ci alors que le responsable de production ne veut pas prendre le risque de manquer de matière première et d'arrêter la production.

Aussi les outils et méthodes présentés ont été séparés bien qu'en réalité ils ont la plupart du temps une intersection non vide.

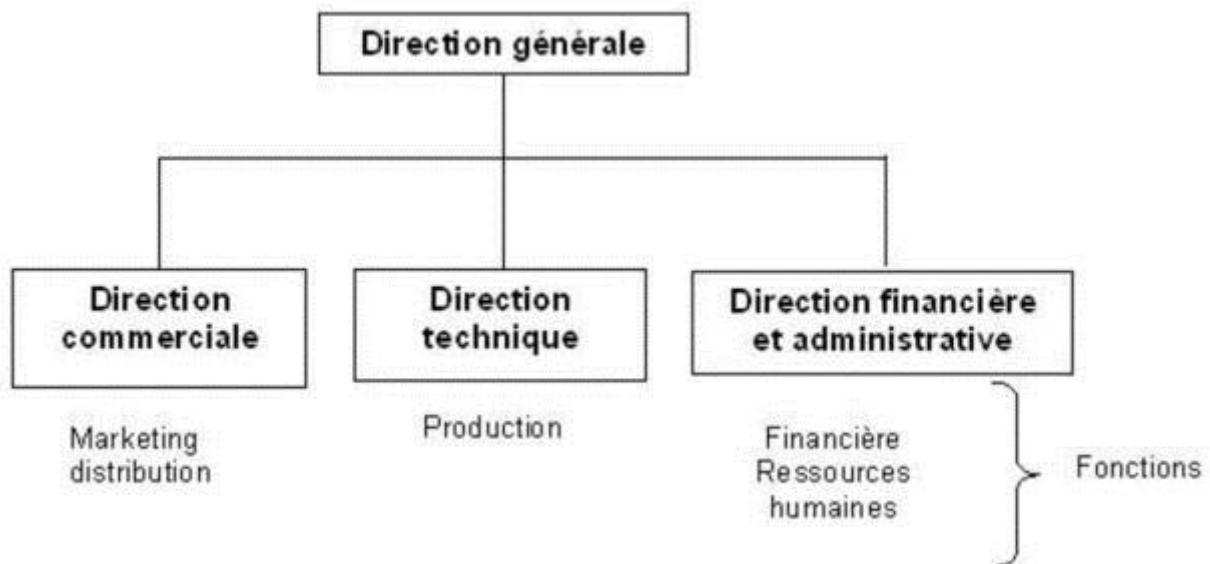
### Exemple:

L'outil Kanban qui permet de gérer les flux de produits mais qui régule aussi les stocks et les en cours.



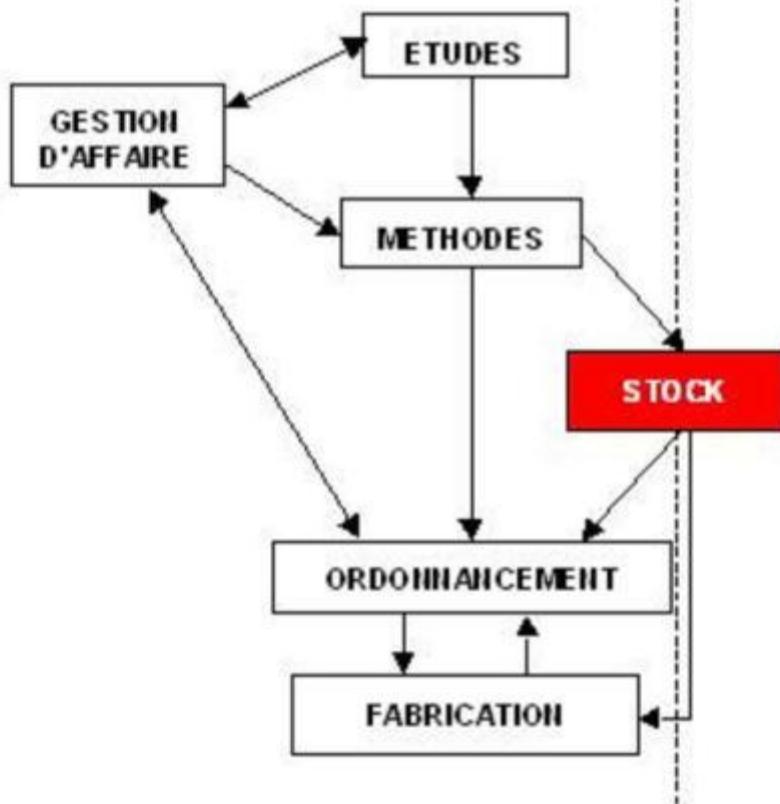
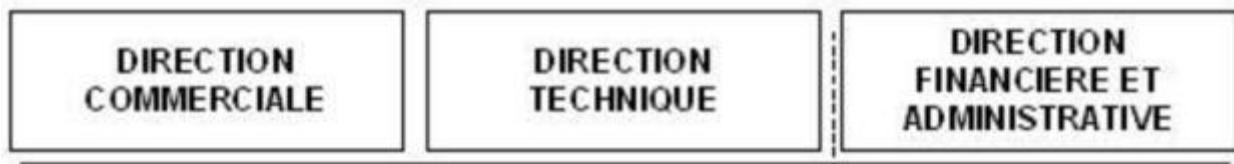
### *L'outil Kanban*

Si l'on simplifie l'organigramme d'une entreprise on peut obtenir une représentation de ce type :



### *Organigramme*

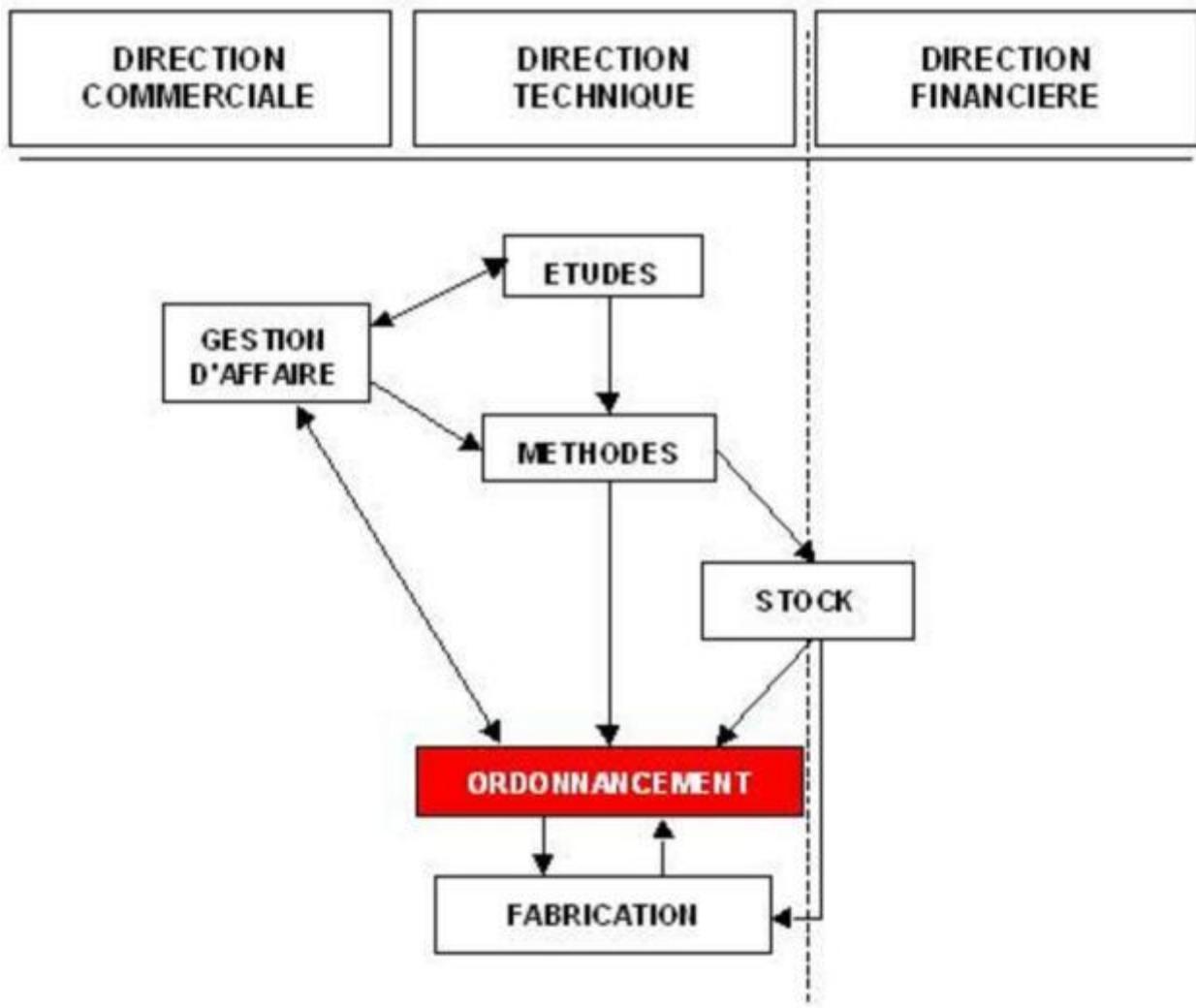
Dans une entreprise fabriquant des produits par montage à partir de produits semi-finis le problème le plus délicat à gérer est celui de la gestion des stocks, en effet le manque d'un seul composant peut stopper toute l'activité de production.



### *Gestion des stocks*

Dans une entreprise fabriquant des produits après transformation de matière, la fabrication a une grande importance car c'est elle qui apporte la valeur ajoutée et c'est là où les investissements sont les plus importants.

Aussi la bonne utilisation des moyens de production au travers de l'ordonnancement et de la gestion des flux prend toute son importance.



### *Ordonnancement*

- **Remarque:**

De nombreuses entreprises fabriquent des produits semi-finis puis effectuent l'assemblage ou le montage ensuite.

Elles sont donc confrontées aux deux types de problèmes (gestion des stocks et gestion des flux).

La préoccupation majeure de la gestion des flux est de satisfaire les besoins du client, pour cela elle doit gérer au mieux deux types de flux en respectant les critères qualité des produits ou services :

**Les flux physiques** : approvisionnement des matières premières, circulation des matières premières, des composants, sortie des produits finis.

**Les flux d'informations** : commandes, ordres de fabrication (OF), gammes, suivi des données techniques, de la maintenance, des rebuts, des consommations matières, des heures de main d'œuvre, d'utilisation des moyens de production.

La gestion des stocks a pour but d'assurer le pilotage des approvisionnements pour satisfaire leur mise à disposition pour l'élaboration des produits ou pour les besoins des clients.

Pour satisfaire ces deux besoins gestions des stocks et des flux, il existe de nombreux outils (MRP0, MRP2, KANBAN, OPT, GESTION DES STOCKS) mais ceux-ci ne peuvent pas être utilisés partout.

Ils sont généralement adaptés à un type d'organisation de la production et ne conviennent pas dans un autre type.

Aussi il faut dans un premier temps définir le type d'organisation. Les critères de classement sont nombreux.

Plusieurs critères peuvent être retenus, les principaux sont :

- le type de flux de production (continu ou discontinu),
- la taille des séries fabriquées (unitaire ou très grande série),
- le type de production (sur stock, à la commande),
- le type de produit.

D'autres critères tels que le type de produits (bien physique ou service) permettent de classer une entreprise et de choisir des méthodes de gestion de production.

## Type des flux de production

### Flux continus

Les exemples les plus caractéristiques de production en continu sont des produits comme le sucre, le pétrole, le ciment, l'acier en coulée continue.

Ce type de flux de production a généralement les caractéristiques suivantes :

- Produit unique ou quasi,
- implantation des machines de façon linéaire,
- peu de flexibilité,
- équilibrage de la capacité des machines très bon,
- peu ou pas d'en cours,
- investissement important et forte automatisation.

- **Remarque:**

On retrouve des caractéristiques identiques pour des produits fabriqués en grande série tels que roulements à billes, embouteillage d'eau minérale.

### Production en discontinu

La production en discontinu est utilisée pour des quantités relativement faibles et pour des produits variés.

Les industries de confection, les industries mécaniques sont des exemples de ce type de production (atelier).

Ce type de flux de production a généralement les caractéristiques suivantes :

- implantation des machines par fonction,
- grande flexibilité car les machines ne sont pas spécifiques,
- équilibrage de la capacité des machines difficile d'où l'apparition d'en cours.

### Production par projet

#### Principales caractéristiques

- La quantité produite est faible, souvent unitaire.
- Le délai de fabrication est généralement impératif et son non respect peut entraîner des pénalités de retard.
- Le projet est constitué d'un grand nombre d'opérations exécutées en séquence ou en parallèle, mais qui sont souvent interdépendantes (antériorités entre elles).
- Les ressources humaines et matérielles sont souvent hétérogènes car elles proviennent d'entreprises ou de services différents.
- Un projet a un début et une fin.

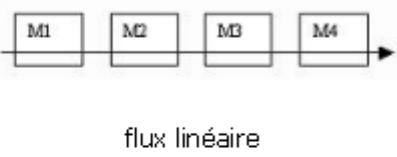
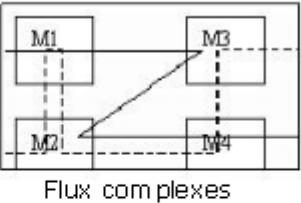
Ces différentes caractéristiques impliquent une organisation spécifique de gestion.

#### Exemple:Les exemples de production sous forme de projet

Un pont, un navire, une formule 1, un prototype de voiture, etc.

### Comparaison continu discontinu

#### Principales caractéristiques

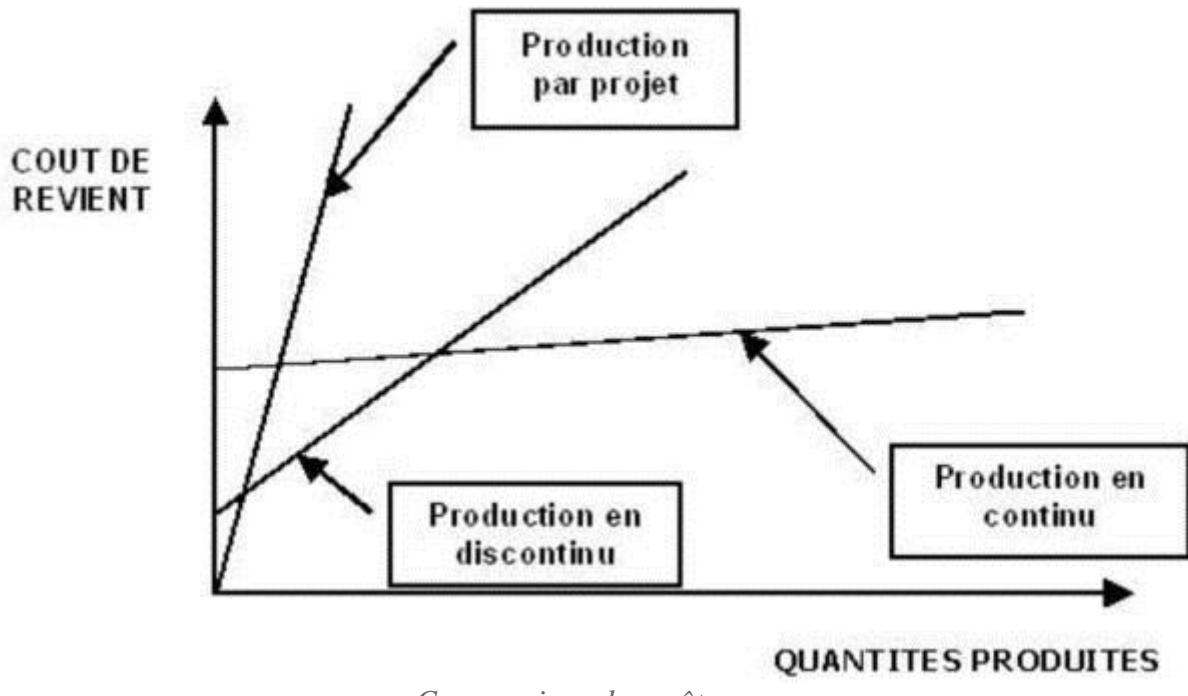
	continu	discontinu
implantation	 flux linéaire	 Flux complexes
flexibilité	lignes de production spécialisées peu de flexibilité	lignes de production généralistes bonne flexibilité
efficacité	bonne	faible
en cours	faibles	importants
délais	faibles	longs

### Comparaison

L'efficacité correspond au rapport entre le temps effectif de travail sur le produit et le temps que le produit reste en production.

Les en cours sont des stocks intermédiaires de production.

### Comparaison des coûts



*Comparaison des coûts*

Par exemple il sera plus avantageux d'utiliser une production par projet pour une formule 1, mais si l'on construit un modèle grand luxe de voiture (2000) on choisira une production en discontinu alors que si l'on fabrique une voiture de grande série (300 000) il sera plus rentable d'avoir une production en continu.

### Comparaison taille des séries

**Les quantités de lancement peuvent être :**

- Unitaire,
- par petites séries,
- par moyennes séries,
- par grandes séries.

Bien sûr la notion de petite, moyenne ou grande série dépend du type de produit. 100 pour un airbus est une grande série, et une très petite série pour une vis.

La notion de lancements répétitifs intervient également dans la gestion de la production et sur l'implantation de la production.

- **Exemple:**

	Lancements répétitifs	Lancements non répétitifs
unitaire	moteur de fusée	pont, barrage, moule pour presse
petites et moyennes séries	aéronautique, machines outils	sous-traitance
grandes séries	automobile, électroménager	journaux

*Exemple*

### Type de ventes

#### Vente sur stock

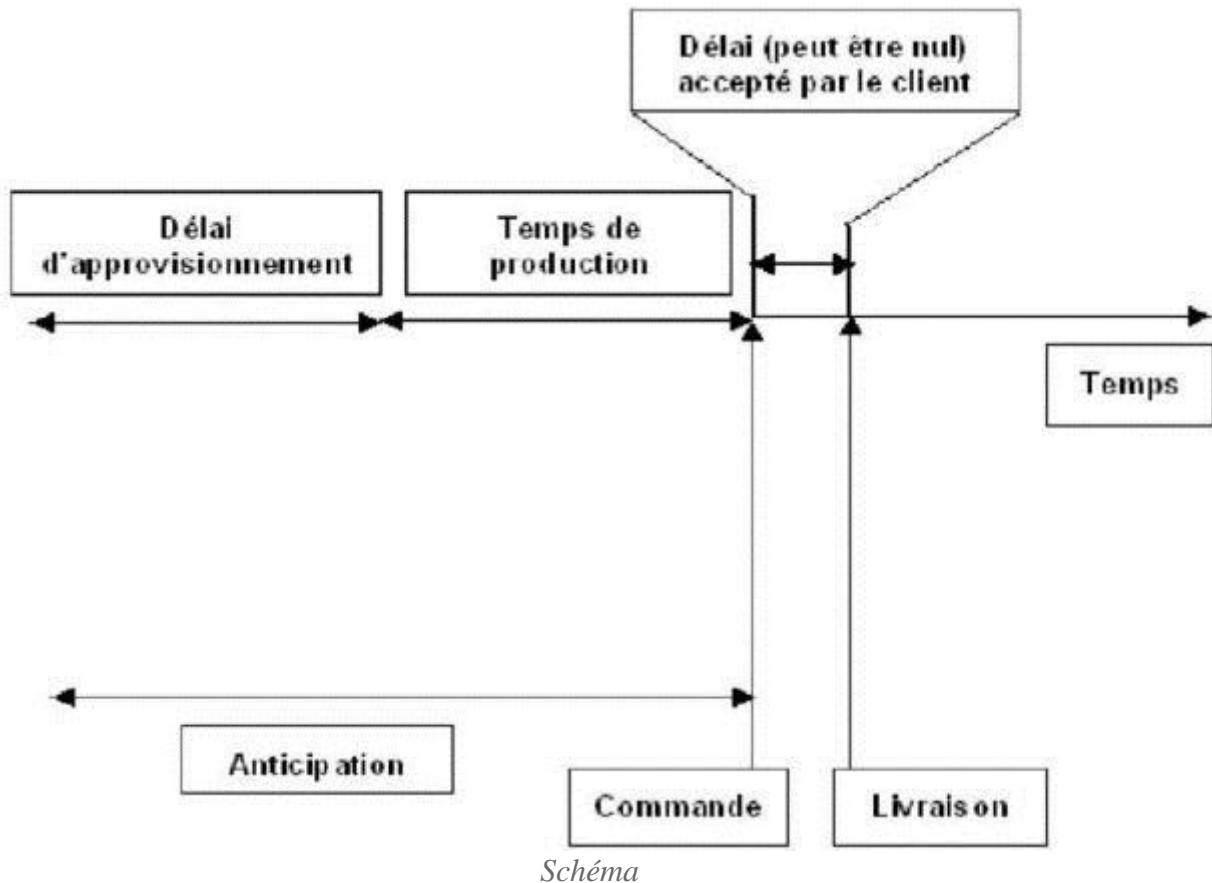
Lorsque le délai de fabrication est supérieur au délai accepté par le client, il est nécessaire de produire avant d'avoir reçu la commande du client.

#### Exemple:

vêtement, télévision ...

Pour diminuer les coûts de production il est parfois nécessaire de produire en grande quantité. Exemple tirage d'un livre en 3000 exemplaires.

Lorsque la saisonnalité de la demande est trop forte et qu'il est inutile de maintenir des hommes et des ressources pour produire toute l'année.



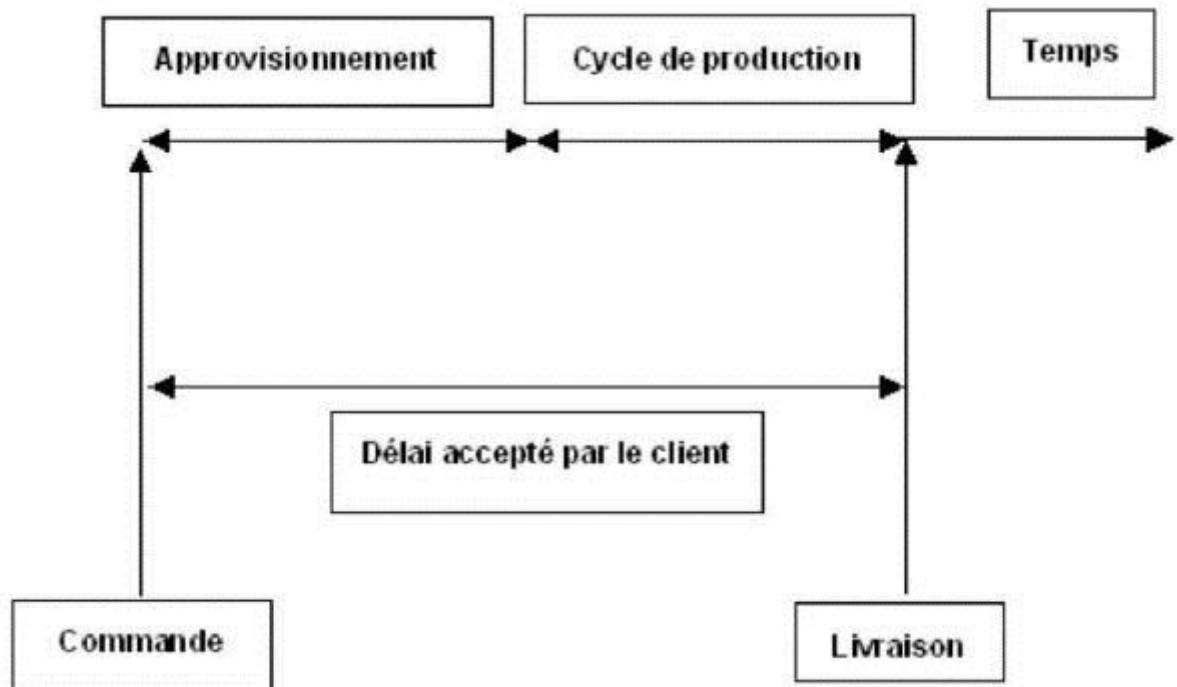
#### Production à la commande

Le fabricant attend les commandes fermes des clients pour commencer à approvisionner et à produire.

Pour l'entreprise c'est le cas idéal car elle produit uniquement ce qu'elle vend.

C'est le cas par exemple d'entreprises fabriquant des produits spécifiques, souvent complexes, comme par exemple des machines outils spéciales, des circuits électroniques spéciaux ...

Il faut que le délai accepté par le client soit compatible avec le temps de production.



*Schéma*

### Production avec anticipation limitée

Lorsque le dilemme suivant se présente à une entreprise :

Livrer rapidement les commandes de ses clients alors que les délais d'approvisionnement et de production sont longs.

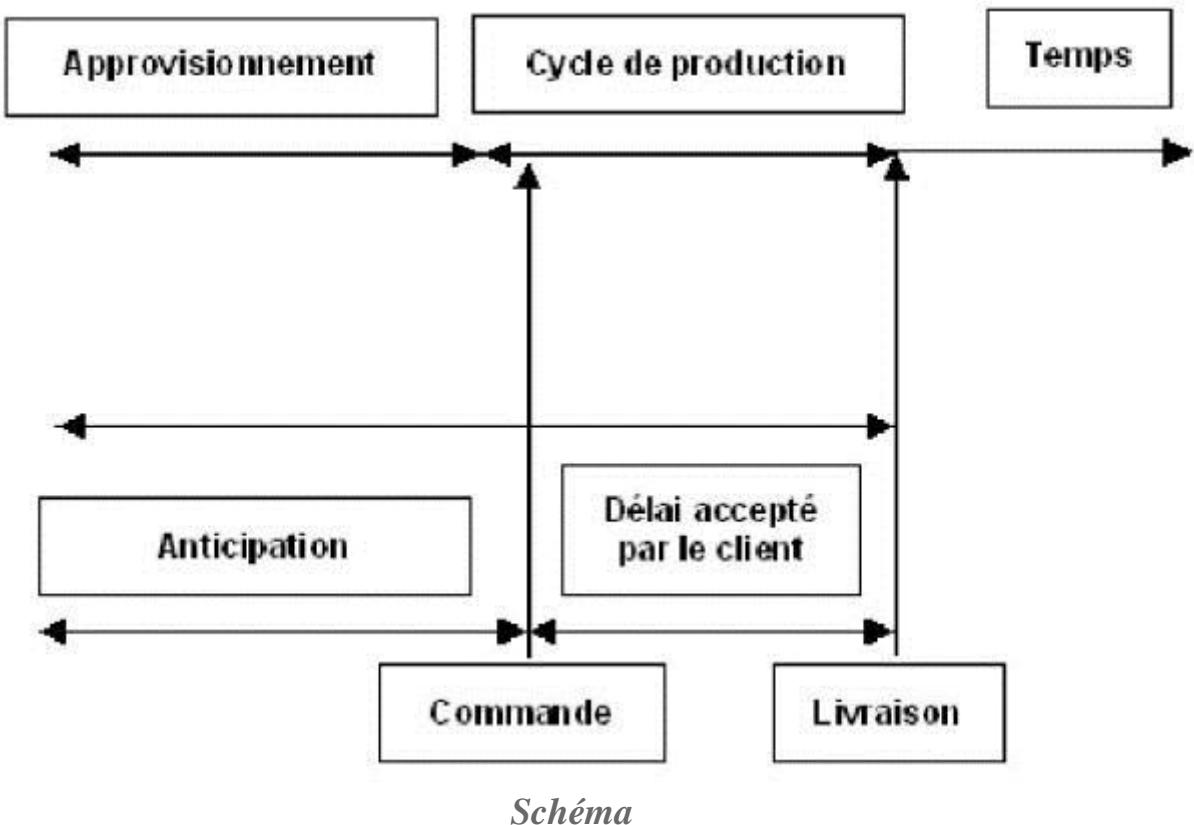
La solution consiste à combiner les deux méthodes précédentes.

Fabriquer des stocks de sous-ensembles de produit standard puis, lors de la commande du client, assembler les sous-ensembles pour réaliser le produit demandé.

- **Exemple:**

Certaines restaurations rapides ont opté pour cette solution :

les steaks hachés sont cuits d'avance et l'assemblage du hamburger est réalisé à la commande du client.



### Types d'élaboration de produit

#### Produit de type V

A partir de peu de matériaux bruts on fabrique une grande variété de produits finis.

##### Exemple: Cas du lait

La matière première étant unique ou quasi unique on réalise beaucoup de produits différents (fromages, yoghurts, crème, beurre etc....)

C'est le cas des industries de composants électroniques, industries chimiques.

#### Produit de type A

Avec ce type d'élaboration peu de produits finis sont fabriqués à partir de nombreux composants.

La nomenclature est importante, c'est le cas de nombreux produits manufacturés. Exemple fabrication de boîtes de vitesses pour l'automobile.

#### Produit de type T

De nombreux produits finis sont assemblés à partir de composants communs.

C'est le cas, par exemple de fabricants de machines à laver le linge dont les composants peuvent être identiques (moteurs, cuves, condensateurs) mais avec des produits finis différenciés (au moins commercialement).

#### Produits de type X

Ils sont obtenus par une combinaison des types A et V.

On obtient un nombre limité de produits semi-finis suivant une structure de type A, ensuite on fabrique de nombreux produits finis de type V adaptés aux besoins spécifiques.

- **Exemple:**

La combinaison de quelques variantes de produits semi-finis tels que moteurs, carrosseries (breaks coupés, toit ouvrant) + options (climatisation, peinture métal etc.) permet d'offrir une gamme de produits finis très vaste.

### Question

- Placer les chiffres (1, 2, 3, 4) correspondant au **type de gestion de flux** des différents produits dans la colonne : Type de gestion de flux

1 : production de stocks de produits finis

2 : production de sous-ensembles et assemblage à la commande

3 : assemblage final sur commande

4 : approvisionnement et production à la commande

- Placer les lettres correspondant au **type de production** des différents produits dans la colonne flux continu (c) ou discontinu (d).

- Placer les lettres correspondant à la **Taille des séries** des différents produits dans la colonne Taille des séries :

U : unitaire ou petites séries

M : séries moyennes

G : grandes séries

- Placer les lettres correspondant au **type d'élaboration** des différents produits dans la colonne Élaboration : V (A, T, X).

Les réponses données dépendent du contexte et sont susceptibles d'interprétation.

	Type de gestion de flux 1, 2, 3, 4	Continu ou discontinu c, d	Taille des séries U, M, G	Élaboration V, A, T, X
Maison				
Automobile				
Hamburger				
Cuisine équipée				
Ordinateur				
Canapé				
Livre				
Électricité				
Eau minérale				
Téléviseur				

## I. Flux, capacité et charges

### 1. Flux internes et flux externes

Les flux matières peuvent être regroupés :

- en flux internes, qui représentent les flux de matières subissant les transformations au sein même de l'entreprise,
- en flux externes, associés à l'approvisionnement des matières premières et composants nécessaires (y compris d'éventuelles opérations de sous-traitance) et à la livraison des produits aux clients.

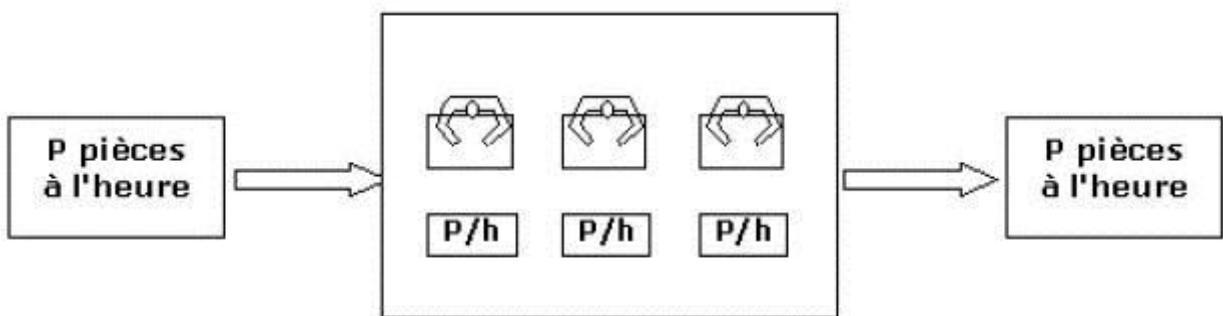
On peut noter que d'un point de vue historique, le management industriel s'est d'abord situé au niveau des flux internes, dans une perspective technique visant à améliorer la productivité des usines. Les noms de Frederick Taylor et d'Henry Ford, concepteurs respectivement de l'organisation du travail et de l'organisation des flux, sont associés à ces débuts historiques. L'amélioration de la productivité apparaissait à ce moment comme le résultat d'un cheminement analogue à celui qui permet d'améliorer l'efficacité d'une machine. Aujourd'hui, ces idées ont évolué.

En particulier, il est apparu que les performances globales de l'entreprise dépendent également fortement d'une intégration efficace de l'ensemble des flux : internes et externes.

### 2. La complexité des flux

On s'Imagine parfois que les flux dans une entreprise correspondent au modèle suivant :

- flux entrant :  $p$  pièces /h
- production :  $p$  pièces /h
- flux sortant :  $p$  pièces /h



*Schéma*

Dans cette situation, idéale du point de vue des flux matières, les flux entrants (encore appelés flux amont) de chacun des postes de travail sont identiques aux flux sortants (appelés flux aval). Les flux externes sont également parfaitement synchronisés avec les flux internes. Le flux global au travers du système complet est de  $p$  pièces par heure.

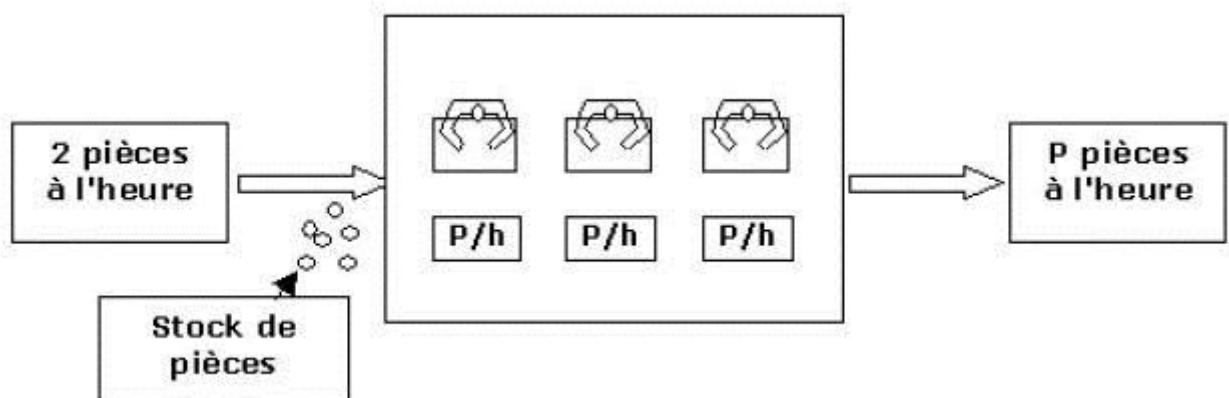
Le fonctionnement d'un tel processus est donc très simple à comprendre. Trop simple ! La réalité d'un processus s'écarte notablement de cet exemple. De nombreux phénomènes provoquent une désynchronisation entre les flux amont et les flux aval de certains ateliers

et, éventuellement, entre flux internes et flux externes. Une telle désynchronisation rend alors les caractéristiques de l'écoulement des flux beaucoup plus difficiles à percevoir intuitivement.

Considérons un flux de produit avant transformation dans un atelier. Ce produit est soit acheté, s'il s'agit d'une matière première, soit issu d'une opération précédente, s'il s'agit d'un produit en cours de fabrication.

Ce flux présente un certain débit moyen. Pour un certain nombre de raisons, détaillées plus loin, le flux présente des variations autour de sa moyenne. Ce sont ces variations qui rendent complexe l'écoulement du flux dans un système réel. En effet, il faut, pour que l'opération ne s'interrompe pas sur un poste, que le flux amont se présente avec un débit instantané au moins égal au débit de l'opération elle-même sur le poste.

De plus, si le flux amont excède le débit de l'opération, il y aura accumulation de pièces et formation d'une file d'attente.



*Schéma*

• **Remarque:**

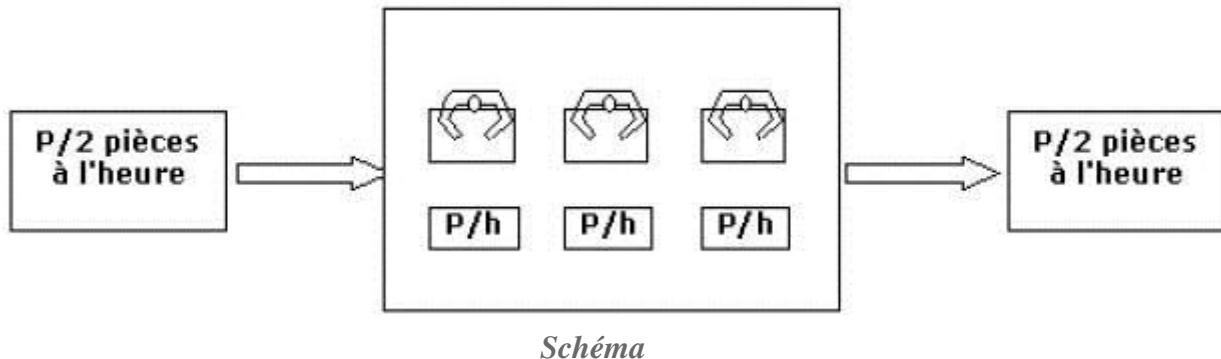
Cela peut arriver même si le débit moyen du flux amont est inférieur à la capacité moyenne du poste.

• **Exemple:**

Les embouteillages à l'entrée des grandes villes le matin alors que la capacité est suffisante dans la journée. Mais, si le flux amont se présente avec un débit instantané inférieur au débit de l'opération, cela entraîne des arrêts répétés du poste et des sous-emplois.

Le poste aval est partiellement inoccupé car :

- Flux entrant :  $p/2$  pièces /h
- Production :  $p$  pièces /h(capacité)
- Flux sortant :  $p/2$  pièces /h



*Schéma*

Les impacts des désynchronisations de flux internes sont rapidement perceptibles (arrêt régulier du poste ou files d'attente croissantes en amont de certains postes de travail). Ce type de phénomène peut également se produire à l'articulation des flux internes et des flux externes.

Considérons par exemple le flux de produits finis, qui est défini en fonction de la demande commerciale. L'entreprise cherche à équilibrer le flux de la demande des clients avec le flux de produits finis : tout déséquilibre durable aboutit soit à une insatisfaction de la clientèle, soit à une surproduction :

Flux aval > demande = surproduction

Flux aval < demande = retards de livraison

La demande commerciale est elle-même caractérisée par un volume et un profil. Le volume correspond au flux de consommation des clients. Le profil dépend de certains facteurs : à moyen terme, de la saisonnalité, à court terme, de la plus ou moins grande concentration des commandes dans le temps.

Par exemple, si 300 étudiants désirent manger en même temps au restaurant universitaire, l'intendance estimera que la demande a un profil impossible à satisfaire. Les clients risquent d'être mécontents, d'aller ailleurs, ou de modifier le profil du flux de leur demande (en venant plus tôt ou plus tard).

### 3. Causes de variation des flux

Plusieurs raisons peuvent expliquer les variations dans les flux des produits à l'intérieur de l'entreprise :

#### ➤ Transferts par grandes quantités

De manière fréquente, les transports des produits entre les fournisseurs et l'entreprise, entre les cellules au sein même de l'entreprise ou vers les clients, induisent une discontinuité forte dans l'écoulement des flux matières.

En effet, pour des raisons de coûts de transport, il est courant de regrouper un grand nombre de pièces pour effectuer le transfert et donc d'interrompre l'écoulement pièce à pièce du flux.

La livraison de matières premières par camions ou trains entiers, qui couvre les besoins de l'entreprise pour plusieurs semaines, voire plusieurs mois, constitue un tel exemple de variation de flux.

#### ➤ Partage d'un équipement

Le partage d'un équipement unique entre différents flux de produits provoque des interruptions régulières des flux et est la seconde cause importante de fluctuations. En effet, sur une chaîne de fabrication ou de montage, le flux des produits est quasi-continu. La régularité de circulation entre les postes repose sur l'égalité des cadences de chaque opération. Cet équilibre étant difficile à atteindre et à stabiliser, cela limite, en général, la technique de la ligne cadencée aux productions de très grande série. Ainsi, les débits doivent être équilibrés à chaque instant. Dans les fabrications de moyennes ou petites séries, on parle souvent, par analogie avec la chaîne, d'une organisation des machines «en ligne». Dans ce cas, il existe une certaine souplesse créée par de petits stocks d'en-cours entre les postes successifs. Ainsi, les débits doivent être équilibrés en moyenne, pas nécessairement à chaque instant (alors qu'ils doivent l'être absolument sur une chaîne).

Nous allons analyser un cas simple de partage de ressource entre plusieurs flux :

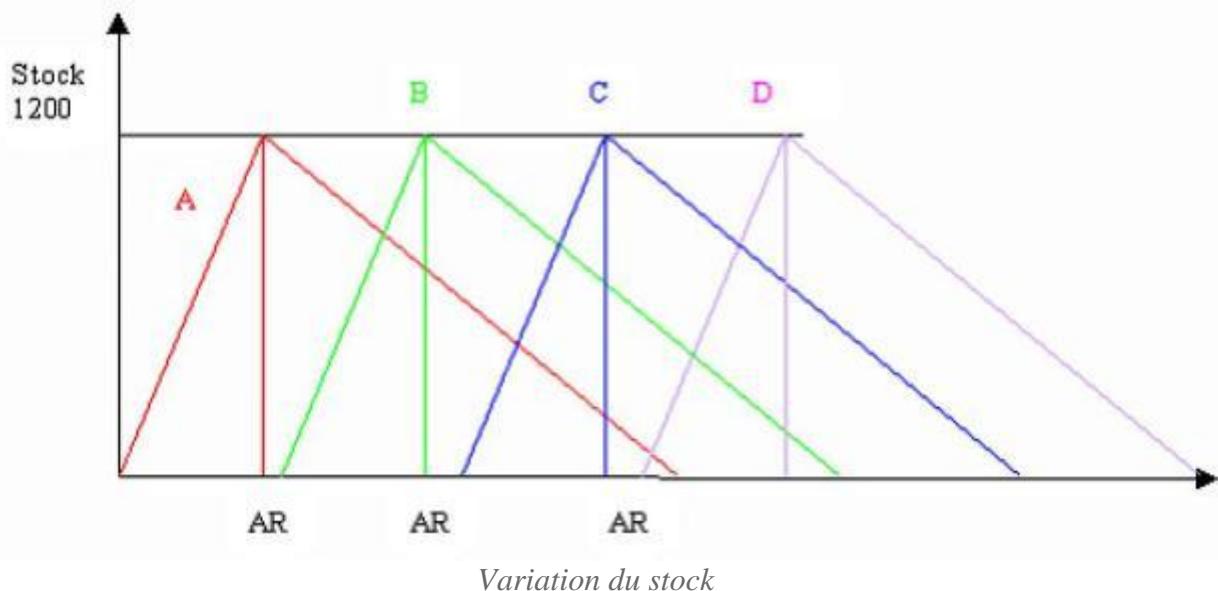
la découpe et le formage des quatre portières d'une voiture qui ont lieu sur une même presse au rythme de 150 portières/heure.

Les quatre portières sont ensuite habillées et montées sur le véhicule au rythme de 30 véhicules/heure.

Le planning de travail de la presse :

Durée en heures	Opération	Production
10	A : Portière AV gauche	1500
2,5	AR : arrêt pour changement outil	
10	B : Portière AV droite	1500
2,5	AR : arrêt pour changement outil	
10	C : Portière AR gauche	1500
2,5	AR : arrêt pour changement outil	
10	D : Portière AR droite	1500
2,5	AR : arrêt pour changement outil	

Tableau



Au total, en 50 heures, 1 500 portières de chaque type ont été fabriquées, soit 30 par heure. Le débit moyen de la presse est donc équilibré avec la ligne de garniture et de montage (30/h). Mais il y a un stock qui se constitue entre la presse et les lignes. Ce stock varie suivant le profil représenté sur la figure.

Au bout de dix heures de production, le stock atteint 1200 pièces car pendant ces dix heures 300 pièces ont été « absorbées » par la ligne de garniture et de montage (30/h).

### ➤ Assemblage

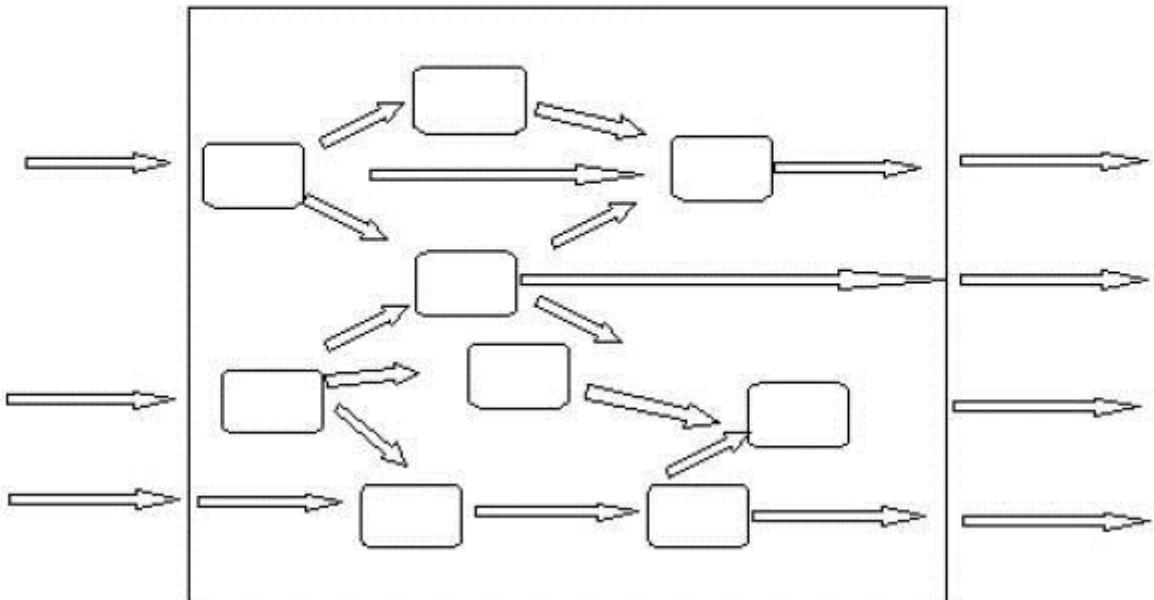
Certaines opérations nécessitent plusieurs produits simultanément :

C'est le cas de l'assemblage puisqu'il faut que toutes les pièces à assembler soient présentes.

L'ajustement du débit devient alors plus complexe puisqu'il y a une contrainte supplémentaire entre les différents flux entrants.

Les fabrications du type job-shop où l'élaboration du produit nécessite un passage sur les postes de charge dans un ordre variable suivant sa gamme de fabrication rendent encore plus complexe la régulation des flux.

## Organisation des flux du type job-shop



Schéma

### ➤ Aléas

Il serait irréaliste de parler de gestion des flux, même au niveau d'un poste de charge élémentaire, sans évoquer l'existence possible des dysfonctionnements.

Tous les éléments évoqués sont susceptibles d'être affectés par des aléas :

- une opération peut se révéler défectueuse, c'est-à-dire que le produit fini n'est pas conforme à ses spécifications,

- une opération peut durer un temps différent du temps prévu
- les ressources peuvent être indisponibles : machine en panne, absentéisme, manque de place,
- le flux entrant peut ne pas être conforme à ses spécifications ou indisponible (retard de livraison),
- le flux sortant peut être produit pour une demande qui n'existe plus (le client ne confirme pas sa commande). Ces différents aléas perturbent la régularité d'écoulement des flux et diminuent donc l'efficacité du système.

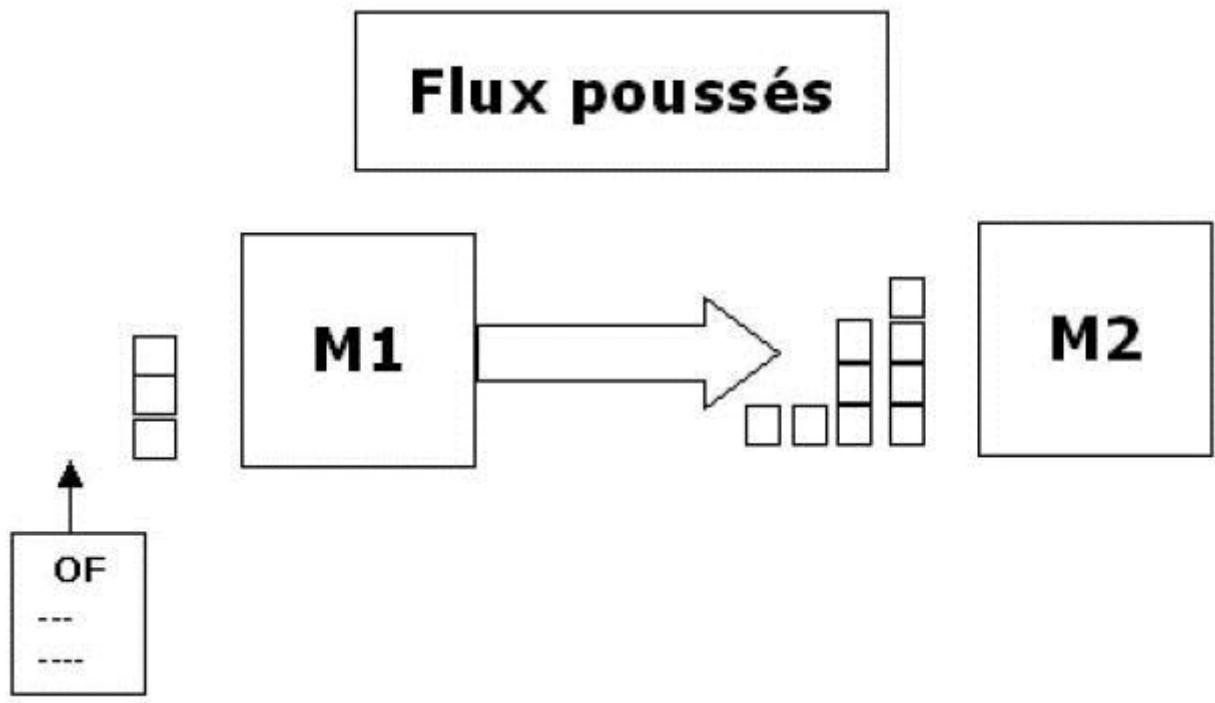
## II. Flux tirées et poussées

### 1. Flux poussés

Prenons l'exemple de vente sur stocks. L'entreprise va fabriquer des produits et constituer des stocks en fonction des prévisions des ventes ou de commandes fermes. Sur la base des prévisions de ventes (ou de commandes fermes) des systèmes de calcul (calcul des besoins, voir MRP) vont générer des ordres de fabrication.

Ces OF sont lancés, les produits commencent le processus de fabrication en passant par le premier poste de charge puis une fois les opérations terminées sur ce poste elles sont transférées sur le poste suivant.

On parle alors de flux poussé, on ne tient pas compte des besoins du centre de charge en aval mais on exécute les OF provenant des postes de charge amont.



*Schéma*

## 2. Flux tirés

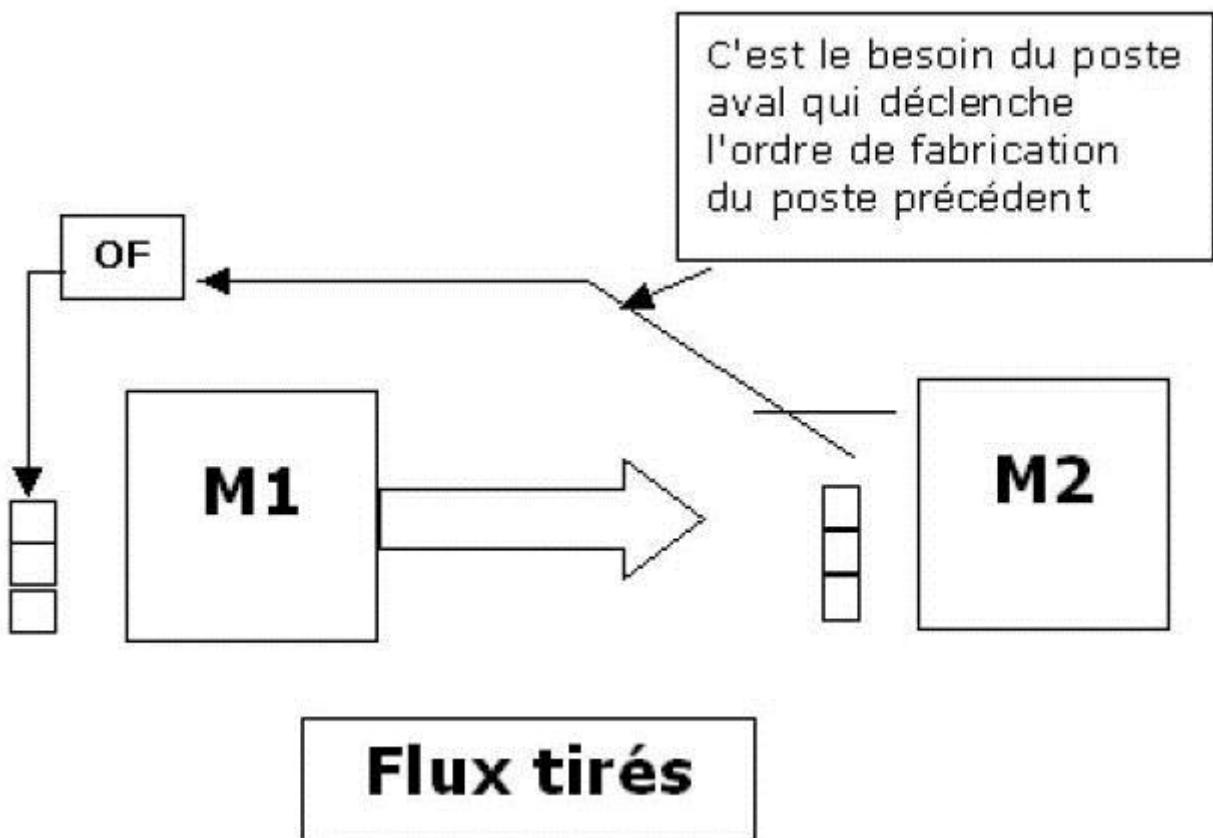
Lorsque l'on est en flux tirés les ordres de fabrication sont réalisés uniquement dans le cas où le poste aval en aura le besoin.

Ces OF peuvent être générés par le calcul des besoins ou directement par le poste aval mais leur déclenchement dépend du poste aval et de ses besoins.

C'est-à-dire que si les besoins du poste aval sont nuls le poste amont suspend sa production. Si tous les postes fonctionnent de la même manière ce sont au final les besoins du client qui génèrent les ordres de fabrication.

Les deux types de flux peuvent coexister dans une entreprise, par exemple dans une entreprise où l'élaboration du produit est de type T.

La première partie qui va fabriquer des composants de base peut travailler en flux poussés et la dernière partie qui peut être une partie de montage ou d'assemblage va travailler en flux tirés en fonction des demandes des clients.



*Schéma*

## III. Capacité et charges

### 1. Les ressources

Il s'agit de l'ensemble des moyens nécessaires pour réaliser la transformation des matières premières et composants en produits finis.

Suivant le type d'entreprise, les ressources comprennent de la main-d'œuvre, des équipements, des outillages, des informations (comme le fichier d'une société de vente par correspondance), des bâtiments, etc.

Les décisions concernant les ressources sont importantes. D'abord parce qu'elles engagent en général l'entreprise pour des sommes élevées et pour une longue durée comme des décisions d'investissement et d'embauche. Ensuite, parce que leurs conséquences sont décisives à la fois pour la rentabilité de l'entreprise (par exemple, le choix d'un type d'avion par une compagnie aérienne) et pour sa capacité à répondre à la demande du marché (une insuffisance de ressources empêche de livrer correctement les clients).

## 2. La capacité d'une ressource

La capacité est une mesure de l'aptitude d'une ressource à traiter un flux.

Une bonne image d'une capacité est fournie par le débit d'une route : 3 000 véhicules à l'heure, pour une autoroute, par exemple. On retrouve une notion équivalente dans tout système logistique : 600 clients à l'heure pour un restaurant fast-food, 120 dossiers par jour pour une agence de prêts immobiliers, 6 copies corrigées par heure pour un professeur, etc.

Le concept de capacité résulte :

- de la durée de disponibilité de la ressource par période calendaire (la journée, la semaine, le mois, etc.),
- du choix d'une unité de mesure qui permet d'additionner les débits de produits éventuellement différents, étant entendu que si les produits sont assez semblables, une seule unité physique convient.

Il faut cependant distinguer la capacité théorique et la capacité réelle.

La capacité théorique est celle que l'on peut faire au maximum sur un poste de charge par période de référence.

- **Exemple:**

Une machine à commande numérique dans un atelier a une capacité théorique de 35h/semaine.

La capacité réelle est celle qui est prise en compte lors de l'élaboration du planning dans le cas d'un ordonnancement centralisé. Elle correspond à ce que l'on peut réellement réaliser sur un poste de charge compte tenu des aléas possibles, (pannes, rebuts, absence des opérateurs...).

La machine à commande numérique de l'exemple précédent a un taux d'aléa de 10%, et sa capacité réelle est de 31,5h /semaine.

## 3. Flexibilité et polyvalence

La **flexibilité** d'une ressource permet d'accroître sa capacité, en effet pour une usine sa possibilité d'effectuer des heures supplémentaires permet d'augmenter sa capacité.

La **polyvalence** permet à une ressource d'effectuer un très grand nombre d'opérations différentes.

La polyvalence d'une machine est souvent synonyme de capacité inférieure par rapport à une machine spécialisée.

## IV. Capacité d'un réseau de ressources

### 1. Ressources dépendantes

Lorsque des ressources multiples sont mises en oeuvre, elles peuvent être ou non découplées les unes des autres par des stocks intermédiaires.

Deux ressources séparées par un stock intermédiaire de pièces peuvent être considérées comme indépendantes, car l'arrêt de la ressource amont n'entraîne pas l'arrêt de la ressource aval.

Si au contraire les ressources sont organisées sans stock intermédiaire comme sur une chaîne d'assemblage, l'activité d'une ressource conditionne directement celles des autres.

### 2. Les ressources sans interaction

Lorsque des ressources sont en parallèle les capacités s'additionnent.

- **Exemple:**

Si une usine possède deux fours de traitements thermiques identiques pouvant travailler chacun 120 heures par mois, la capacité globale sera de 240 heures.

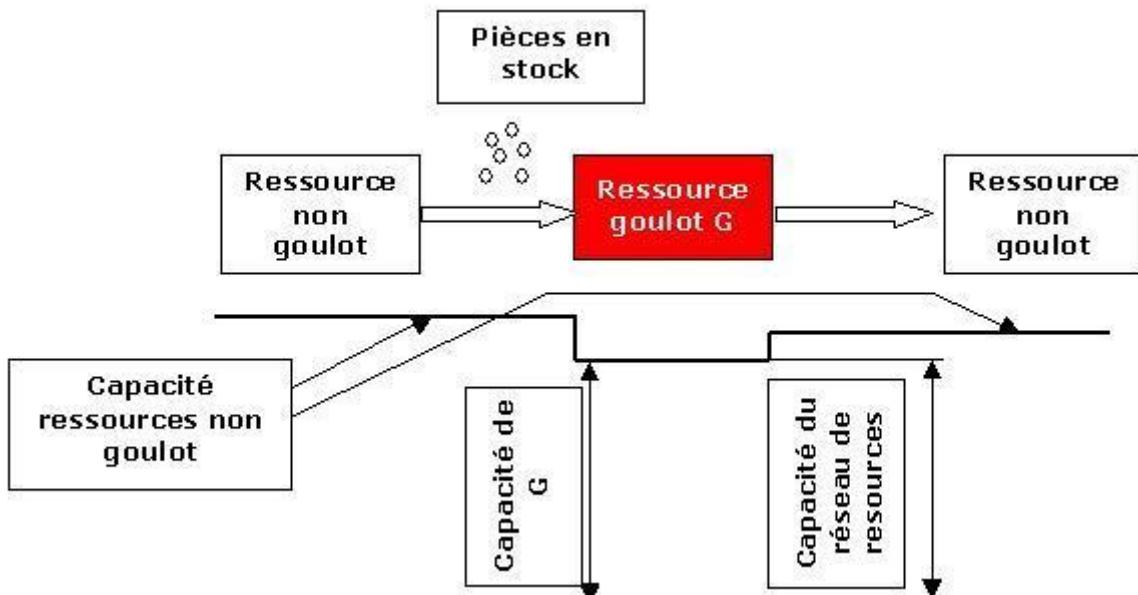
### 3. Les ressources avec interaction

Lorsque des ressources sont utilisées pour réaliser un flux de production, le flux maximum est limité par la capacité d'un des processus, en général la plus faible, et on dit qu'il s'agit d'un goulot d'étranglement.

On peut donc séparer les ressources en deux catégories :

- ressources goulot et ressources non goulot,
- ressources en série.

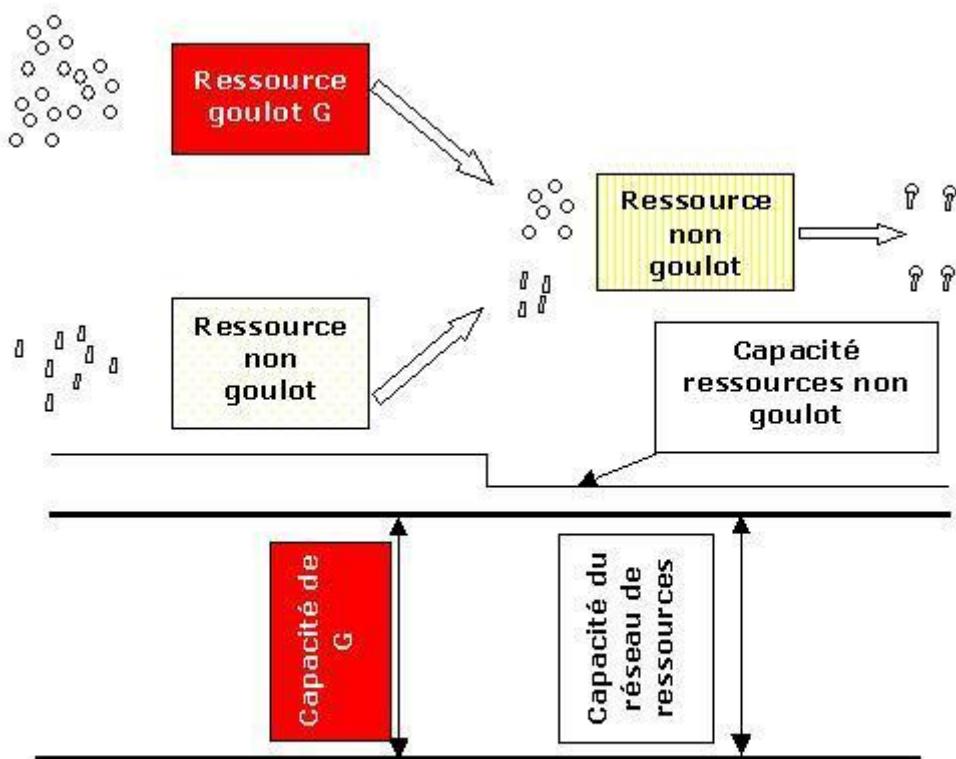
#### 4. Les ressources en série



*Schéma : capacité du réseau des ressources*

La capacité d'un réseau de ressources en série est celle de la capacité de la ressource goulot.

#### 5. Ressource en parallèle



## *Schéma*

Prenons l'exemple d'un processus d'assemblage, la capacité du réseau sera limitée par celle de la ressource goulot, car on ne pourra pas assembler plus de pièces que le nombre fourni par la ressource goulot.

### **6. Capacités conjointes**

Dans de nombreux cas, la réalisation d'une opération nécessite simultanément plusieurs ressources.

Par exemple une machine et un opérateur et ces ressources ne sont pas forcément disponibles au même moment.

La machine ne fonctionne pas pendant la pause de l'opérateur, l'opérateur ne peut faire fonctionner la machine en cas de panne ...

La capacité globale est diminuée lorsque l'on utilise des ressources conjointes.

## **V. Charge**

### **1. Taux de charge**

Le taux de charge est exprimé en % en fonction de la capacité réelle.

$$TC = \frac{\text{charge}}{\text{capacité réelle}}$$

Le taux d'utilisation est exprimé en % en fonction de la capacité théorique.

$$TU = \frac{\text{charge}}{\text{capacité théorique}}$$

On peut définir un taux de disponibilité qui donne une indication sur les temps d'arrêt de la machine.

$$Td = \frac{\text{capacité réelle}}{\text{capacité théorique}}$$

Lorsque le taux de charge est supérieur à 100% le poste de travail est en **surcharge** et il faut procéder au lissage des ressources.

Cela peut consister à :

- répartir la charge sur d'autres postes de charge qui peuvent effectuer les mêmes opérations et qui sont en sous charge,
- utiliser si c'est possible les heures supplémentaires,
- utiliser la marge disponible en décalant dans le temps les opérations à effectuer lorsque le poste de charge n'est plus en surcharge,
- utiliser la sous-traitance,

- négocier avec le client les délais.

- **Exemple:**

Considérons un atelier dont la partie usinage est composée de deux tours à commande numérique (T1 et T2) et d'un centre d'usinage (CU).

Les horaires de l'entreprise sont de 35 h à raison de 7 h par jour. Le nettoyage journalier représente 15 min pour les tours et 20 min pour le centre d'usinage. Le vendredi celui-ci est plus approfondi et représente une heure pour chaque machine. Les arrêts divers, pauses, pertes de temps représentent en tout 1h par jour.

Un opérateur travaille à plein temps sur les deux tours, un deuxième opérateur partage son temps théorique entre le centre d'usinage (75%) et une activité de magasinier (25%).

Deux commandes viennent d'arriver : 150 produits PA et 180 produits PB dont les gammes sont définies ci-dessous.

PA				
Phase	Machine	Temps réglage Série (ch)	Temps unitaire (ch)	
10	T1	30	10	
20	CU	45	12	
30	T2	20	6	

PB				
Phase	Machine	Temps réglage Série (ch)	Temps unitaire (ch)	
10	T1	30	4	
20	CU	45	4	
30	T2	20	7	

Calcul de la charge hebdomadaire pour chaque produit :

PA				
Phase	Machine	Temps série	Temps unitaire	Temps total
10	T1	30	10	15,3
20	CU	45	12	18,45
30	T2	20	6	9,2

Phase	Machine	Temps série	Temps unitaire	Temps total
10	T1	30	4	7,5
20	CU	45	4	7,65
30	T2	20	7	12,8

Calcul des capacités et des taux pour chaque centre de charge :

	Tour 1	Tour 2	CU
capacité théorique	35,00h	35,00h	35,00h
nettoyage	2,00h	2,00h	2,33h
arrêts	5,00h	5,00h	5,00h
magasin			8,75h
capacité réelle	28,00h	28,00h	18,92h
charge	22,80h	22,00h	26,10h
taux de disponibilité	80,00%	80,00%	54,05%
taux de charge	81,43%	78,57%	137,97%
taux d'utilisation	65,14%	62,86%	74,57%

On remarque que le taux de charge du centre d'usinage est supérieur à 1 (137,97%) donc il sera en surcharge.

Calcul des charges, capacités et taux pour tout l'atelier d'usinage :

	Tour 1	Tour 2	CU	Total atelier
capacité théorique	35,00h	35,00h	35,00h	105,00h
nettoyage	2,00h	2,00h	2,33h	6,33h
arrêts	5,00h	5,00h	5,00h	15,00h
magasin			8,75h	8,75h
capacité réelle	28,00h	28,00h	18,92h	74,92h
charge	22,80h	22,00h	26,10h	70,90h
taux de disponibilité	80,00%	80,00%	54,05%	71,35%
taux de charge	81,43%	78,57%	137,97%	94,64%
taux d'utilisation	65,14%	62,86%	74,57%	67,52%

Le chef d'entreprise, s'il ne consulte que le total, pourrait en conclure que l'atelier est en sous charge car le taux de charge de celui-ci est de moins de 95% alors que l'atelier est en surcharge sur le centre d'usinage.

## VI. Taille des lots

### 1. Différents types de lots

#### a. Lots de commande, lots de fabrication, lots de transfert

- Le **lot de commande** représente le nombre de pièces devant être livrées au client.
- Le **lot de fabrication** est le nombre de pièces lancées en fabrication en une seule fois.

Un lot de commande peut représenter plusieurs lots de fabrication si le lot de commande a une taille trop importante.

Au contraire plusieurs lots de commande d'un produit identique peuvent être regroupés dans un lot unique de fabrication afin de diminuer le nombre de réglages.

- Le **lot de transfert** correspond au nombre de pièces transportées d'un poste à l'autre lors de la fabrication.

Il peut être inférieur ou égal au lot de fabrication.

Lorsque l'on pratique le chevauchement des phases on choisit un lot de transfert inférieur au lot de fabrication ; le plus petit lot de transfert étant d'une unité.

## 2. Choix d'une taille de lot

Il est possible d'utiliser la formule de Wilson pour déterminer la quantité économique du lot de fabrication.

$$Q_e = \sqrt{\frac{2NL}{at}}$$

équation

**N** = nombre de pièces annuelles

**L** = coût d'un lancement (coût administratif + coût de réglage + coût d'immobilisation de la machine + éventuellement coût nettoyage)

**A** = coût d'une pièce

**T** = taux de possession

L'application de cette formule implique certaines hypothèses qui ne sont pas toujours respectées (commandes périodiques consommation régulière) et peut conduire à des tailles de lots trop importantes et donc à des coûts de stockage importants.

Il est plus intéressant de diminuer le coût de lancement et donc la taille des lots.

## 3. Arguments avancés pour éviter les lancements de faibles quantités

- Temps de réglage trop long :

Il est de loin préférable de diminuer le temps de réglage (voir méthode Smed).

- Temps d'adaptation trop long du personnel :

Il est préférable d'augmenter le niveau de qualification et de polyvalence du personnel.

- Nombre d'affaires en cours trop important :

Il est plus judicieux d'améliorer le système d'informations.

- Il est plus simple de lancer la quantité commandée :

Oui mais cela risque de pénaliser d'autres commandes qui resteront en attente.

## 4. Avantages liés à la diminution de la taille des lots

La probabilité de justesse de prévision des ventes augmente lorsque l'horizon est moins éloigné, ainsi le lancement par petite quantité bénéficie d'une prévision des ventes plus fiable.

Cela évite aussi des stocks de produits invendus en cas de prévision trop lointaine et trop optimiste.

Si le contrôle des produits s'effectue en fin de processus de fabrication et qu'un défaut apparaît, il sera possible de remédier à la cause du défaut sur le processus parce qu'il sera encore en fonctionnement pour les lots suivants.

Alors que dans le cas où toute les pièces sont lancées en même temps dans un seul lot, l'ensemble des pièces sera affecté du défaut et il ne sera plus possible de rectifier le processus surtout si le défaut est généré par un poste de charge en début de processus.

Le produit s'il est nouveau sera disponible plus rapidement sur le marché.

Le respect des délais est plus facile à obtenir.

- **Exemple: Exemple d'utilisation de lot de transfert plus petit que le lot de lancement.**

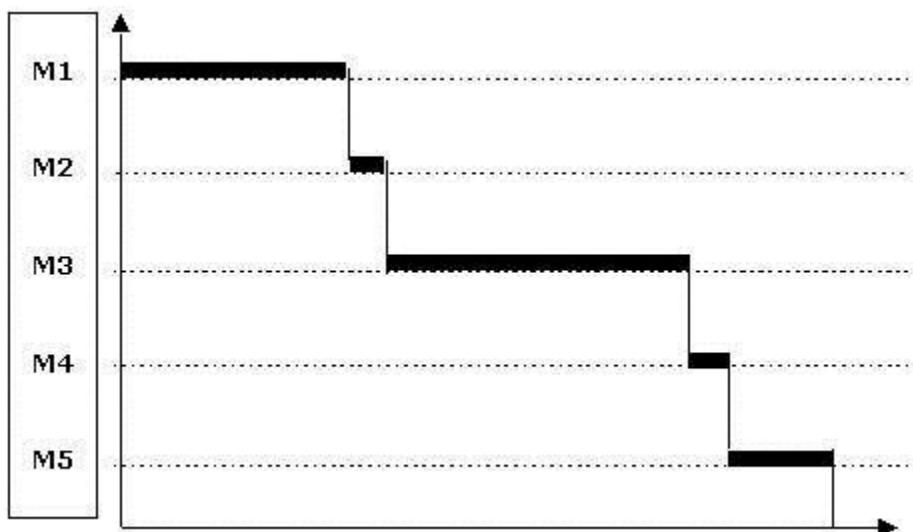
Soit un produit P fabriqué en lots de 2000 pièces sur 5 postes de charge M1, M2, M3, M4, M5 dont la gamme est :

Produit P		
Phase	Machine	Temps (ch)
10	M1	30
20	M2	5
30	M3	50
40	M4	5
50	M5	10

Les matières premières sont estimées à 20€ par pièce et par souci de simplification on ne prend pas en compte dans le calcul du coût des en cours la valeur ajoutée par chaque poste.

Le lot de transfert égale le lot de fabrication c'est-à-dire que l'on réalise 2000 pièces sur M1 puis elles sont transférées sur M2 et ainsi de suite.

Le planning de la réalisation de P se présente ainsi :



*Schéma*

Le temps total d'exécution est de :

$$(30+5+50+5+10)/100=1\text{h pour une pièce}$$

et de

$$1\text{h} * 2000 = 2000\text{h pour l'ensemble des 2000 pièces}$$

ce qui correspond à un peu plus de 57 semaines de 35 h.

Si l'on choisit un lot de transfert le plus petit possible (une pièce) on doit prendre en compte la vitesse de chaque poste de travail.

La phase 20 sur la machine M2 a un temps de réalisation beaucoup plus court que la phase 10, sa vitesse d'exécution est donc plus grande.

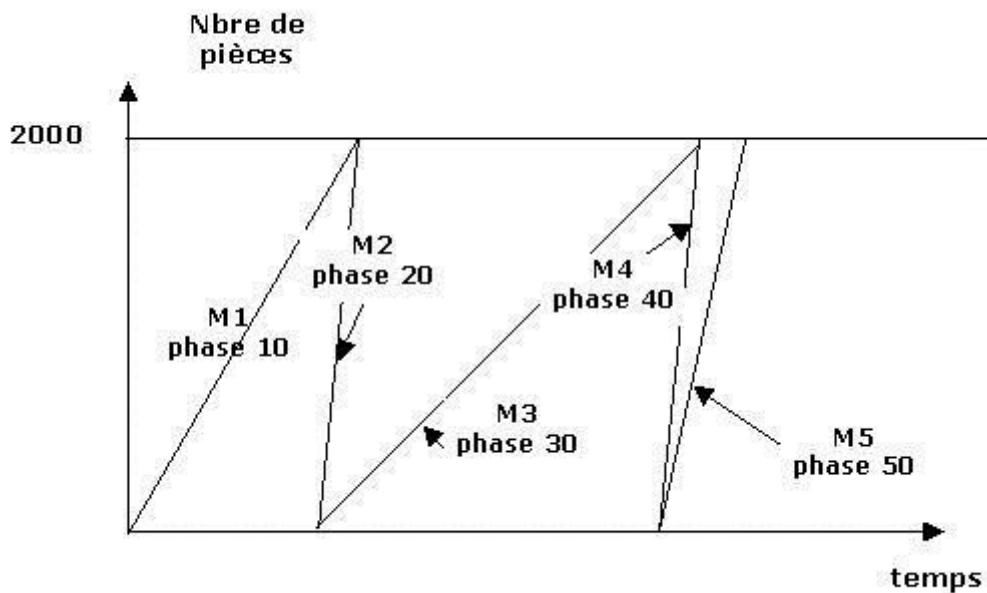
Si l'on souhaite réaliser un chevauchement maximum avec un lot de transfert d'une seule pièce et dès la première pièce finie sur M1, on la place sur M2. Alors M2 étant plus rapide elle va "attendre" la pièce suivante en provenance de M1.

Aussi afin que M2 fonctionne de façon continue il est préférable de terminer la phase 20 juste après la fin de la phase 10 (5 ch ou le temps de réalisation d'une pièce sur M2) et à partir de la fin de la phase de déterminer la mise en route de la machine M2.

Autrement dit la fin de toutes les pièces sur M1 est de  $(2000*30)/100=600$  h.

La fin de la phase 20 sera donc environ de 600,05 h si l'on néglige le temps de transfert et le début de la phase 20 de :  $(600,05-(2000*5)/100)=500,05$  h après le début de la phase 10.

En ce qui concerne la phase 30, elle est beaucoup moins rapide que la phase 20 et il est souhaitable de la débuter dès que la première pièce sortie de M2 est disponible.



*Schéma*

Le temps total est environ de 1600 h (presque 46 semaines) ce qui représente un gain de presque 20%.

**C'est-à-dire un gain de 11 semaines, qui permet de diminuer à la fois le coût des en cours mais aussi de gagner sur le délai de livraison.**

### Exercice :

La Société RADIAPLUS fabrique et vend des radiateurs métalliques destinés au chauffage central des installations domestiques.

La production comporte six phases principales qui sont réalisées successivement dans six ateliers :

DECOUPE, USINAGE, SOUDURE, PEINTURE, ASSEMBLAGE, EMBALLAGE.

1) **Atelier de découpe** : Une machine permet de découper les tôles à un rythme de 100 radiateurs par heure. Une seule personne est employée à l'alimentation et à la surveillance de la machine.

2) **Atelier d'usinage** : Il comporte 4 presses, destinées à percer des trous et à faire des encoches dans la tôle. Chaque presse nécessite la présence d'un ouvrier. Les presses peuvent être considérées comme équivalentes. Chaque presse peut réaliser 17 radiateurs à l'heure.

3) **Atelier de soudure** : Il faut deux ouvriers pour souder un radiateur complet. Le temps nécessaire à l'opération de soudure est de 10 minutes. On peut créer au plus 10 postes de soudure.

4) **Peinture** : Les radiateurs sont suspendus à une chaîne qui circule dans un tunnel de peinture. La vitesse du tunnel est de un radiateur à la minute. Il y a deux peintres chargés du tunnel.

5) **Assemblage** : Les radiateurs peints doivent être habillés fixation des robinets, fixation des embouts, etc. Il faut 10 minutes à un ouvrier pour réaliser cette opération. Il est possible de placer autant d'ouvriers que nécessaire pour constituer des postes d'assemblage.

6) **Emballage** : La moitié seulement des radiateurs est emballée, l'autre moitié est expédiée dans des conteneurs chez les grossistes. Un poste d'emballage est occupé par 2 personnes et l'opération dure 5 minutes. Il est possible de constituer au maximum 6 postes d'emballage.

### Informations complémentaires

1) Le taux d'utilisation du tunnel de peinture est inférieur à 100 %.

Les arrêts sont dus :

- aux incidents techniques (1 heure par jour en moyenne),

### Exercice 2 : capacités et charges

- aux changements de couleur (5 heures par semaine) car les radiateurs sont offerts au catalogue en 5 couleurs différentes et le planning du tunnel de peinture est fait de façon que chaque couleur soit reprise une fois par semaine.

2) Certains des radiateurs doivent être retouchés en peinture à cause de défauts d'aspect (coulures, peau d'orange etc.). On observe qu'en moyenne, pour obtenir 100 radiateurs bons, il a fallu en recycler 5, c'est-à-dire en peindre 105.

3) L'horaire normal de travail est de 8 heures par jour. Il y a 20 jours ouvrables par mois.

4) L'absentéisme moyen est de 10 %.

### Question

1) Calculer, pour chaque atelier, sa capacité mensuelle en heures (heures disponibles pour l'ensemble des postes de travail), ainsi que le flux maximum (en nombre de radiateurs) qu'il peut traiter.

2) Le programme du mois de janvier est de 7 600 radiateurs, tous coloris confondus. Calculer la charge de travail en nombre d'heures de chaque atelier pour le mois ainsi que le flux moyen théorique dans chaque atelier (en nombre de radiateurs).

3) Calculer le rapport charge/capacité pour chacun des postes.

• Quel est le goulet d'étranglement de l'usine ?

• Quelle(s) solution(s) proposez-vous pour atteindre malgré tout le programme envisagé ?

• Si l'on se libère du premier goulet d'étranglement évoqué précédemment, quel sera le goulet d'étranglement suivant ?

4) Calculer le nombre total d'heures de main-d'œuvre nécessaires pour réaliser le programme de production. Combien d'ouvriers l'usine emploiera-t-elle, tout le personnel étant polyvalent, si on ne tient pas compte de l'absentéisme ? Si on tient compte de l'absentéisme ?

5) Déterminer le nombre théorique de postes à faire fonctionner dans les ateliers de découpe, de soudure, d'assemblage et d'emballage et calculer les nouvelles capacités et les nouveaux rapports charge/capacité. Combien d'ouvriers l'usine emploiera-t-elle si le personnel est totalement spécialisé sur une opération, si on ne tient pas compte de l'absentéisme ? Si on tient compte de l'absentéisme ?

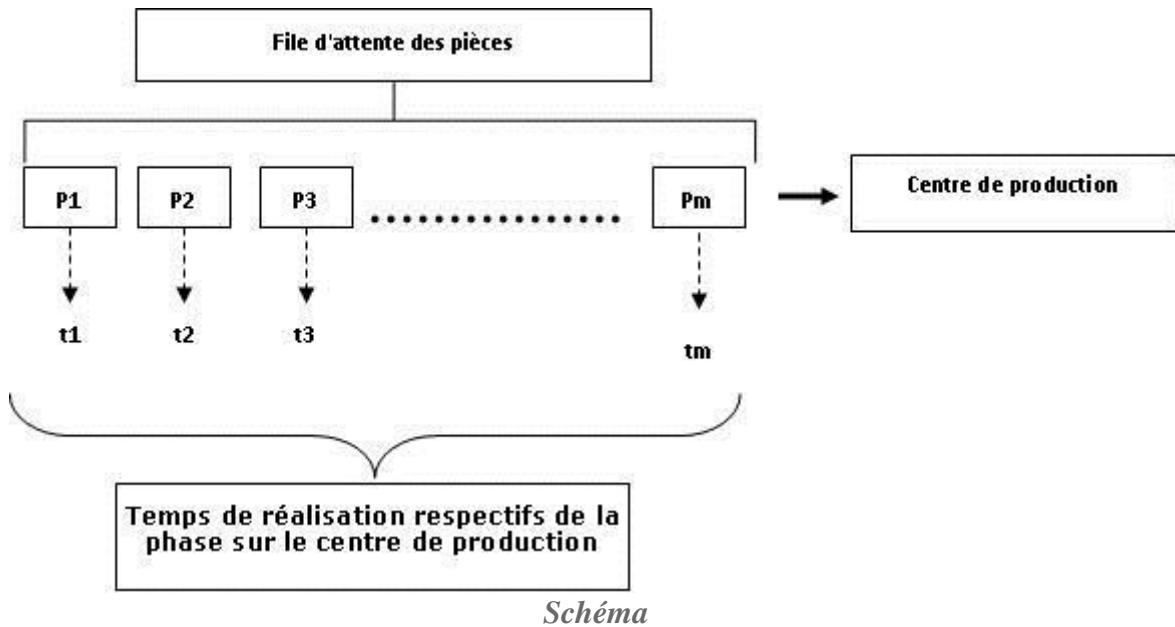
## VII. Ordonnancement centralisé

### 1. Algorithme d'ordonnancement :

#### a) La règle du temps opératoire minimum (TOM)

Supposons un centre de production et en attente devant ce centre un nombre (m) de pièces (P1, P2, P3, ....Pm) devant subir une phase sur ce centre.

Le centre de production permet de réaliser une phase de la gamme de chaque pièce, la durée de cette phase varie en fonction du type de pièce, (t1, t2, t3,...tm).



*Schéma*

La règle du temps opératoire minimum permet de définir l'ordre de passage des pièces sur la machine en minimisant la durée moyenne de fin de réalisation des phases constituant la file d'attente .

La date de fin de réalisation d'une pièce réalisée à la  $k$ ième position est égale à la somme des temps de réalisation des pièces précédentes augmentée de la durée de réalisation de la pièce elle-même :

$$d_k = \sum_{i=1}^k t_i$$

Si l'on considère l'ensemble des durées de fin de réalisation des différentes pièces :  $d_1, d_2, d_3, d_4, \dots, d_m$ .

La moyenne de ces durées est égale à :

$$d_m = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m d_j = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \left( \sum_{k=1}^j t_k \right) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (m - i + 1) t_i$$

On constate que pour minimiser  $d_m$  on a intérêt à associer le temps ( $t_i$ ) le plus faible au coefficient ( $m - i + 1$ ) le plus élevé, or ce coefficient est d'autant plus élevé que  $i$  est grand.

La valeur minimale de  $d_m$  sera obtenue en choisissant en premier les pièces dont les temps opératoires  $t_i$  sont les plus faibles.

- **Exemple:**

5 pièces repérées de 1 à 5 avec un temps opératoire et un délai de réalisation.

Ordre passage pièce	temps opératoire (t <sub>i</sub> ) en ch	fin de réalisation De la pièce	délai de réalisation
1	800	800	1600
2	300	1100	4000
3	450	1550	1600
4	330	1880	2000
5	520	2400	2600
	durée de réalisation Moyenne =	1546	

Si l'on applique la règle du temps opératoire minimum on obtient, avec un ordre de passage 2 4 3 5 1 qui minimise la durée de réalisation moyenne :

**Dm= 1202 au lieu de 1546 dans un ordre aléatoire.**

On remarque que cette méthode qui minimise la durée moyenne de réalisation, ne tient pas compte du respect des délais car la pièce repérée 1 est terminée à 2400 alors que son délai de réalisation est de 1600.

Ordre passage pièce	temps opératoire (t <sub>i</sub> ) en ch	fin de réalisation De la pièce	délai de réalisation
2	300	300	4000
4	330	630	2000
3	450	1080	1600
5	520	1600	2600
1	800	2400	1600
	durée de réalisation Moyenne=	1202	

Il est possible d'ordonner en choisissant comme critère non plus le temps opératoire mais le délai de réalisation, toutefois bien évidemment cet ordonnancement ne minimisera plus la durée moyenne de réalisation.

### b) L'algorithme de Johnson

Son objectif est de minimiser la durée de réalisation d'une file d'attente de n pièces devant toutes passer selon le même ordre sur deux machines (problème du type flow-shop).

Il peut s'énoncer ainsi :

Tant qu'il reste des pièces dans la file d'attente

#### Faire

Pour le reste des pièces à ordonner

Faire la recherche sur les deux machines

Du temps opératoire minimum (TOM);

**Si** TOM est trouvé sur la première machine

**Alors** placer la pièce en début d'ordonnancement;

**Si non** placer la pièce en fin d'ordonnancement;

### **Fin de si**

Eliminer de la file d'attente la pièce nouvellement ordonnancée;

### **Fin de faire**

- **Exemple:**

Considérons 4 pièces P1 P2 P3 et P4 qui vont passer successivement sur les machines M1 et M2 afin d'être fabriquées.

Les gammes de fabrications s'écrivent ainsi :

P1		
Phase	Machine	Temps
10	M1	10
20	M2	8

P2		
Phase	Machine	Temps
10	M1	4
20	M2	14

P3		
Phase	Machine	Temps
10	M1	18
20	M2	6

P4		
Phase	Machine	Temps
10	M1	20
20	M2	24

Pièces	Délais
P1	40
P2	60
P3	50
P4	70

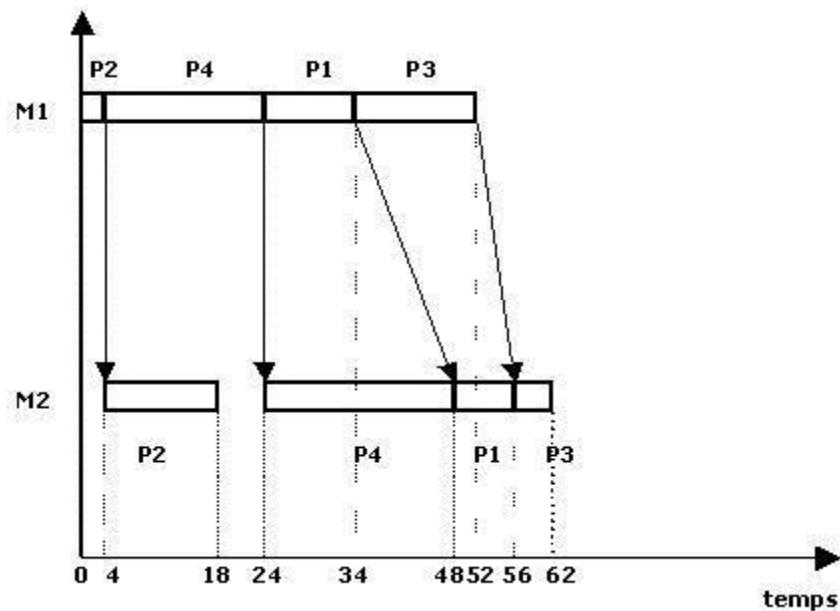
*tableau*

- **Appliquons l'algorithme de Johnson**

Le TOM 4 nous permet de placer P2 en premier

Puis le TOM 6 P3 en dernier etc...

On obtient ainsi l'ordre suivant : P2, P4, P1, P3



*Schéma*

On constate qu'il ne reste qu'un seul trou de charge après P2 sur la machine M2 et que si cet algorithme minimise bien le temps global de fabrication il ne permet pas forcément de respecter les délais de réalisation spécifiques de certaines pièces.

- **Exemple:**

P1 est terminée à 56 alors qu'elle a un délai de 40 et P3 à 62 avec un délai de 50.

### c) Algorithme de Johnson généralisé

Il peut s'appliquer sur toute fabrication dont le processus de fabrication est séquentiel avec plus de deux postes de fabrication même si tous les postes ne sont pas utilisés.

**Pour chaque pièce :**

- Réaliser la somme des temps de toutes les phases (N)
- Réaliser la somme x des temps des n-1 premières phases
- Réaliser la somme y des temps des n-1 dernières phases
- Calculer le rapport  $k=x/y$

On obtient l'ordre des fabrications grâce à l'ordre croissant de k.

- **Exemple:**

Soit une file d'attente composée de six pièces et devant être fabriquées séquentiellement sur 4 machines, les temps opératoires sont exprimés en centièmes d'heures.

P1				
phase	10	20	30	40
machine	M1	M2	M3	M4
temps opératoires	2000	1720	600	160

P2				
phase	10	20	30	40
machine	M1	M2	M3	M4
temps opératoires	3560	3960	3800	3080

P3				
phase	10	20	30	40
machine	M1	M2	M3	M4
temps opératoires	280	1880	800	3920

P4				
phase	10	20	30	40
machine	M1	M2	M3	M4
temps opératoires	320	2560	480	3760

P5				
phase	10	20	30	40
machine	M1	M2	M3	M4
temps opératoires	2440	760	2600	560

P6				
phase	10	20	30	40
machine	M1	M2	M3	M4
temps opératoires	40	3200	2640	3120

Pièces	M1	M2	M3	M4	Total	x	y	k	Ordre
P1	2000	1720	600	160	4480	4320	2480	1,74	6
P2	3560	3960	3800	3080	14400	11320	10840	1,04	4
P3	280	1880	800	3920	6880	2960	6600	0,46	1
P4	320	2560	480	3760	7120	3360	6800	0,49	2
P5	2440	760	2600	560	6360	5800	3920	1,48	5
P6	40	3200	2640	3120	9000	5880	8960	0,66	3

L'ordre de passage est donc : P3 P4 P6 P2 P5 P1

## 2. Règles de priorité

Si l'on n'utilise pas d'algorithme pour déterminer l'ordonnancement des OF il faut se fixer une règle.

L'utilisation de règles de priorités n'a pas l'ambition de l'optimisation mais propose des solutions "acceptables" s'appuyant sur des critères proches des objectifs du gestionnaire.

Le résultat de l'ordonnancement dépend de l'ordre dans lequel les OF sont placés sur le planning. Aussi il est recommandé de choisir les règles à utiliser de façon à réaliser au mieux les objectifs assignés à l'ordonnancement (respect des dates de livraison, charge maximum sur les machines etc.).

**a) Les règles les plus connues sont :**

- Ordre
- Premier arrivé premier servi (FIFO)
- Priorité au dernier arrivé (LIFO)
- Priorité au lot qui ira dans la file d'attente suivante la plus courte
- Priorité au lot dont le nombre d'opérations est le plus petit (grand)
- Priorité au lot dont le temps d'opération est le plus petit (grand)
- Dates et marges
- Date de fin la plus proche
- Marge minimale (temps restant-temps opératoires restants)
- Marge par nombre d'opérations minimale
- Ratio critique temps restant / travail restant (date livraison - date du jour) - (temps opératoires + temps inter opératoires) / (date livraison - date du jour)
- Coût
- Priorité au lot ayant la plus grande valeur
- Ratio coût d'attente par durée de l'opération à exécuter

**• Exemple:**

Devant le centre d'usinage CU09 attendent 5 OF, la date d'aujourd'hui est le jour 60 et les informations concernant ces OF sont données par GPAO.

OF	Jour d'arrivée	Temps opératoire (h)	Date de fin	Travail restant (j)
1	53	4	66	5
2	55	3	64	4
3	54	5	62	3
4	59	2	61	2
5	60	1	65	2

Si l'on applique les règles suivantes dans l'ordre :

1. FIFO
2. Priorité au lot dont le temps d'opération est le plus petit
3. Date de fin la plus proche
4. Ratio critique

**1. FIFO :**

1 3 2 4 5

**2. Priorité au lot dont le temps d'opération est le plus petit :**

5 4 2 1 3

### 3. Date de fin la plus proche :

4 3 2 5 1

### 4. Ratio critique :

OF	Date de fin	temps restant	Travail restant (J)	ratio critique
1	66	60-66=6	5	1,2
2	64	4	4	1
3	62	2	3	0,67
4	61	1	2	0,5
5	65	5	2	2,5

Ordre : 4 3 2 1 5

Les OF 4 et 3 ne seront pas terminés à la date prévue car le travail restant est plus grand que

### 3. Heuristiques d'ordonnancement

Les heuristiques d'ordonnancement ont pour caractéristique d'utiliser des combinaisons de règles élémentaires. Elles seront ainsi multicritères et vont pouvoir aider le décideur par rapport aux objectifs de respect des délais, de niveau des en cours, de la charge de l'atelier.

Elles sont dynamiques et vont permettre la simulation des flux physiques.

Bien que ces méthodes utilisées dans de nombreux logiciels ne donnent pas de solution optimale, elles permettent de trouver des solutions acceptables et en tout cas elles sont une amélioration des tâtonnements utilisés par les responsables de planning.

le temps restant.

## VIII. Élaboration du planning

Après avoir choisi l'ordre des différents OF il faut effectuer le chargement sur le planning.

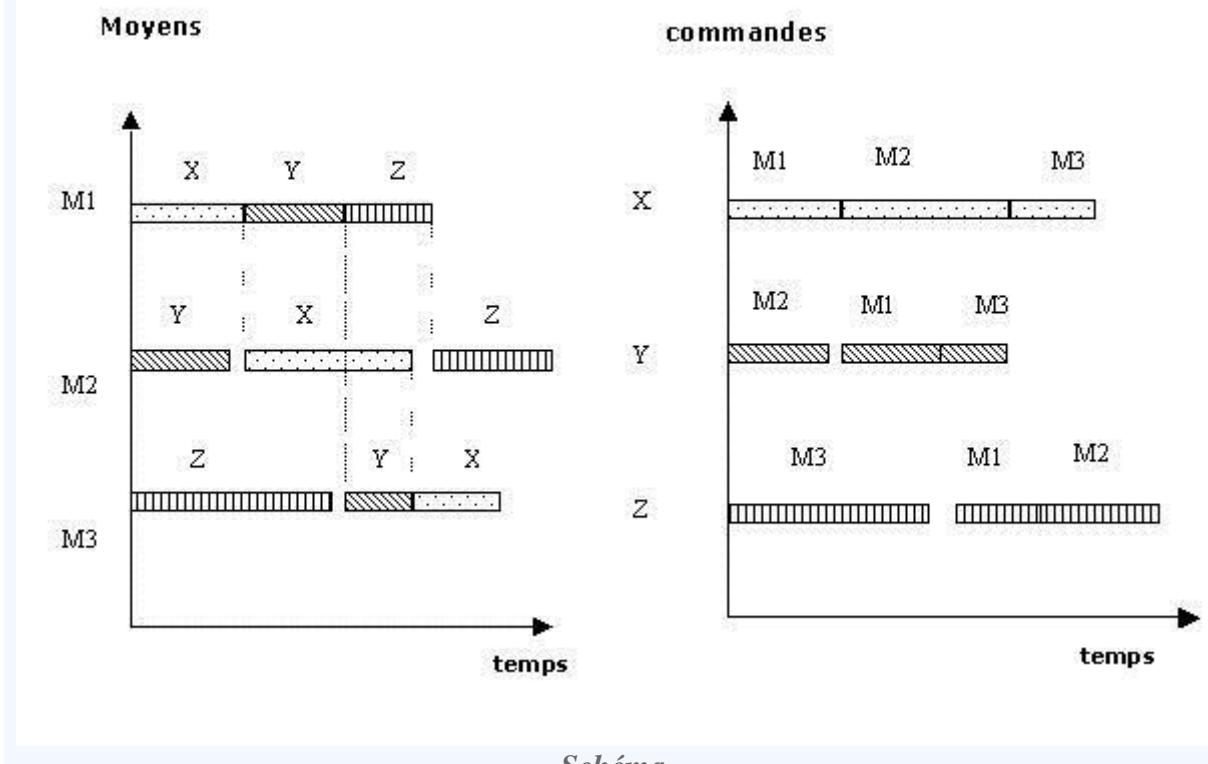
Il existe plusieurs types de planning : avec des fiches en "T", à gouttières, magnétiques, réalisé avec un logiciel.

Suivant l'utilisation que l'on veut en faire le planning n'aura pas la même représentation.

Le planning d'utilisation des moyens de production permet au chef d'atelier de connaître l'utilisation des machines, celui des commandes donnera une vue des affaires en cours.

- **Exemple:**

trois commandes X, Y, Z sont réalisées sur trois machines M1, M2, M3.



*Schéma*

Avant de fabriquer un produit le bureau des méthodes crée une gamme de fabrication.

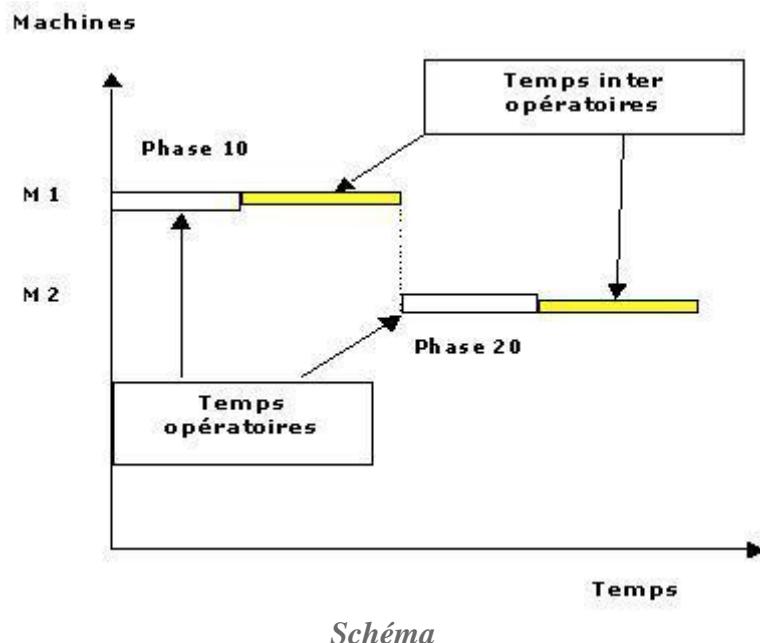
Cette gamme est découpée en phases. Chaque phase correspond, pour simplifier, au passage pour le produit ou la pièce d'une machine à une autre. Sur une même machine il peut y avoir plusieurs opérations ce qui correspond à un changement d'outil ou d'instrument ou de technique. Exemple découpage, vissage, ébavurage etc.....

Dans les gammes sont indiqués les temps opératoires tels que temps de préparation du poste ou temps série, le temps d'exécution de l'opération ou temps unitaire et parfois les temps de contrôle quand ils ne sont pas masqués. Mais ne sont pas indiqués les temps inter opératoires tels que :

- le temps de transit de la pièce vers le poste suivant,
- le temps de lancement,
- les temps de contrôle administratif.

Ces temps opératoires sont obtenus par une analyse statistique ou par mesure.

Ils se placent à la fin d'une phase juste avant de commencer la phase suivante.



#### 4. Chargement au plus tôt

Le chargement au plus tôt consiste à placer dans l'ordre chronologique les phases de chaque OF à partir de la date du jour ou du début de la planification.

Cette méthode permet de privilégier l'occupation à court terme de l'atelier mais ne permet pas de gérer les commandes urgentes.

Elle permet de vérifier que les délais seront respectés sauf problème de production et de laisser des marges éventuelles qui permettront d'absorber des retards s'il y a lieu.

Elle pénalise les coûts car elle engendre des en cours et des stocks plus importants.

- **Exemple: Exemple de planification au plus tôt**

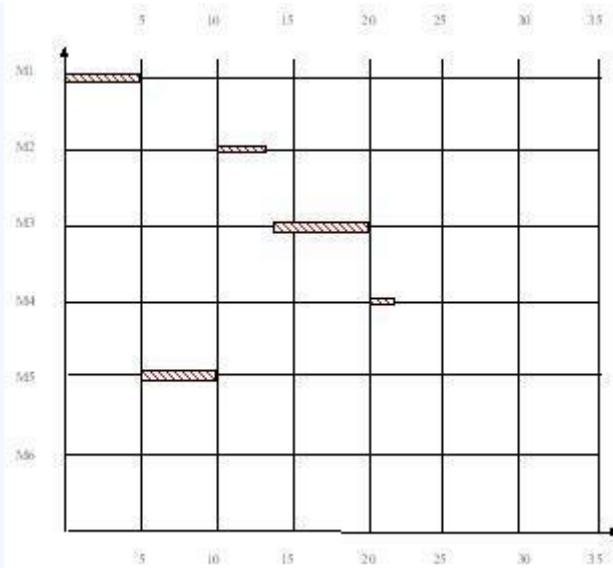
OF1		
Ph	M	T(h)
10	M1	5
20	M5	5
30	M2	3
40	M3	7
50	M4	2
60		

OF2		
Ph	M	T(h)
10	M2	2
20	M5	3
30	M6	5
40		
50		
60		

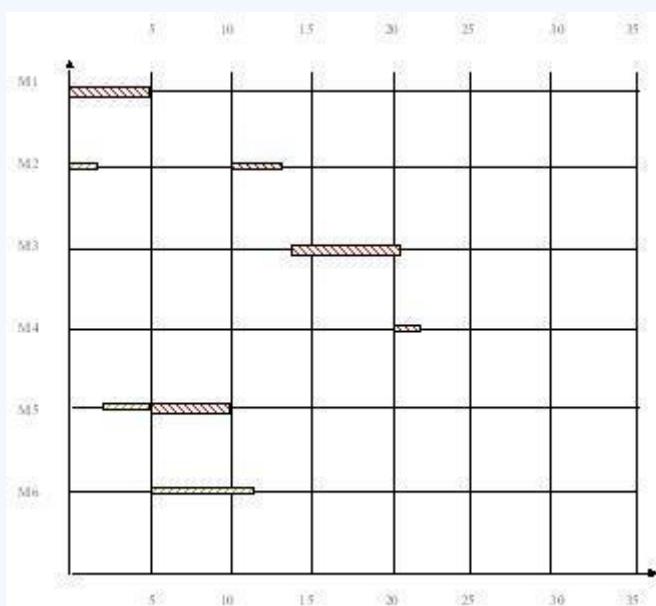
OF3		
Ph	M	T(h)
10	M1	3
20	M2	4
30	M4	2
40	M5	5
50	M6	6
60		

OF4		
Ph	M	T(h)
10	M3	2
20	M4	6
30	M2	2
40	M5	4
50		
60		

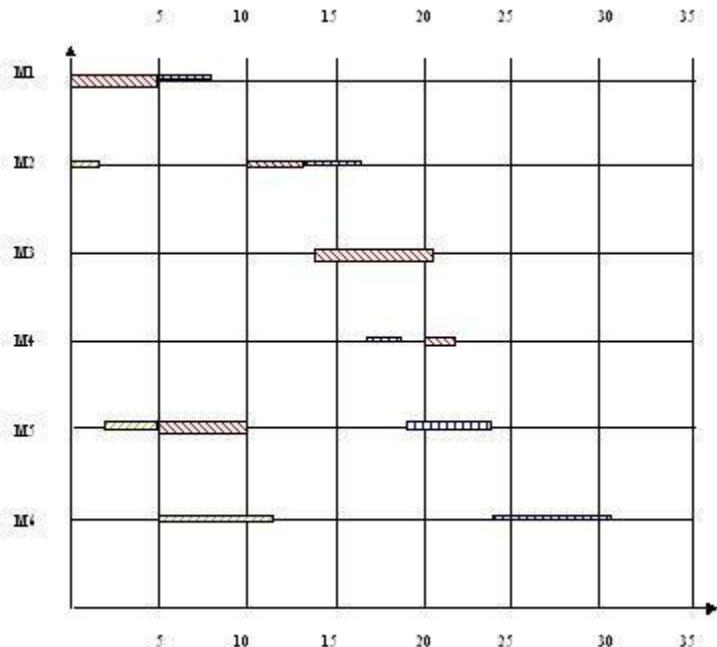
Le délai de livraison identique pour tous les OF est de 35 heures.



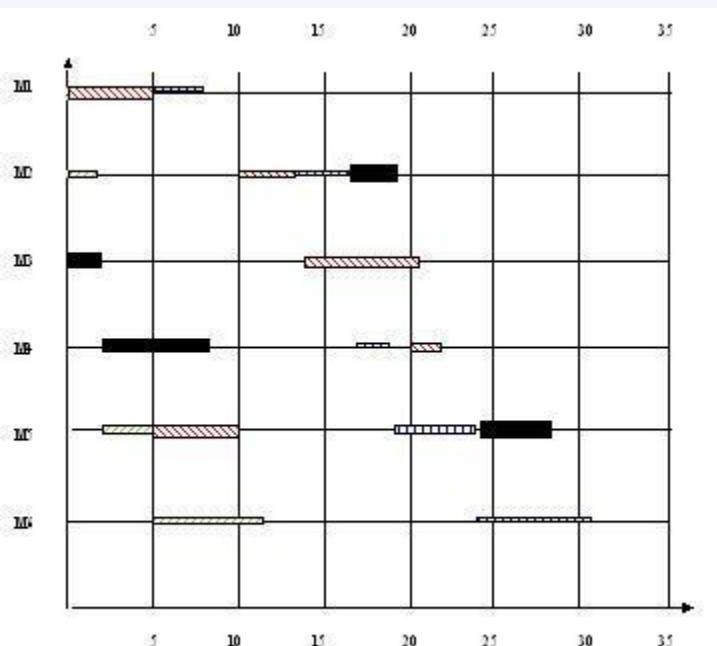
*Chargement OF1*



*Chargement OF2*



*Chargement OF3*



*Chargement OF4*

- **Remarque:**

Si le placement des premiers OF ne pose pas de problème on peut remarquer qu'il devient difficile de placer les derniers OF correctement.

Exemple : l'OF4 attend 9 h après la première phase pour le passage sur la machine M2 et six heures après la phase 3.

On peut remarquer de même la faible utilisation des ressources, par exemple la machine M6 qui termine à la 31ème heure n'est utilisée en tout que 14 h, ce qui représente environ 45% de son temps.

Le résultat serait certainement différent si l'on avait utilisé un autre ordre de chargement des OF.

Dans le chargement on a considéré que les phases étaient sécables sans problème et qu'on pouvait abandonner une phase en cours puis la reprendre le lendemain.

- **Exemple:**

Si l'on suppose que le début des phases coïncide avec un début de journée et qu'une journée ne comporte que 8 heures.

La phase 20 sur la machine M5 doit s'arrêter à la fin du jour 1 et reprendre le jour 2 mais dans certaines phases ce n'est pas possible, par exemple un traitement thermique.

Il faut prendre en compte ce type de contrainte lors de la planification et des choix s'imposent: soit reporter la phase au lendemain, soit faire des heures supplémentaires.

## 5. Chargement au plus tard

Dans le chargement au plus tard on place la dernière phase ou dernière opération avec sa fin qui coïncide avec la date de livraison et on repart vers la gauche en plaçant l'avant dernière phase et ainsi de suite.

L'ordre du placement des OF peut être la date de livraison ou la marge dans l'ordre croissant, dans l'exemple on a placé les OF en commençant par celui qui avait la plus petite marge (date de livraison-date de fin au plus tôt).

L'avantage du chargement au plus tard est que l'on diminue les en cours mais que l'on prend des risques dans le respect des délais car les marges sont annulées ou diminuées et le moindre problème en fabrication va entraîner un retard de livraison.

Il permet de libérer du temps à court terme afin de pouvoir placer des commandes urgentes.

Dans le cas où le placement au plus tard donne comme résultat qu'un OF doit commencer la semaine précédente, on choisit soit de placer l'OF au plus tôt soit de changer l'ordre de placement.

Une autre solution est de diminuer la taille des lots de transfert et de réaliser ainsi ce que l'on appelle du chevauchement :

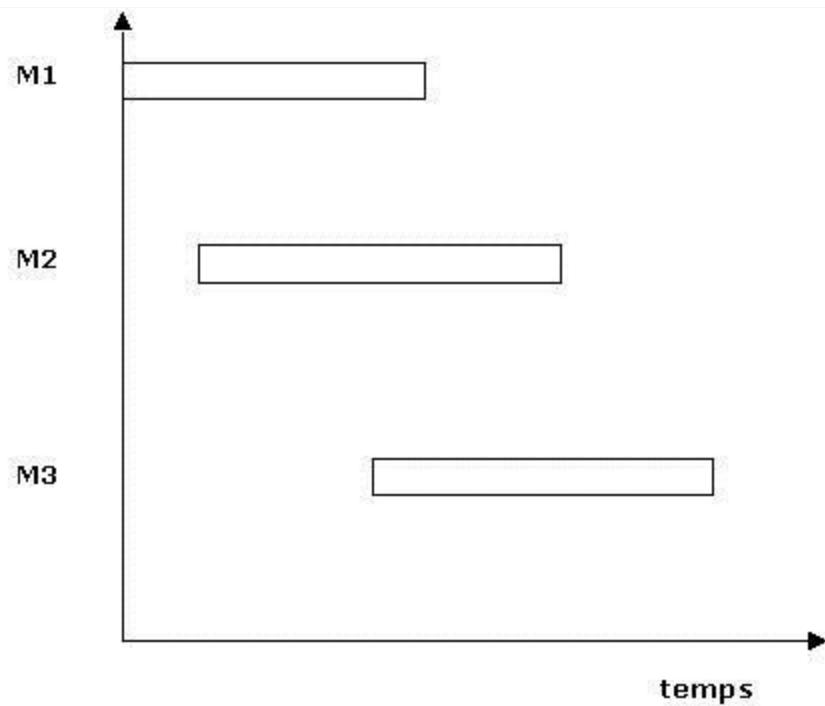
Le chevauchement permet de diminuer le temps total de fabrication d'un OF.

- **Exemple: Un lot à fabriquer sur 3 machines M1, M2, M3.**

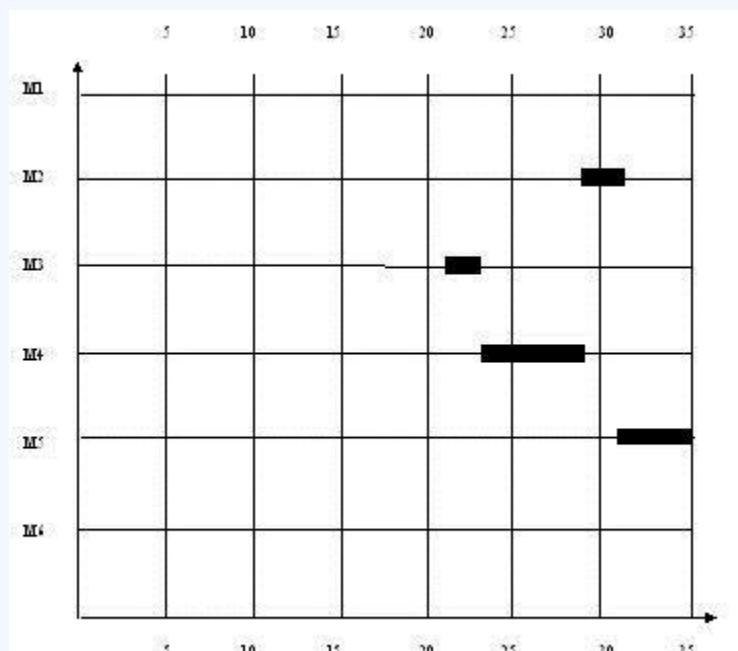
On n'attend pas que la totalité du lot soit terminée sur la machine M1 (M2) pour passer à la phase suivante sur la machine M2 (M3).

Cela permet de diminuer le temps de fabrication total du lot mais cela peut poser quelques problèmes de suivi du lot.

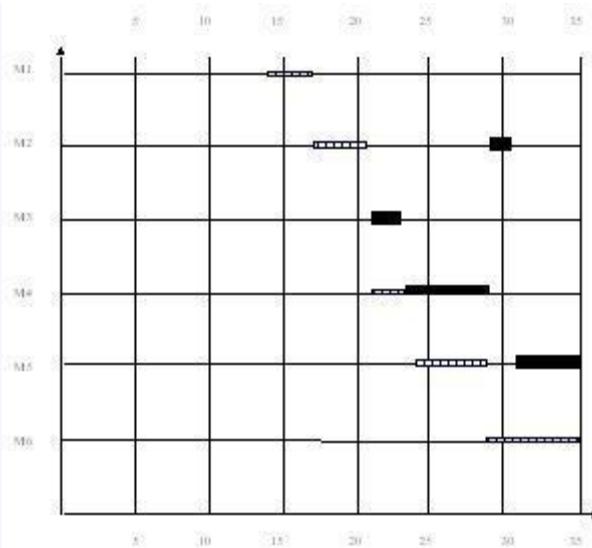
En général une fiche suiveuse est associée au lot et lorsque le lot est partagé et réparti sur plusieurs machines il est plus difficile de réaliser le suivi de la fabrication.



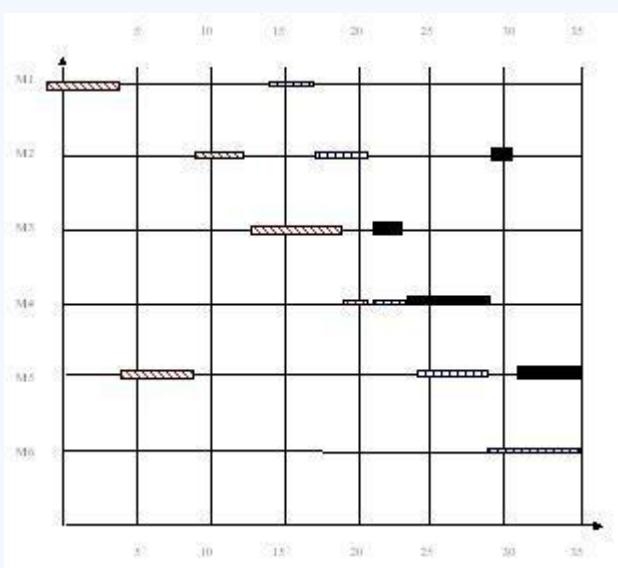
*Schéma*



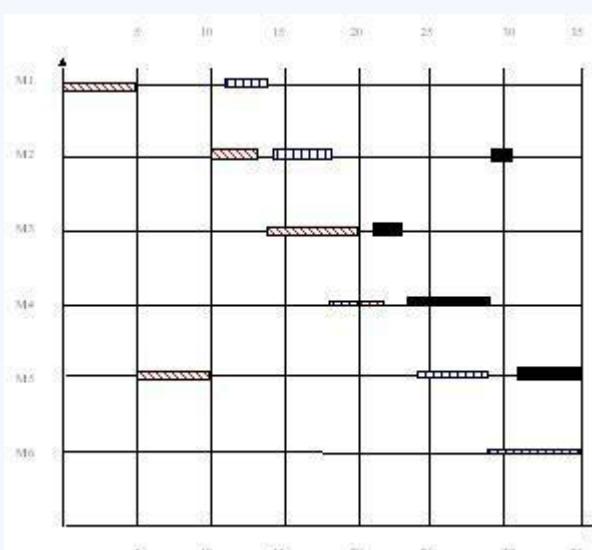
*Chargement de l'OF4*



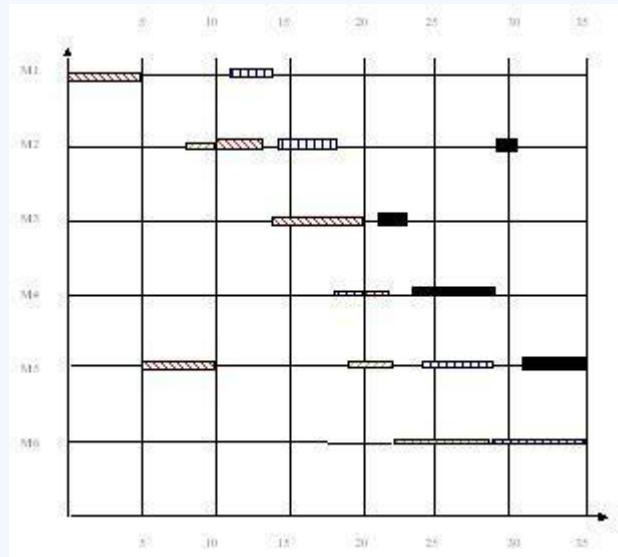
*Chargement de l'OF3*



*Chargement de l'OF1*



*Mais OF1 doit débuter sur M1 avant la date du jour, une solution est de placer l'OF1 avant l'OF3.*



*Chargement de l'OF2*

Un autre type de chargement peut aussi être utilisé, c'est le chargement à partir des machines goulots qui sont des moyens de production dont la capacité est juste inférieure ou égale à la charge moyenne habituelle.

On place donc en priorité les phases qui sont réalisées sur ces machines goulots.

**L'ordonnancement centralisé** permet l'établissement d'un planning d'utilisation des ressources de l'atelier et d'obtenir ainsi des informations quant aux dates de livraison possibles.

Mais cet ordonnancement s'avère peu réaliste car on essaie de gérer de façon déterministe un univers aléatoire et dynamique.

## 6. De nombreuses causes viennent perturber le planning initial

- L'arrivée de nouvelles commandes (ou de nouveaux OF), certaines peuvent être urgentes.
- Les temps inter-opératoires peuvent varier suivant le type de fabrication, la charge de l'atelier.
- Les temps opératoires eux aussi sont des moyennes et peuvent varier par exemple en fonction de l'expérience de l'opérateur.
- Les pièces défectueuses retardent et perturbent la fabrication ainsi que :
  - les pannes de machines
  - l'absentéisme
  - les retards de livraison

Or le moindre retard sur une phase peut décaler l'ensemble des autres phases et rendre l'ordonnancement caduque.

## **IX. L'ordonnancement décentralisé**

### **1. Les règles locales :**

Elles sont du même type que celles utilisées dans l'ordonnancement centralisé :

#### **b) ORDRE**

##### **i. Premier arrivé premier servi (FIFO) :**

C'est la règle la plus simple à appliquer mais elle ne convient pas forcément lorsque les marges entre le délai de livraison et la date du jour sont faibles par rapport aux temps opératoires.

##### **ii. Priorité au lot dont le temps d'opération est le plus petit :**

Il y a un risque pour les opérations longues de rester bloquées devant une machine pendant très longtemps.

##### **iii. Date de fin la plus proche :**

Cette règle favorise les OF dont la date de livraison est la plus proche, elle permet de faire passer en priorité les lots qui sont en retard ou qui risquent de l'être.

##### **iv. Ratio critique temps restant/travail restant ou temps restant/nombre d'opérations restantes :**

Cette règle a pour objectif le respect des délais.

### **2. Les règles globales**

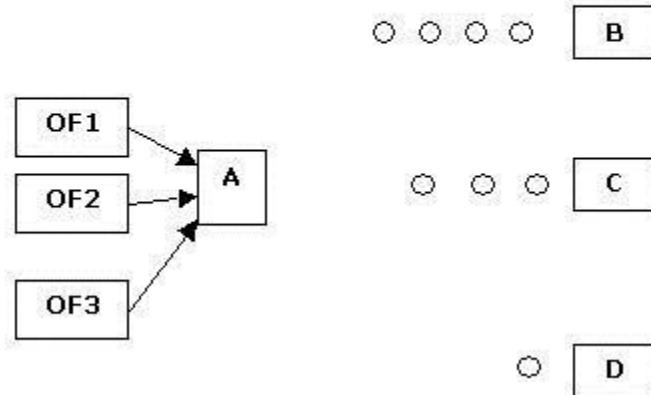
L'application de ces règles nécessite des informations de la file d'attente mais aussi du reste de l'atelier. Celles-ci devront donc être centralisées même si la décision se répand au niveau local.

#### **Priorité au lot qui ira dans la file d'attente suivante la plus courte.**

Cette règle nécessite de surveiller les postes suivants et notamment la priorité sera donnée au lot qui doit passer sur le poste suivant dont la file d'attente est la plus courte.

On choisira l'OF3 pour passer en priorité sur le poste D'où la file d'attente est la plus petite, cela permet d'éviter que celui-ci ne soit en attente de pièces.

	OF1	OF2	OF3
PH 10	A	A	A
PH 20	B	C	D



*Schéma*

### Priorité au poste suivant qui est un goulot

Parmi les quelques règles citées il n'y a pas de règle qui donne de meilleurs résultats.

Ceux-ci dépendent du type de production, de commandes, des objectifs de l'atelier.

Toutefois il appartient au gestionnaire de mettre en place des indicateurs permettant de mesurer l'efficacité des règles utilisées (respect des délais, taux de chargement, équilibrage de la charge, le volume des en cours).

### 1) Lancement en fabrication

Il consiste avant de démarrer la réalisation de l'OF à mettre en place la documentation nécessaire à la réalisation et au suivi, à vérifier la disponibilité des composants et matières premières nécessaires, la disponibilité de la capacité des ressources.

#### Les documents souvent utilisés sont :

- La fiche suiveuse, les bons de travaux, les plans, bons de sortie matière, la gamme de fabrication, les bons d'outillage.

Le bon de travail est associé à une phase sur un poste de travail. Il permet une fois complété par l'opérateur de connaître le nombre de pièces effectivement réalisées ainsi que le temps réellement passé à réaliser le lot.

Les bons de travaux sont distribués à intervalles de temps réguliers.

Ces informations sont transmises au service ordonnancement pour la mise à jour du planning des indicateurs de performances et pour l'imputation des coûts à l'OF.

La fiche suiveuse est rattachée au lot de fabrication et le suit d'un poste à l'autre, elle contient des informations concernant l'OF (client, quantité à fabriquer, date de livraison, gamme etc.).

### 2) Le suivi de fabrication

Il consiste à recueillir les informations sur l'avancement des fabrications avec les bons de travaux ou à partir des feuilles de pointage remplies journallement par les opérateurs.

Ces informations vont servir à la mise à jour du planning, elles permettront de pouvoir lancer les OF suivants, de renseigner les clients.

- **Exercice :**

Dans une PMI de mécanique générale le chef d'atelier doit planifier les ordres de fabrication pour les semaines 20 et 21.

La date du jour est le vendredi 17h de la semaine 19, l'horaire de l'atelier est de 9H-12H et de 13H-17H du lundi au vendredi. Il n'y a pas d'heures supplémentaires, l'ensemble des phases est interruptible c'est-à-dire qu'une tâche débutée le soir peut être interrompue et reprise le lendemain.

- Afin de faciliter les calculs on considère les pauses, arrêts de maintenance, nettoyage de machines comme négligeables mais il faudra prendre en compte les temps série (temps de réglage à chaque changement de série).
- Les lots de transfert sont identiques aux lots de fabrication. (pas de chevauchement possible)

**Les ordres de fabrication à réaliser sont les suivants :**

Numéro OF	Produit	Lot de fabrication (nbre de pièces)	Date de livraison		
			Semaine	Jour	Heure
201	P1	40	20	mercredi	17h
202	P2	70	20	mardi	12h
203	P3	30	20	jeudi	17h
204	P5	80	20	vendredi	17h
205	P1	20	21	lundi	17h
206	P3	20	21	mardi	17h
207	P4	60	21	mardi	17h
208	P6	80	21	vendredi	17h
209	P7	70	21	mercredi	17h
210	P2	30	21	jeudi	11h

tableau

**Les gammes simplifiées des produits :**

PRODUIT P1			
phase	machine	temps série Ts(h)	temps unitaire Tu (ch)
10	M1	1	15
20	M3	0,4	19

produit P1

PRODUIT P2			
phase	machine	temps série Ts(h)	temps unitaire Tu (ch)
20	M2	0,5	5
30	M4	0,2	4

*Produit P2*

PRODUIT P3			
phase	machine	temps série Ts(h)	temps unitaire Tu (ch)
10	M2	0,7	11
20	M4	0,3	9
30	M2	0,3	19
40	M3	0,5	15

*Produit P3*

PRODUIT P5			
phase	machine	temps série Ts(h)	temps unitaire Tu (ch)
10	M1	0,4	7
20	M2	0,2	6
30	M3	0,4	7

*Produit P5*

PRODUIT P1(OF205)			
Phase	machine	temps série Ts(h)	temps unitaire Tu (ch)
10	M1	0,2	14
20	M3	0,6	22

*Produit P1 (of205)*

PRODUIT P3 (OF206)			
phase	machine	temps série Ts(h)	temps unitaire Tu (ch)
10	M2	0,8	11
20	M4	0,2	9
30	M2	0,6	22
40	M3	0,8	16

*Produit P3 (of206)*

PRODUIT P4			
phase	machine	temps série Ts(h)	temps unitaire Tu (ch)
20	M1	0,2	8
30	M3	0,4	6
40	M4	0,8	7
50	M2	0,6	9
60	M4	0,6	9

*Produit P4*

PRODUIT P6			
phase	machine	temps série Ts(h)	temps unitaire Tu (ch)
20	M4	0,6	8
30	M2	0,2	6

*Produit P6*

PRODUIT P7			
phase	machine	temps série Ts(h)	temps unitaire Tu (ch)
10	M1	0,7	9
20	M2	0,1	7
30	M3	0,4	8

*Produit P7*

PRODUIT P2 (OF 210)			
phase	machine	temps série Ts(h)	temps unitaire Tu (ch)
20	M2	0,4	12
30	M4	0,3	9

*Produit P2 (of210)*

• **Question**

1. Calculer le temps (réglage + réalisation) opératoire pour chaque phase et le temps pour chaque OF.
2. Placer sur un planning au plus tôt les OF en respectant la règle FIFO (n°OF croissant) et déterminer les OF qui seront livrés en retard.
3. A partir du planning calculer les taux de charge (charge/capacité) en semaine 20 et 21 pour chaque machine.
4. Calculer pour un OF (207 par exemple) le temps de fabrication d'une pièce pour chaque phase et ensuite le rapport entre ce temps et le temps passé (en heures ouvrées) dans l'atelier pour le lot complet.

Conclusion.

5. Placer sur un planning au plus tard les OF en respectant la règle FIFO (n°OF croissant).
6. Placer sur un planning au plus tôt les OF en respectant la règle du ratio critique, déterminer les OF qui seront livrés en retard.
7. Placer sur un planning au plus tôt les OF en les classant dans l'ordre décroissant du temps total passé sur la machine goulot et, en cas d'égalité, dans l'ordre croissant du n° OF. Déterminer les OF qui seront livrés en retard.