

Ordonnancement de production

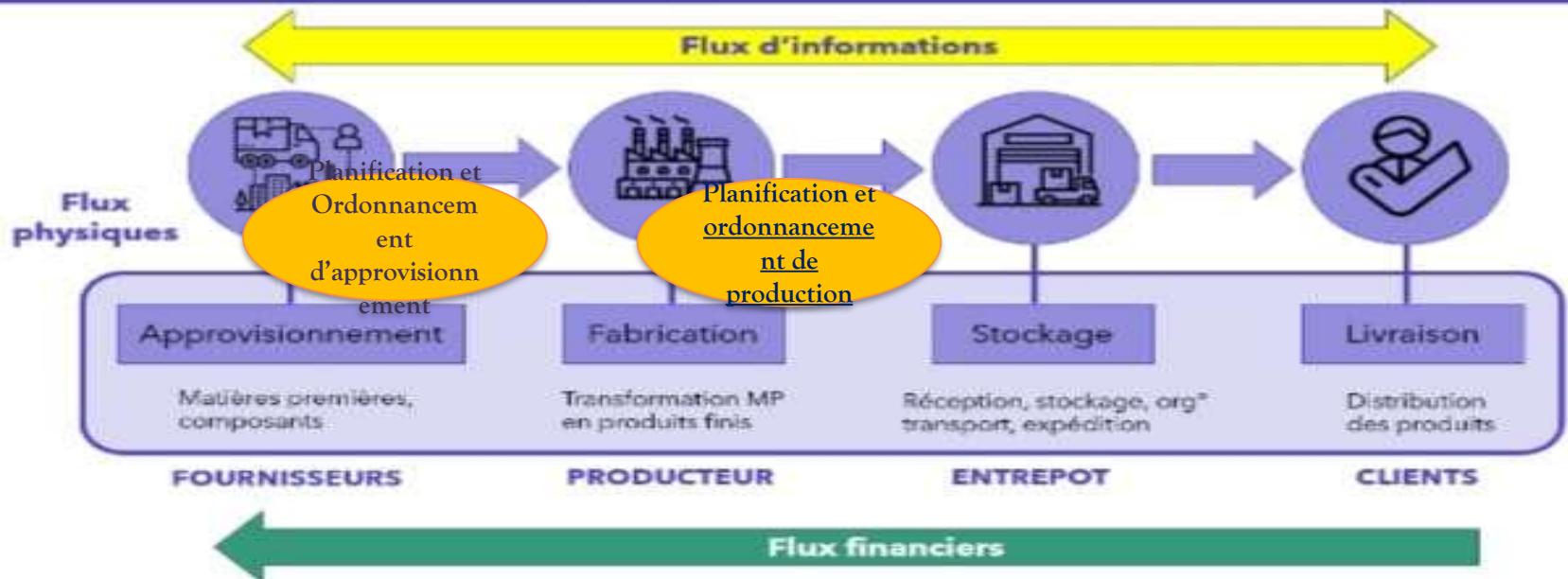


Professeur :

Dr . Sara Ben Yakoub

Supply Chain

Chaîne logistique Industrielle



Plan de module

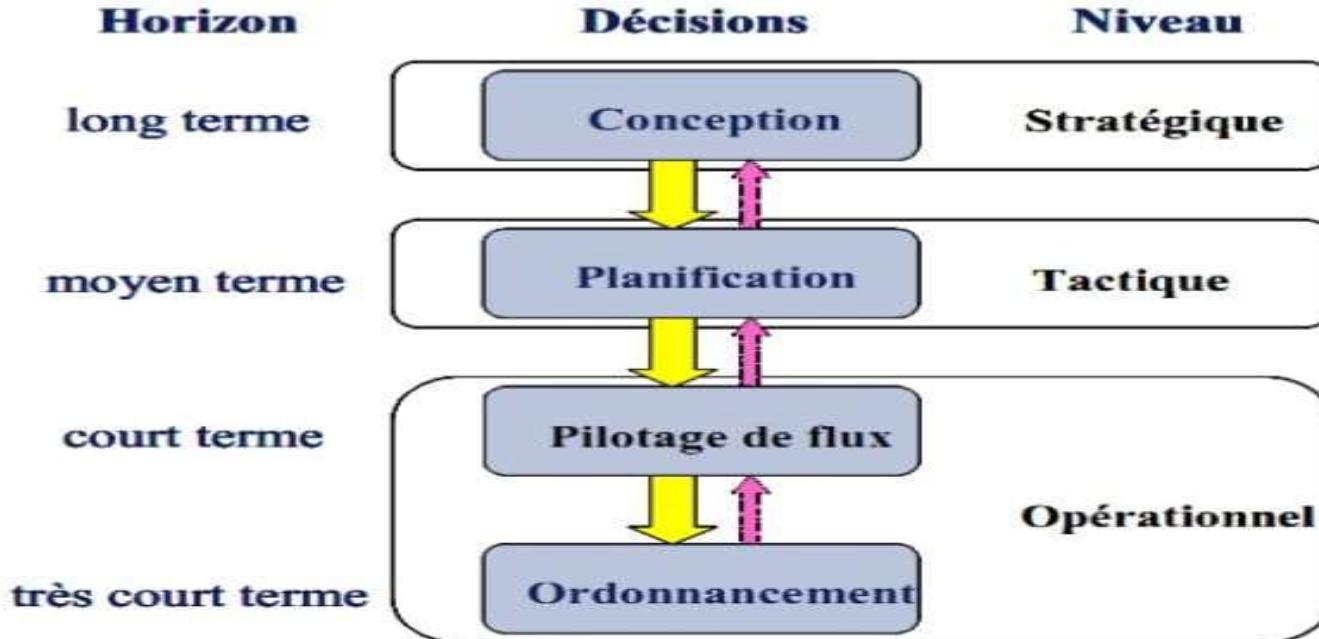
- Introduction au module
- Chapitre I : Rappel sur la production
- Chapitre II : Généralités sur l'ordonnancement
- Chapitre III : Fondements de l'ordonnancement de production
- Chapitre IV : Spécificités de l'ordonnancement de production
- Chapitre V : Problèmes d'ordonnancement de production et méthodes et algorithmes de résolution

Introduction au module

- Après la planification stratégique de l'entreprise effectuée par les responsables stratégiques, et qui vise à donner une vision claire sur les activités de l'entreprises à long terme permettant de réaliser les objectifs, les responsables tactiques et opérationnels de l'entreprise prennent leur tour d'effectuer des différentes tâches de **planification** et **exécution** pour atteindre l'objectif fixé selon une démarche.
- L'ordonnancement (son planification et son exécution) fait partie de cette démarche.

- *L'ordonnancement* est un terme distingué du verbe ordonner qui signifie , organiser et piloter quelque chose dans un certain ordre, et selon une certaine planification de processus.

Position de l'ordonnancement dans le processus managérial



Chapitre I :

Rappel sur la production

- 1. Implantation des ressources de production**
- 2. Composantes et méthodes de la production**
- 3. Activités et processus de production**

1. Implantation des ressources de production



Quelle différence ?



1.1. C'est quoi l'implantation des ressources en production ?

→ L'implantation des ressources de production est l'installation de l'ensemble des ressources (notamment le facteur humain et matériel) grâce auxquelles les produits sont fabriqués.

Cela comprend donc:

- ✓ La position des machines et zones de production
- ✓ L'emplacement des postes de travail
- ✓ Le tracé des voies de cheminement des pièces , matériels et personnels

1.2. Objectifs et types d'implantation des ressources de production

➤ Objectifs

- ✓ L'objectif de l'implantation est d'optimiser les flux de production afin d'augmenter la productivité et la réactivité de l'entreprise.
- ✓ Une entreprise est un processus de phases , et si ce dernier est long cela donc peut engendrer une perte de temps.
- ✓ Pour remédier à cela, il faut une organisation du travail adaptée. On s'occupe fortement du lieu où on produit (*implantation*).

1.2. Objectifs et différents niveaux d'implantation des ressources de production

- ✓ *Organiser la production dans le minimum d'espace*
- ✓ *Réduire et faciliter les circuits de fabrication*
- ✓ *Faciliter les opérations de réglage et maintenance des machines*
- ✓ *Disposer les postes de travail et les installations communes de façon à assurer au personnel de bonnes conditions de travail*

1.2. Objectif et types d'implantation des ressources de production

➤ Types d'implantation

- ✓ Implantation historique
- ✓ Implantation à position fixe
- ✓ L'implantation en ligne de fabrication
- ✓ Implantation fonctionnelle
- ✓ Implantation en îlot

Implantation historique

- 
- Cette implantation concerne la première installation des matériels des sociétés notamment ceux qui sont anciennes.
 - Ce type d'implantation est judicieux et nécessite une réimplantation au fil du temps du fait que plusieurs machines ont été changées.
 - Cela pour une meilleure gestion des flux et une optimisation efficace de l'occupation des surfaces.

Implantation à position fixe

- Cette implantation à position fixe appelée également « implantation en chantier » nécessite d'avoir des moyens et objets de production qui ne peuvent pas être déplaçables.
- Par Exemple :
 - ✓ Industrie aéronautique
 - ✓ Industrie navale
 - ✓ Génie civil



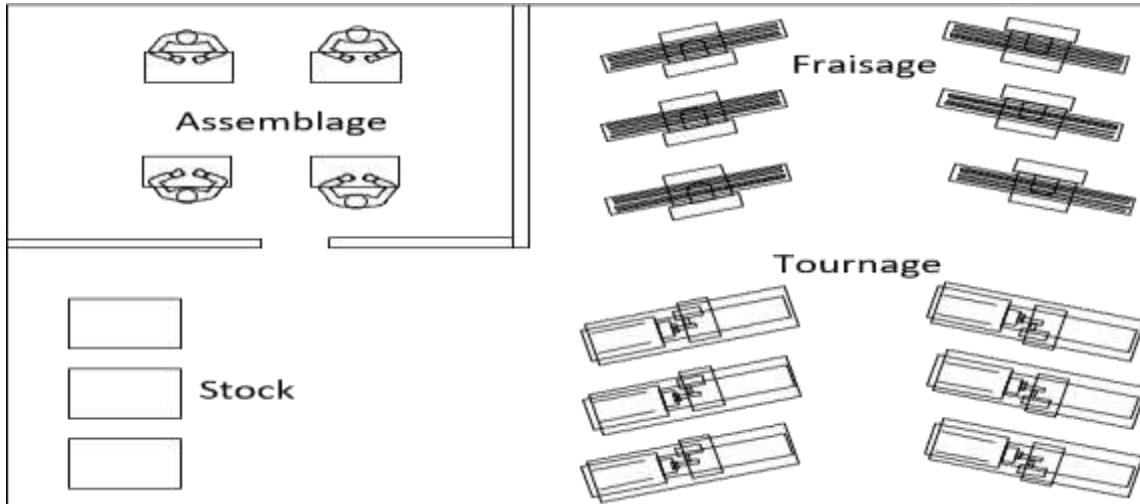
Implantation en ligne de fabrication

- ✓ Appelée aussi **Implantation chaîne**, et c'est le modèle d'implantation dans lequel le produit ou même famille de produits sont déplaçables successivement sur toutes les machines mises en place dans l'ordre de la gamme de fabrication.
- ✓ C'est le cas de la **grande série**, c'est-à-dire, la production des produits en grande quantité surtout lorsque les gammes de fabrication sont très voisines (Industrie automobile par exemple).



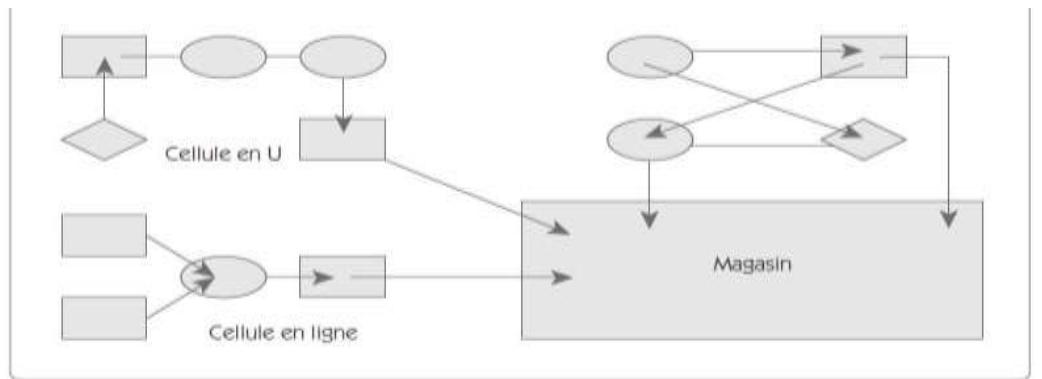
Implantation fonctionnelle

- L'implantation fonctionnelle est le modèle d'implantation dans des machines fonctionnellement identiques sont regroupés.
- Cette implantation permet d'améliorer l'utilisation des moyens en minimisant les délais de fabrication (Implantation plus utilisé dans les pâtisseries)

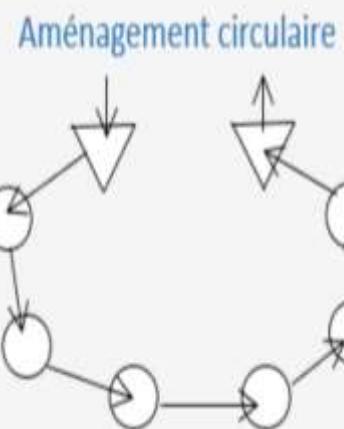
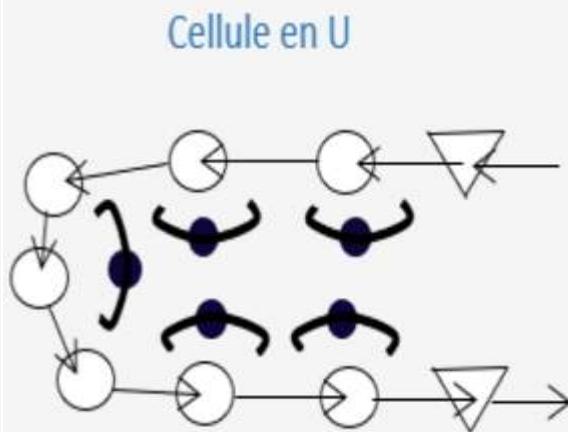
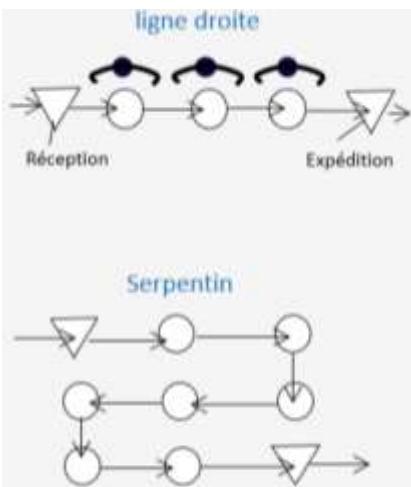


Implantation en îlots

- Les machines sont regroupées sous forme des ensembles autonomes des machines de production spécialisés selon chaque type de produit, ces ensembles s'appellent des îlots.
- Les flux de produits (Matières) peuvent utiliser les postes de travail de l'îlot dans un ordre différent suivant leur gamme de fabrication alors que dans une ligne de fabrication l'ordre est impératif.



Exemple d'aménagement en îlots



Comment choisir l'implantation appropriée à la production ?

- Phase d'analyse : On rassemble toutes les informations disponibles sur le produit et le problème de production à résoudre.
- Phase de synthèse : On recherche les diverses solutions possibles.
- Phase de choix : On compare les solutions et on détermine la solution qui semble la meilleure.

Méthodes d'implantation de production

- ❖ Il s'agit des méthodes basiquement mathématiques, permettant de modéliser l'implantation de l'atelier de production.
- ❖ Ces méthodes sont plus utilisées dans *l'implantation en ligne de fabrication* et *l'implantation en îlots*. On peut distinguer entre :
 - *La méthode des rangs moyens*
 - *La méthode des antériorités*
 - *La méthode des chaînons*
 - *La méthode de Kuziack*
 - *La méthode de King*

Les méthodes des Rangs Moyens et des antériorités

- Les méthodes des rangs moyens et des antériorités sont utilisées lors des études d'implantations pour vérifier s'il est possible de mettre en ligne des postes de travail.
- Elles consistent à trouver l'ordre optimal de placement des machines en minimisant les retours en arrière.
- Voir l'exemple d'application ci-après :

Application

Une entreprise textile décide de produire une gamme de fabrication constituée des produits A, B, C. Le tableau suivant indique l'ordre d'intervention des machine (Postes de travail) dans la gamme de fabrication de chaque produit.

Produits	M1	M2	M3	M4
A	2	1	3	4
B		1	2	
C		1	2	3

Travail à faire :

Organiser l'atelier en choisissant la position optimale de chaque machine en utilisant la méthode des Rangs Moyens et la méthode des Antériorités

Exercice 1

Pour chaque produit le tableau indique l'ordre d'intervention des machines / poste de travail dans la gamme de fabrication. Par exemple le produit P1 passe successivement dans l'ordre suivant, sur les postes M3 ; M6 ; M2 ; M7 ; M8 ; M9

Machines	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Pièces									
P1		3	1			2	4	5	6
P2	1	5		3	2		4	6	7
P3	1	3		2			4	5	
P4	1	5		3	2	4		6	7

Travail à faire :

Organiser l'atelier en choisissant la position optimale de chaque machine à travers :

**La méthode des Rangs Moyens*

**La méthode des antériorités*

Corrigé de la méthode des rangs moyens

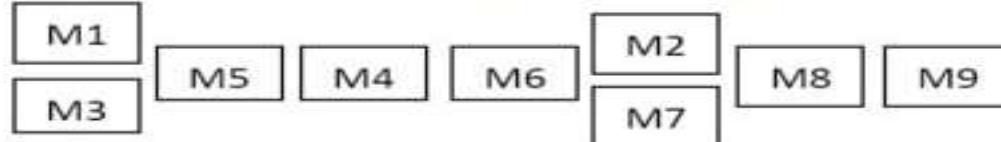
D'après le tableau présenté au §1, on calcule pour chaque machine son rang moyen qui est la place moyenne de cette machine dans les gammes de fabrication (exemple pour M2 : total 16/ nombre de rangs 4 = rang moyen 4).

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
P1		3	1			2	4	5	6
P2	1	5		3	2		4	6	7
P3	1	3		2			4	5	
P4	1	5		3	2	4		6	7
Total des rangs	3	16	1	8	4	6	12	22	20
Nombre de rangs	3	4	1	3	2	2	3	4	3
Rang Moyen	1	4	1	2,67	2	3	4	5,5	6,67

Le tri horizontal par rang moyen croissant donne le tableau suivant

	M1	M3	M5	M4	M6	M2	M7	M8	M9
P1		1			2	3	4	5	6
P2	1		2	3		5	4	6	7
P3	1			2		3	4	5	
P4	1		2	3	4	5		6	7
Rang Moyen	1	1	2	2,67	3	4	4	5,5	6,67

Ce qui donne l'organisation suivante :



Corrigé de la méthode des antériorités

Etape 1 : Tableau des antériorités

Corrigé de la méthode des antériorités

Etape 2 : Nouveau placement selon l'antériorité des machines

Etape 2 : on raye et on place les machines qui n'ont pas d'antériorités.

Machines	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Pièces									
Antériorités		M1 M3 M4 M5 M6 M7		M1 M5	M1	M1 M3 M4 M5 M6 M7	M1 M3 M4 M5 M6 M7	M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7 M8	M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7 M8

M1

M3

Corrigé de la méthode des antériorités

Etape 3 : Nouveau replacement selon l'antériorité des machines

Etape 3 : on raye et on place les machines qui n'ont pas d'antériorités.

Machines	M2	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Pièces							
Antériorités	M4 M5 M6 M7	M5		M4 M5	M2 M4 M5 M6	M2 M4 M5 M6 M7	M2 M4 M5 M6 M7 M8

M1

M3

M5

Corrigé de la méthode des antériorités

Etape 4 et 5 : Nouveau replacement selon l'antériorité des machines

Etape 4 et 5 : on raye et on place les machines qui n'ont pas d'antériorités.

Machines	M2	M4	M6	M7	M8	M9
Pièces						
Antériorités	M4 M6 M7		M4	M2 M4 M6 M7	M2 M4 M6 M7	M2 M4 M6 M7 M8

M1

M3

M5

M4

M6

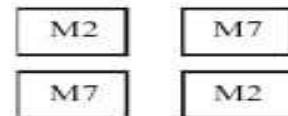
Corrigé de la méthode des antériorités

Etape 6 : Nouveau replacement selon la présence de boucle

Etape 6 : Présence de boucle.

Machines	M2	M7	M8	M9
Pièces				
Antériorités	M7	M2	M2 M7	M2 M7 M8

Lorsqu'il y'a une boucle dans le tableau, par exemple



On raye en même temps M2 et M7 et on les met en parallèle.

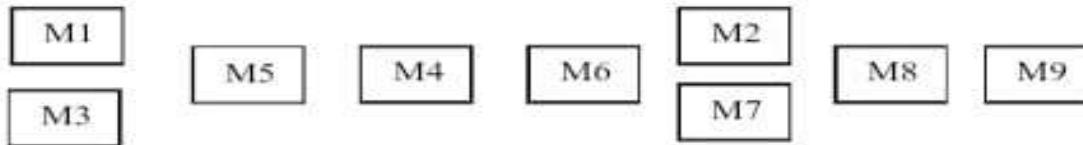


Corrigé de la méthode des antériorités

Etape 7 et 8 : Nouveau replacement des machines qui restent sans antériorité

Etape 7 et 8 : on raye et on place les machines qui n'ont pas d'antériorités.

Machines	M8	M9
Pièces		
Antériorités		M8



2. Composantes et méthodes de la production

La production

Planification de la production

Exécution de production

PIC : un document réalisé par la direction de l'entreprise qui donne une prévision des ventes sur du moyen-long terme en adéquation avec les charges et les capacités

PDP : est l'une des étapes de la planification industrielle. Il permet de planifier les produits qu'un industriel va fabriquer, à quel moment et en quelles quantités (Combien et quand ?)

Plan de charge : est un outil utilisé pour piloter les ressources d'un projet : les ressources humaines, les ressources matérielles, les ressources temporelles.

MRP : Le management des ressources de production (MRP) permet de planifier par un logiciel le type et la quantité de ressources nécessaires pour mettre en œuvre des décisions de production.

POD : Plan d'ordonnancement

➤ Gestion des flux

✓ La méthode SMED : visant à diminuer le temps du changement des outils de production

✓ La méthode TPM : vise à éliminer les temps d'arrêt du cycle de production par l'amélioration de maintenance

✓ La méthode OPT: visant à l'identification et l'élimination des goulets d'étranglements, source de stocks inutiles(mudas) dans la chaîne de fabrication.

✓ La méthode Kanban : qui repose sur la visualisation des tâches juste à temps

✓ Outils de gestion : Pert & Gantt et MPM

➤ Lancement , pilotage et suivi des opérations

✓ Ordonnancement

✓ Lancement de fabrication

✓ Suivi des opérations de fabrication

Pyramide des planifications



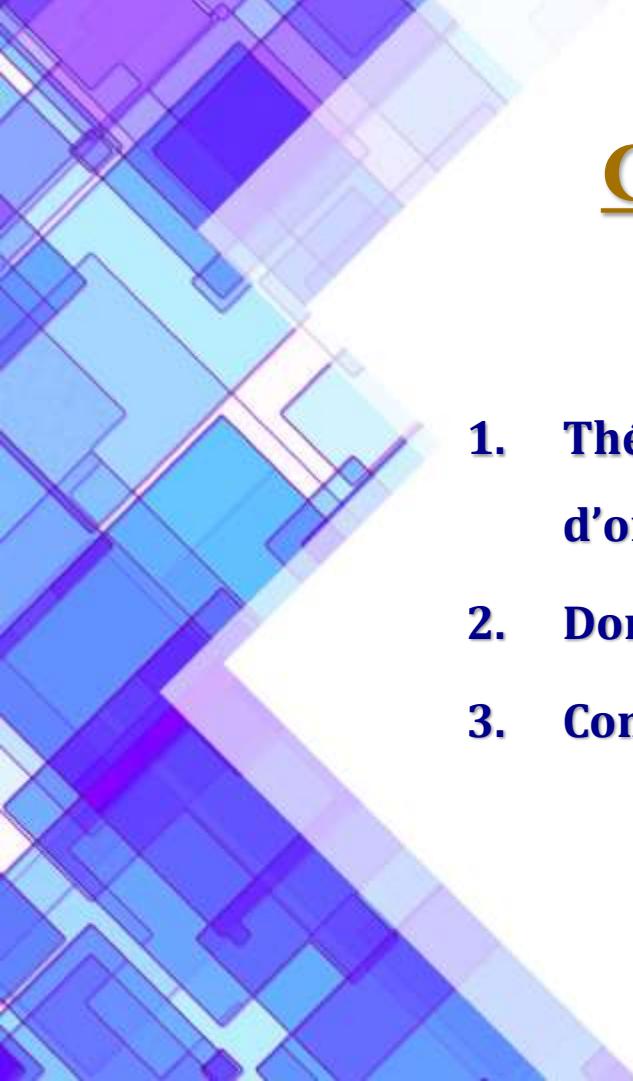
Pyramide plus détaillé



3. Activités et processus de production

- La production est l'ensemble des activités qui participent à la conception, la planification des ressources (matérielles, financières, ou humaines), leur ordonnancement, l'enregistrement et la traçabilité des activités de production, le contrôle des activités de production de l'entreprise.
- Les activités permettant de mener à bien la production d'un ou de plusieurs produits se reflètent par :
- La planification des ressources : consiste à déterminer ce dont l'entreprise a besoin pour un projet afin de procurer et d'allouer ces éléments d'une manière efficace.
- La traçabilité : Capacité à suivre la production d'un produit
- La fabrication du produit selon un planning : sa transformation en produit fini par les ressources de l'entreprises (main d'œuvre et machines)
- Ces d'activités sont effectuées selon un processus qui combine entre les phases suivantes :

- ✓ **Le planning de production** : qui est adapté en fonction de la disponibilité des ressources et du personnel, ainsi que du volume de commandes à exécuter. L'objectif est essentiellement d'harmoniser les demandes des clients avec les matériaux disponibles.
- ✓ **Acheminement** : qui trace le parcours depuis les matières premières jusqu'au produit final. Idéalement, il s'agira d'identifier les processus de fabrication les plus rentables et les plus efficaces.
- ✓ **Ordonnancement** : cette phase spécifie l'heure et la date d'achèvement de chaque étape de fabrication afin de respecter les délais des commandes de production.
- ✓ **Exécution** : il s'agit de la phase de mise en œuvre où le calendrier de production est mis en action, garantissant que toutes les tâches sont terminées conformément au plan.



Chapitre II :

Généralités sur l'ordonnancement

- 1. Théorie de l'ordonnancement (Définition et éléments d'ordonnancement)**
- 2. Domaines et stratégies de l'ordonnancement**
- 3. Contraintes et complexités d'ordonnancement**

1. Théorie d'ordonnancement

1.1. Définition et éléments d'ordonnancement

- L'ordonnancement en Anglais (Scheduling) est un processus visant à programmer l'exécution des tâches d'un projet ou d'une activité dans le temps, en limitant les contraintes et en allouant les ressources requises et en fixant une période de réalisation pour atteindre les objectifs fixés.



Gestion de la production



Gestion de projets ou
d'approvisionnement

Ordonnancement de production

Ordonnancement de projets
Ordonnancement d'approvisionnement

- La théorie d'ordonnancement est une branche de la recherche opérationnelle qui s'intéresse au calcul des dates d'exécution optimales des tâches.
- Un problème d'ordonnancement peut être considéré comme un sous-problème de planification dans lequel il s'agit de décider de l'exécution opérationnelle des tâches planifiées

1.2. Définition et éléments d'ordonnancement

- D'après la définition précédente , les éléments de l'ordonnancement se reflètent comme suit :
 - ✓ Les tâches : activités localisées dans le temps par une date de début et de fin, dont la réalisation nécessite une durée.
 - ✓ Les ressources : un moyen technique ou humain utilisé pour la réalisation d'une tâche et disponible en quantité limitée.
 - ✓ Les contraintes : limites générales de l'activité ou de projet , et qui peuvent dépendre du temps alloué, de la cohérence technologique, de l'utilisation des ressources ou leur disponibilité.
 - ✓ Les objectifs : but fixés à l'avance par les responsables stratégiques de l'entreprise.

2. Domaines et stratégies de l'ordonnancement

En ce qui concerne les domaines d'ordonnancement :

- Ordonnancement de processus (d'exploitation informatique): Dans un système à ordonnancement non préemptif, le système d'exploitation choisit le prochain processus à exécuter.
- Ordonnancement de projet: Il s'agit de déterminer l'ordre dans lequel les tâches et les opérations seront réalisées pour optimiser l'utilisation des ressources et atteindre les objectifs fixés dans un projet même de service.
- Ordonnancement d'approvisionnement: permet d'anticiper et faire un plan selon les besoins en matières premières, en ressources humaines, en capacités de transport.
- Ordonnancement de production : ensemble des tâches visant à ordonner la gestion méthodique d'un atelier de production en fonction de la disponibilité des ressources nécessaires et utilisables.

En ce qui concerne les stratégies d'ordonnancement, elles se reflètent comme suit :

- L'ordonnancement se réfère à la manière dont les tâches sont organisées et priorisées dans un système informatique. Il existe plusieurs stratégies d'ordonnancement pour gérer l'exécution de ces tâches . Les stratégies les plus courantes sont :
- ✓ Premier arrivé, premier servi (FCFS) : (First come, first served) en français PEPS (Premier Entrée, Premier Sortie): la priorité est donnée aux opérations/commandes selon leur ordre d'arrivée
- ✓ Plus courte tâche d'abord (SJF) : L'algorithme SJF sélectionne la tâche ayant la plus courte durée d'exécution. Ainsi, les tâches les plus courtes sont traitées en premier, en minimisant le temps total d'attente.

- ✓ **LIFO : Priorité au dernier arrivé**
- ✓ **PCO (Preferred Customer Order):** La priorité est donnée aux opérations/commandes du client préféré, certains clients (notamment les grossistes) sont prioritaires que les autres
- ✓ **LPT (Longest Processing time) en production :** en français, TFL (Temps de Fabrication le plus long) : la priorité est donnée aux opérations/commandes qui ont un temps de fabrication le plus long (Ordre décroissant de temps opératoire)
- ✓ **SPT (Shortest Processing time) en production:** en français, DFC (Délai de Fabrication le plus Court) : la priorité est donnée aux opérations/commandes qui ont un délai de fabrication le plus court. On parle aussi de (Traitement par ordre croissant du temps opératoire)
- ✓ **EDD (Earliest Due Date):** en français, (Délais de livraison le plus proche) : la priorité est donnée aux opérations/commandes dont la date de fin promise est la plus proche (Traitement par ordre croissant du délai de livraison) ;

- Il est important de noter que ces stratégies ont chacune leurs avantages et inconvénients en fonction des cas d'utilisation. Par exemple, le SJF peut entraîner une fin des longues tâches si des tâches plus courtes continuent d'arriver.
- Le choix de la stratégie d'ordonnancement dépend du type de tâches à gérer et des objectifs du système informatique en termes de performances et de temps de réponse. Il est essentiel de tester et d'évaluer les différentes stratégies pour déterminer la meilleure approche pour un cas d'utilisation particulier.

3. Contraintes et complexités d'ordonnancement

Contraintes et complexités d'ordonnancement



L'ordonnancement est un domaine qui traite la planification et l'organisation des séquences d'opérations appartenant à des tâches dans un système . Il existe plusieurs variations et complexités en ordonnancement, qui dépendent principalement des problèmes que l'on cherche à résoudre et des contraintes imposées par le système

1.Le nombre de tâches à planifier : plus il y a des tâches, plus le problème est complexe.

2.Les contraintes de précédence entre les tâches : certaines tâches doivent être achevées avant que d'autres ne puissent commencer.

3.Les contraintes de ressources : un nombre limité de machines ou d'employés pouvant être disponibles pour effectuer les tâches.

Un autre élément majeur dans l'ordonnancement est la mesure du coût ou de la performance du système. Plusieurs critères peuvent être utilisés pour évaluer un ordonnancement, tels que :

- **Le temps d'achèvement** : moment auquel toutes les tâches sont terminées.
- **Les retards** : différence entre les dates de livraison prévues et réelles.
- **Le coût global** : somme des coûts des ressources utilisées pour réaliser les tâches.

Il est important de noter que, dans de nombreux cas, ces critères sont contradictoires et nécessitent de trouver un compromis pour obtenir l'ordonnancement le plus performant.



Chapitre III :

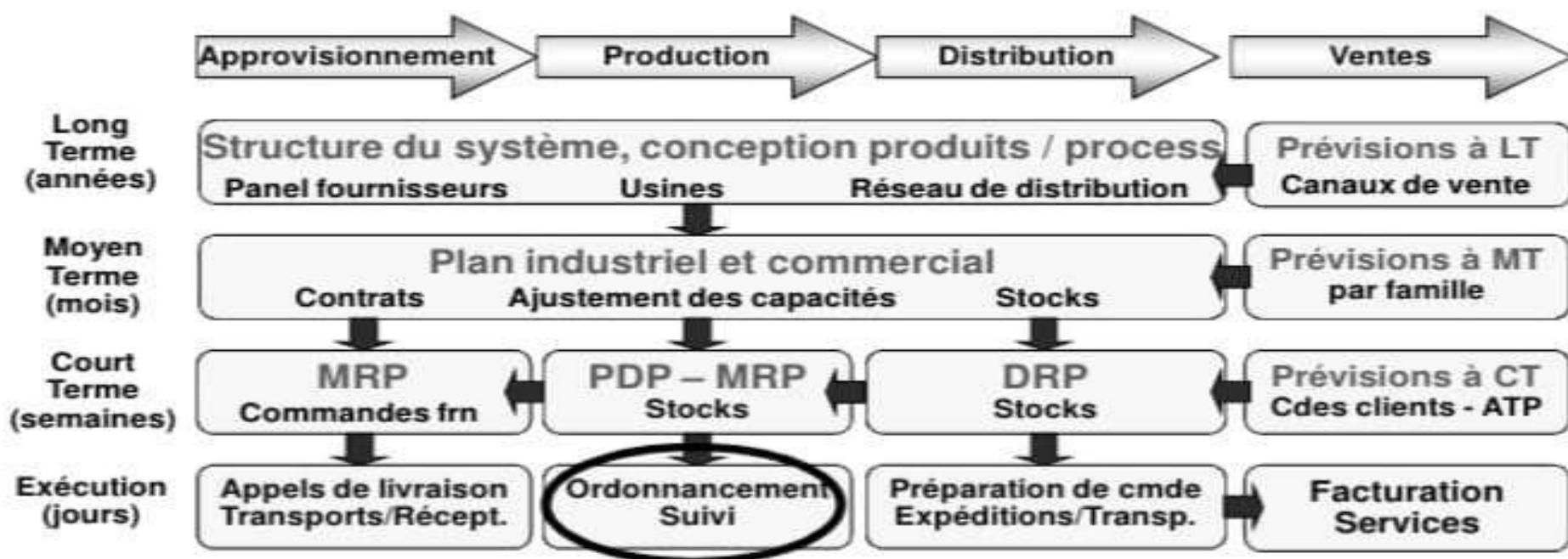
Fondements de l'ordonnancement de

production

- 1. Définition et importance de l'ordonnancement de production**
- 2. Activités d'ordonnancement de production**
- 3. Processus d'ordonnancement de production**

Ordonnancement et suivi de fabrication

Les décisions dans la Supply Chain



1. Définitions et importance d'ordonnancement de production

1.1. Définitions d'ordonnancement de production

- L'ordonnancement en production est un processus visant à déterminer et organiser la meilleure séquence de fabrication soit des ordres de fabrication ou des phases de ces ordres en respectant les délais de fabrication (temps) selon la quantités des produits déterminés pour fabrication.
- L'ordonnancement d'un atelier de production couvre l'ensemble d'actions qui transforment les décisions de fabrication définies par le PDP en instructions d'exécution détaillées destinées à piloter et contrôler à court terme l'activité des postes de travail dans l'atelier de production.
- Ordonnancer c'est programmer les séquences de fabrication de produits différents sur les mêmes équipements c'est-à-dire fournir aux ateliers un ordre de réalisation des ordres de fabrication sur tous les postes de travail.

1.2. Importance d'ordonnancement de production

L'ordonnancement de la production est un élément crucial du processus de fabrication qui permet de garantir des temps de production efficaces, de réduire les coûts et les pénuries de produits et d'éliminer les interruptions, les retards et le gaspillage.

2. Activités d'ordonnancement de production

On peut distinguer entre :

- ✓ **Le chargement**
- ✓ **Le séquençage**
- ✓ **Le contrôle et suivi**

2.1. Chargement

- Il s'agit de déterminer le volume à traiter par ressource de l'entreprise. Cette activité consiste à concilier les énergies nécessaires à la mise en œuvre des ordres de production.
- L'activité de chargement prend effet et se termine par l'allocation des capacités reçues et disponibles, commandes sur les machines, le personnel et d'autres installations, réduisant ainsi les coûts d'exploitation au minimum

On peut distinguer entre :

- Le chargement à capacité finie : Affecter du travail jusqu'à une limite donnée. Ce chargement est pertinent pour les systèmes où il est possible de limiter la charge , car le fait de limiter la charge n'induit pas un coût exorbitant.
- Le chargement à capacité infinie : Affecter du travail au poste sans limite en essayant d'en tenir compte. Ce chargement est pertinent pour les systèmes où il est impossible de limiter la charge (Ex . Service d'urgence , sociétés briqueteries par exemple) , il n'est pas nécessaire de limiter la charge

2.2. Séquençage

- Le séquençage désigne la détermination de l'ordre de passage des opérations sur le poste .
- Il s'agit de déterminer la priorité des opérations à accomplir dans la production.
- Cette activité a pour but de prioriser ou de séquencer l'exécution des commande en fonction des opérations , selon les méthodes suivantes :



→ En se basant sur les stratégies de séquençage des opérations des ateliers de production, l'ordonnanceur peut effectuer un ordre de fabrication selon les machines disponibles et appropriées à chaque produit (job), chose que nous allons voir dans les chapitres prochains.

2.3. Contrôle

Il s'agit de contrôler l'exécution des tâches en convenance et cohérence avec la planification et le jalonnement effectués.
Cette activité vise à assurer une mise en œuvre, un chargement et un suivi corrects.

Les ordres de production et la séquence peuvent être modifiés selon les besoins , et les commandes peuvent être facilitées.

3. Processus d'ordonnancement de production



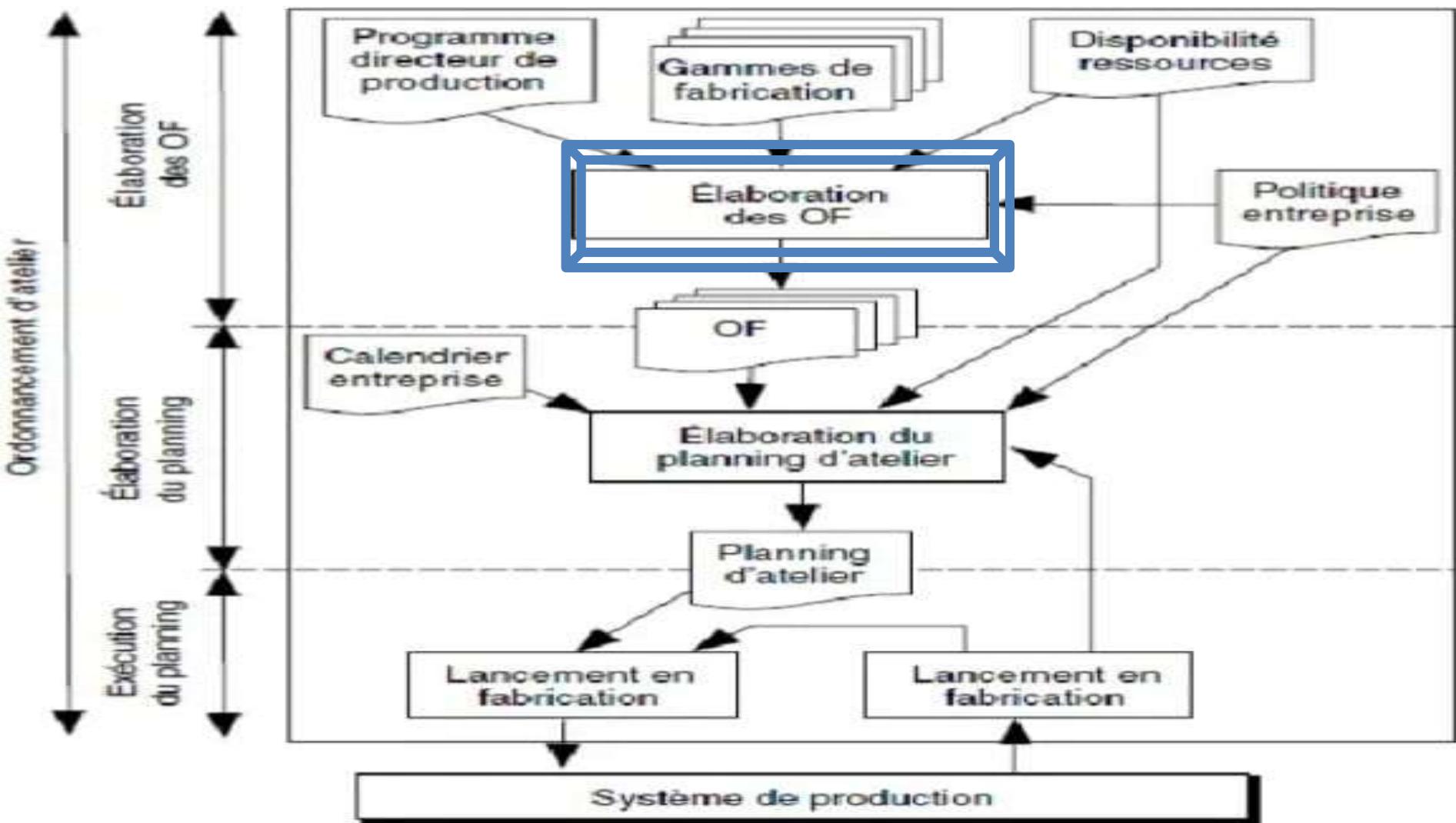
Elaboration d'un ordre de fabrication



Elaboration du planning



Lancement de fabrication



3.1. Elaboration de l'ordre de fabrication

- 
- L'ordre de fabrication en Anglais (Order Manufacturing) est un document qui offre l'autorisation de l'ordonnancement de la production d'une pièce ou d'un produit.
 - Grâce à l'ordre de fabrication , il est possible de faire le lien entre une commande et la production puisqu'il détaille les étapes allant des matières premières au produit fini.
 - C'est un élément clé dans le processus de production car il assure une coordination efficace des ressources et des activités nécessaires pour produire un bien.



Quels sont les objectifs d'un OF ?

Il existe trois objectifs principaux d'un ordre de fabrication :

- Mieux maîtriser la planification par le biais de son ERP.
- S'assurer que les ressources sont utilisées de manière optimale et que les délais de production sont respectés selon l'MRP.
- De plus, c'est aussi un moyen de respecter les délais des commandes clients du fait d'une cadence de production contrôlée. Cela peut aider à améliorer la satisfaction des clients et à renforcer la réputation de l'entreprise en tant que fournisseur fiable.

Quel est le rôle d'un OF ?

L'OF joue un rôle essentiel dans la gestion des flux de production en garantissant :

- Une communication claire et précise des instructions de fabrication aux opérateurs d'atelier.**
- Une traçabilité des produits tout au long du processus de production.**
- Une planification efficace des ressources et des temps de production.**
- Un suivi précis de l'avancement de la production et des coûts associés.**
- Une optimisation des stocks en fonction des besoins de production.**

Quels sont les éléments d'un OF ?

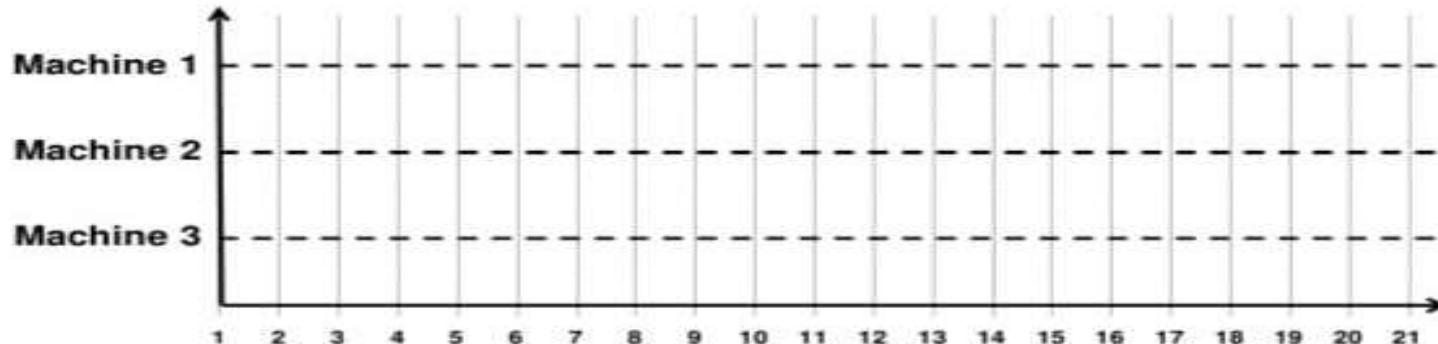
Un ordre de fabrication se compose de plusieurs phases et ce à travers la mise à jour de son statut. Il contient donc des informations qui sont nécessaires à la fabrication telles que :

- Identification du produit : Nom, référence, code, etc.
- Quantité à produire : Nombre d'unités du produit à fabriquer.
- La gamme : Description séquentielle des étapes de production, des outils et machines à utiliser, des temps opératoires et des contrôles qualité à effectuer.
- La nomenclature : Liste détaillée des composants nécessaires à la fabrication du produit, avec leurs quantités et références.
- Date de début et date de fin de production : Délais impartis pour la réalisation de l'OF.
- La date de livraison prévue : fixée selon la prévision de fabrication
- Atelier responsable : Identification de l'atelier en charge de la fabrication.

Application

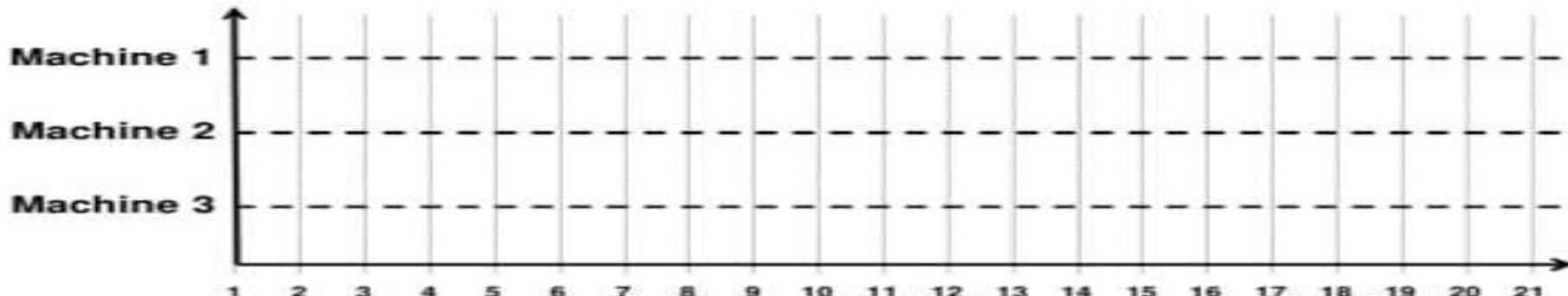
Placer dans l'ordre de fabrication d'un atelier de confection l'ensemble des opérations successives suivantes :

- Opération 1 : 6 heures (Machine 1)
- Opération 2 : 3 heures (Machine 2)
- Opération 3 : 2 heure (Machine 3)



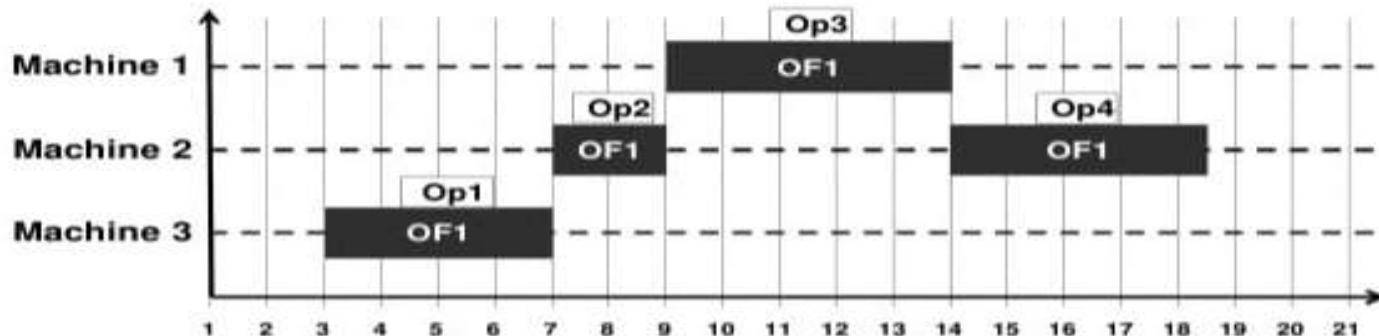
Exercice 1

- Ordre de fabrication 1 :
 - Opération 1 : 4 heures (machine 3)
 - Opération 2 : 2 heures (machine 2)
 - Opération 3 : 5 heures (machine 1)
 - Opération 4 : 4.5 heures (machine 2)



Chargement d'un OF

- Ordre de fabrication 1 :
 - Opération 1 : 4 heures (machine 3)
 - Opération 2 : 2 heures (machine 2)
 - Opération 3 : 5 heures (machine 1)
 - Opération 4 : 4.5 heures (machine 2)



Exercice 2

- Dans une entreprise automobile , un atelier de production est constitué de deux ordres de fabrication successives :
- Ordre de fabrication 1

Opération 1 : Machine 2 (3heures)

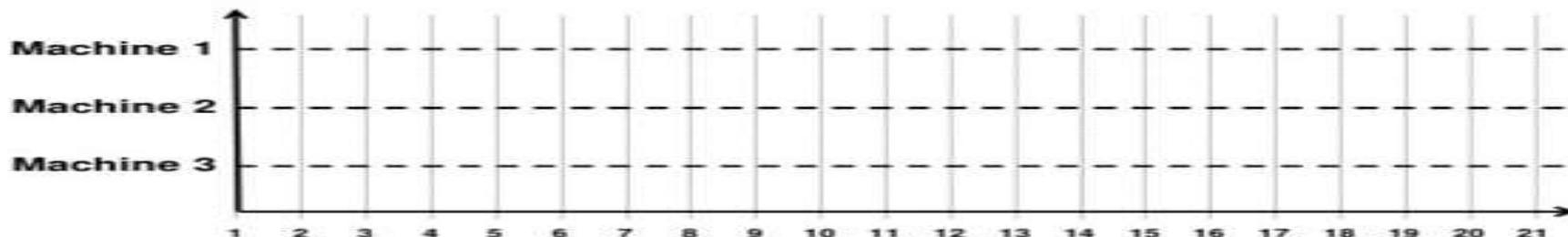
Opération 2 : Machine 3 (4 heures)

- Ordre de fabrication 2

Opération 1 : Machine 1 (2heures)

Opération 2 : Machine 3 (4 heures)

Opération 3 : Machine 2 (4 heures)



Exercice 2

- Dans une entreprise automobile , un atelier de production est constitué de deux ordres de fabrication successives :

- Ordre de fabrication 1 Opération

Opération 2 : Machine 3 (4 heures)

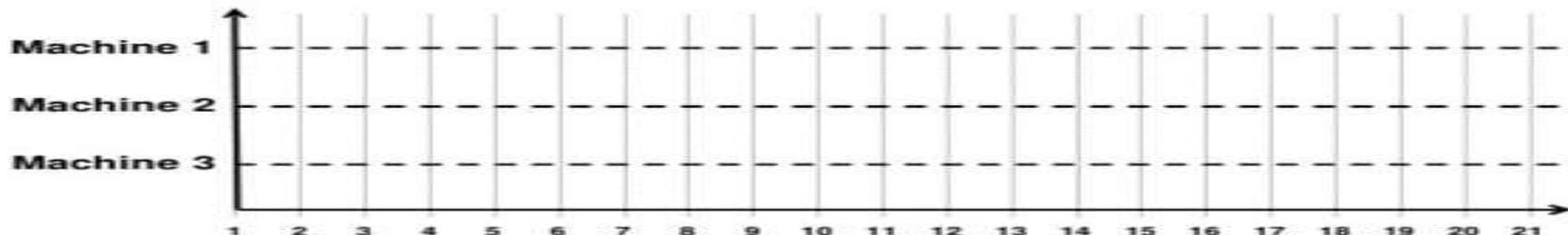
- Ordre de fabrication 2

Opération 1 : Machine 1 (2heures)

Opération 2 : Machine 3 (4 heures)

Opération 3 : Machine 2 (4 heures)

Un problème de planification est présenté dans cette exercice du fait dans la machine 3 se coïncident les deux OF donc l'entreprise peut ici soit acheter deux machines ou bien l'opération du Second OF peut être effectuée après la fin de l'opération de l'OF 1



3.2. Elaboration du planning d'ordonnancement de production

- Le plan ou planning de l'ordonnancement de production est un outil qui permet de comprendre et d'optimiser la fabrication . Il s'agit d'un document qui définit la programmation stratégique et managériale de toutes les activités nécessaires à la production, et qui planifie et gère les opérations de production.

- L'objectif d'un planning d'ordonnancement de production est donc d'optimiser l'utilisation des ressources pour produire une quantité définie de produits finis. Mais aussi de s'assurer du respect des délais impartis et d'une meilleure gestion.

Dans un planning d'ordonnancement de production, on peut trouver les informations suivantes :

- ✓ Les ressources nécessaires à la production (main-d'œuvre, matières premières, machines...)
- ✓ Les délais impartis pour chaque activité de production (Eléments d'OF)
- ✓ Les objectifs de production (quantité, qualité, coûts...)
- ✓ La priorisation des opérations de production

3.3. Lancement de fabrication

- **Après le l'élaboration d'un planning d'ordonnancement basée sur l'ordre de fabrication (OF) , la fabrication peut commencer.**
- **Il est possible donc de sortir des matières pour commencer leur transformation en produits finis.**
- **L'ordonnancement d'un atelier peut prendre des formes , et l'atelier de production peut être classifié en différents types.**
- **La classification de l'ordonnancement et des différents types d'ateliers de production (Traitée dans le chapitre IV) permettra aux responsables d'ordonnancement de mieux gérer cette fonction ainsi de mieux poser les problèmes résultant des différents pour adopter des méthodes spécifiques de résolution de ces problèmes (Chapitre V)**

Chapitre IV :

Spécificités de l'ordonnancement de production

1. Types d'ordonnancement de production

Classification selon la centralisation

Ordonnancement centralisé

Ordonnancement décentralisé

Classification selon la préemption

Ordonnancement préemptif

Ordonnancement non préemptif

Classification selon l'organisation

Ordonnancement stochastique

Ordonnancement déterministe

Classification selon l'activité

Ordonnancement statique

Ordonnancement dynamique

2. Types des ateliers de production

1.1.Machine unique

1.2.Machine parallèle

1.3.Flowshop (Implantation en ligne)

1.4. Jobshop

1.5.Openshop

1. Types d'ordonnancement de production

Classification selon la centralisation

- L'ordonnancement centralisé est l'ordonnancement défini pour chaque centre de charge selon un calendrier prévisionnel de fabrication, basé sur la distribution des ordres de lancement et contrôlé au niveau de l'exécution des fabrications (Exemple de production des entreprises industrielles).
- Il 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.
- L'ordonnancement centralisé implique une connaissance précise des gammes de fabrication ainsi que des temps opératoires. Il consiste à établir un planning des travaux, c'est-à-dire à placer sur un diagramme (machines temps ou OF temps) de tous les produits dans tous les postes de travail.
- Ce planning est à court terme mais il reste néanmoins statique car entre deux planifications, il ne prend pas en compte l'arrivée d'une nouvelle commande ou d'un nouvel OF.

- *L'ordonnancement décentralisé* : est l'ordonnancement réalisé au pied de chaque poste de travail et qui consiste à gérer devant chaque poste de charge, la file d'attente des ordres de fabrications en choisissant l'ordre de passage en fonction de règles de priorité locales (Exemple des ateliers de fabrication des particuliers) .
- L'ordonnancement décentralisé ne permet pas de faire de prévisions ni de planning car les décisions sont prises au pied de chaque machine.

Classification selon la préémitivité

- L'ordonnancement préemptif: est l'ordonnancement qui peut être préempté (arrêté) et les processus peuvent être planifiés.
- L'ordonnancement non préemptif: est l'ordonnancement qui ne peut pas être arrêté et dont lequel les processus ne peuvent pas être planifiés (La briqueterie par exemple).
- Le planning doit respecter plusieurs objectifs tels que respect des délais, diminution des stocks en cours, utilisation au mieux des postes de travail et des ressources etc

Classification selon l'organisation

- L'ordonnancement stochastique : L'ordonnancement stochastique permet de planifier les tâches d'un projet avec des durées incertaines, afin de minimiser la durée du projet attendu sans contrainte de ressources renouvelables et avec des relations de précédence. Ce type prend en compte les incertitudes et les fluctuations des paramètres.
- L'ordonnancement déterministe : Un système déterministe est un système qui réagit toujours de la même façon à un événement, basé sur des informations précises et déterminées concernant la durée des tâches et la disponibilité des ressources.

Classification selon l'activité

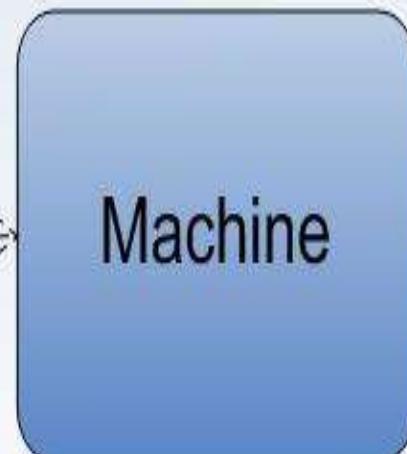
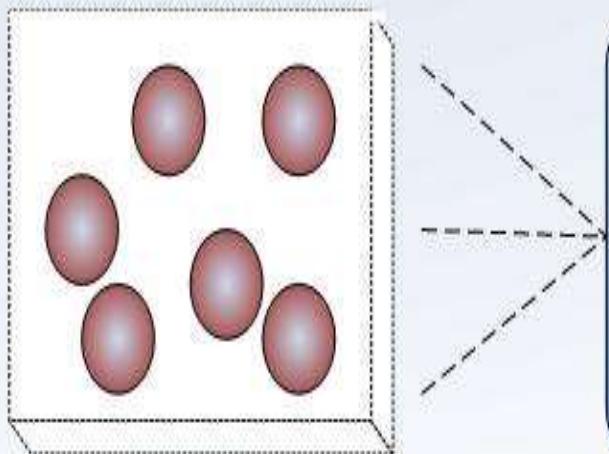
- L'ordonnancement statique : C'est l'ordonnancement dans lequel l'ensemble des données est connu à l'avance et ne change pas au cours du processus.

- L'ordonnancement dynamique : C'est l'ordonnancement dans lequel les données, telles que les demandes et les ressources, peuvent changer au cours de la réalisation des tâches.

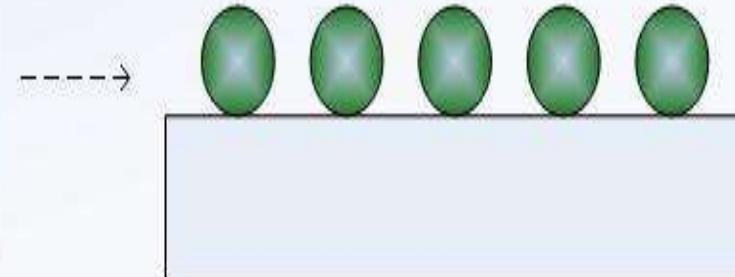
2. Types des ateliers de production

1.1. Machine unique

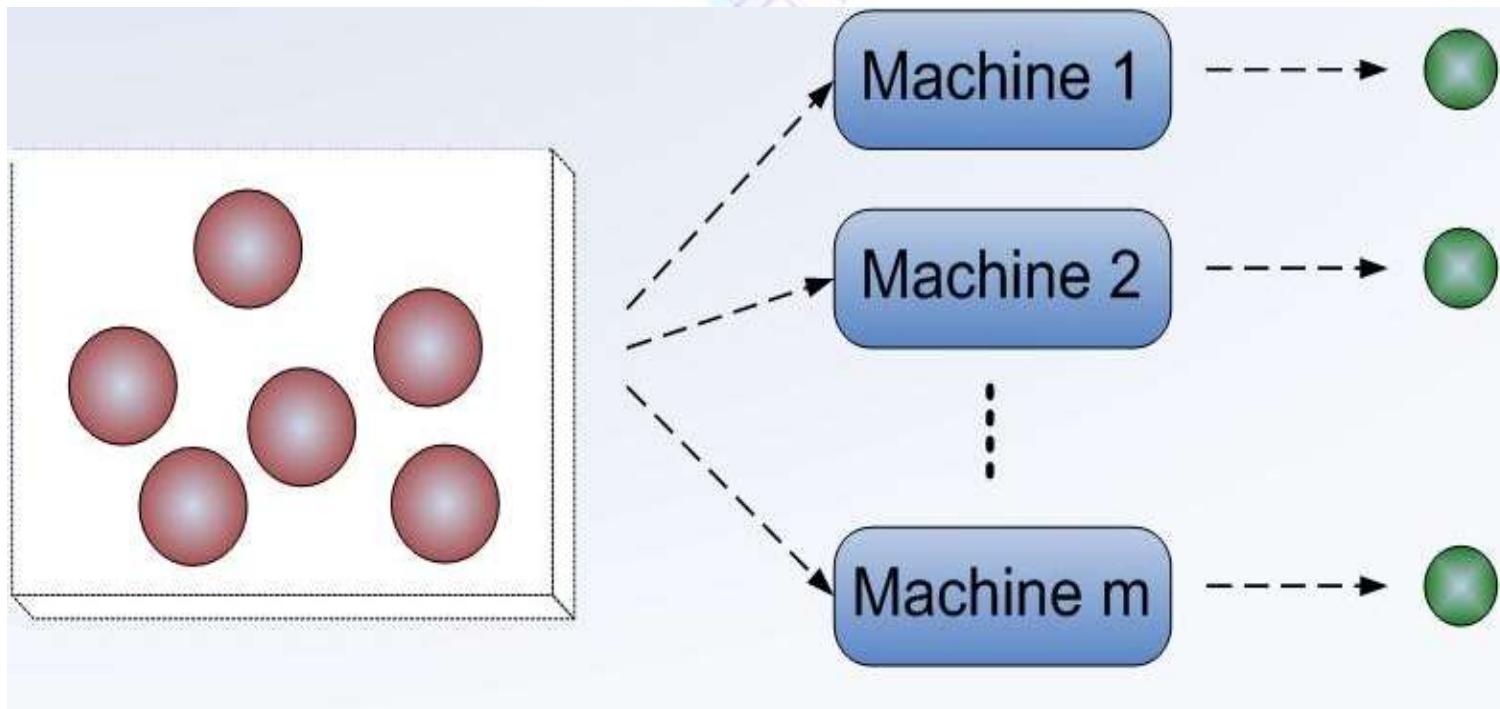
Travaux en attente



Travaux Finis

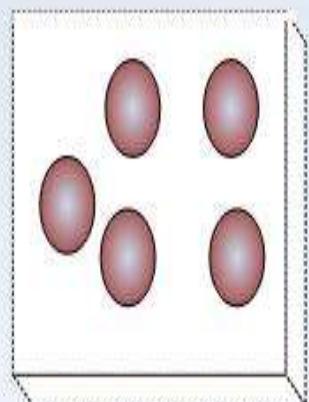


1.2. Machines parallèles



1.3. Atelier Flowshop

Travaux en attente

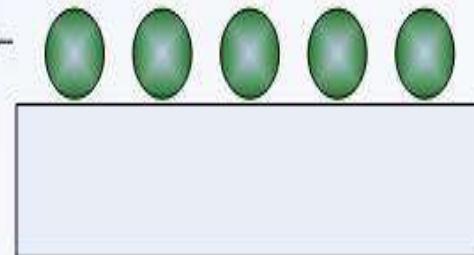


Machine 1

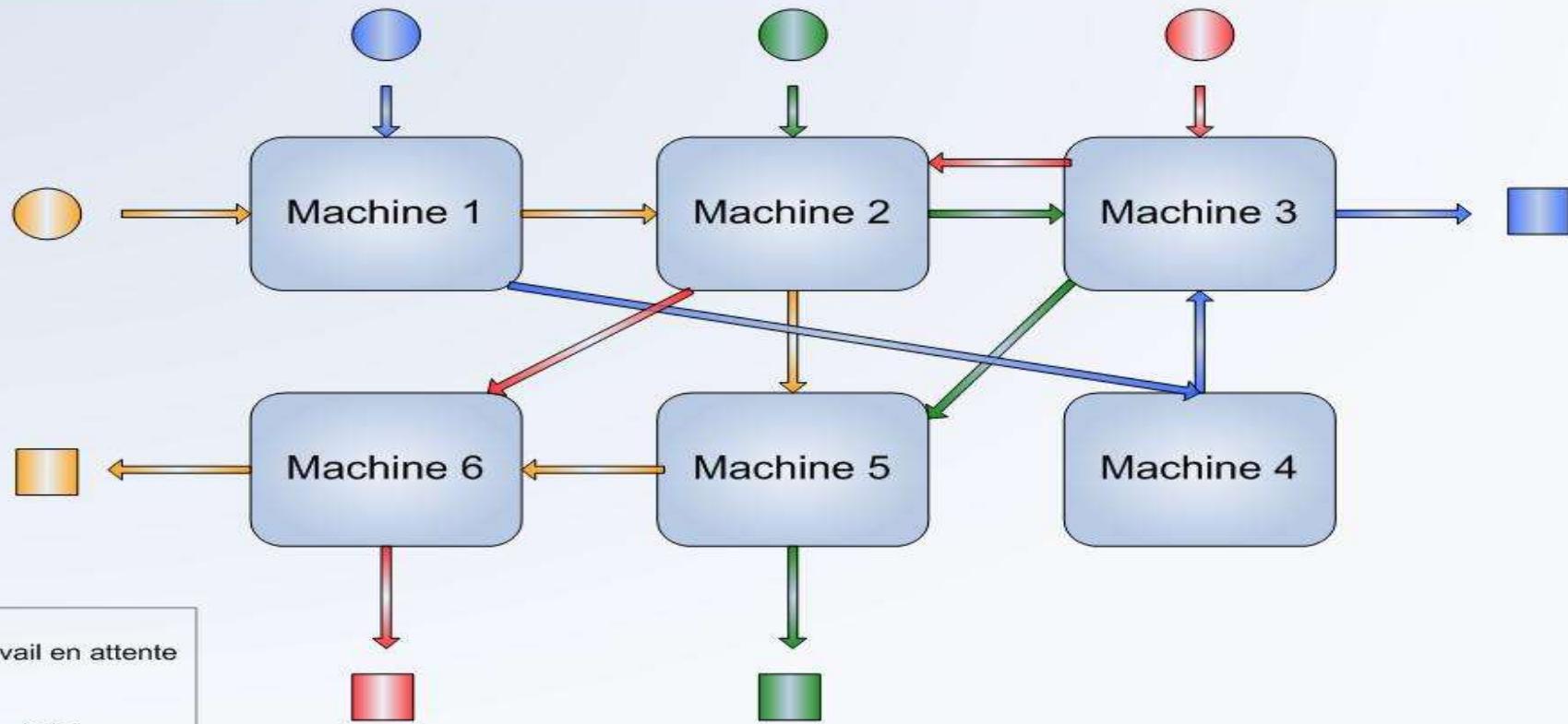
Machine 2

Machine m

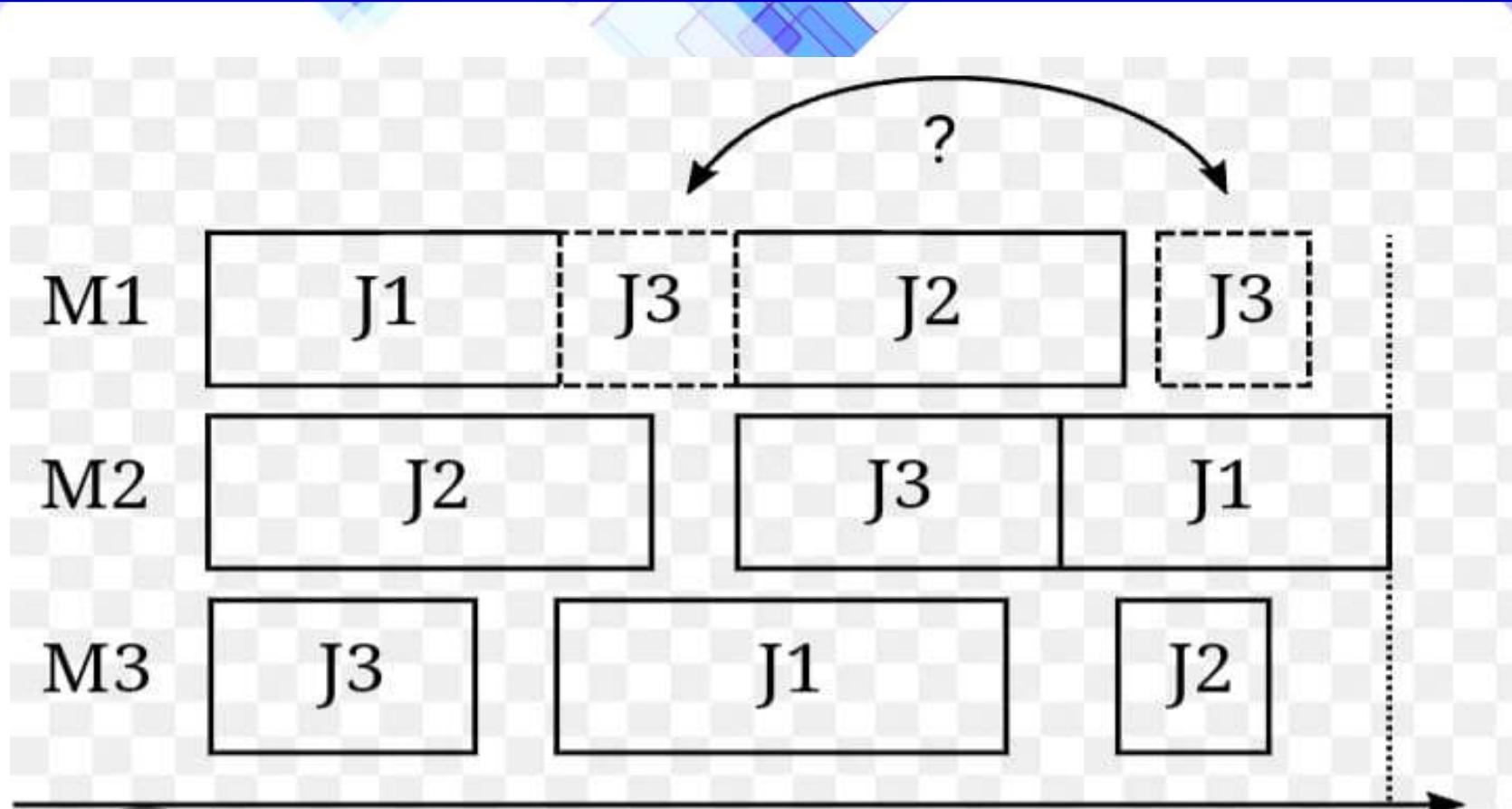
Travaux Finis



1.4. Atelier Jobshop



1.5. Atelier Openshop





Chapitre V :

Formulation des problèmes d'ordonnancement et méthodes algorithmes de résolution

1. Formulation théorique descriptive du problème

1.1. Classification des problèmes

1.1.1. Classification selon les machines

1.1.2. Classification selon les ateliers

1.2. Méthodes de resolution

➤ **Méthodes approchées (heuristiques)**

*Règles de priorités ou métahéuristiques

*Algorithmes

2. Formulation mathématique du problème

Modèle de Graham de formulation et codification des problèmes ($\alpha; \beta; Y$)

➤ **Méthodes exactes**

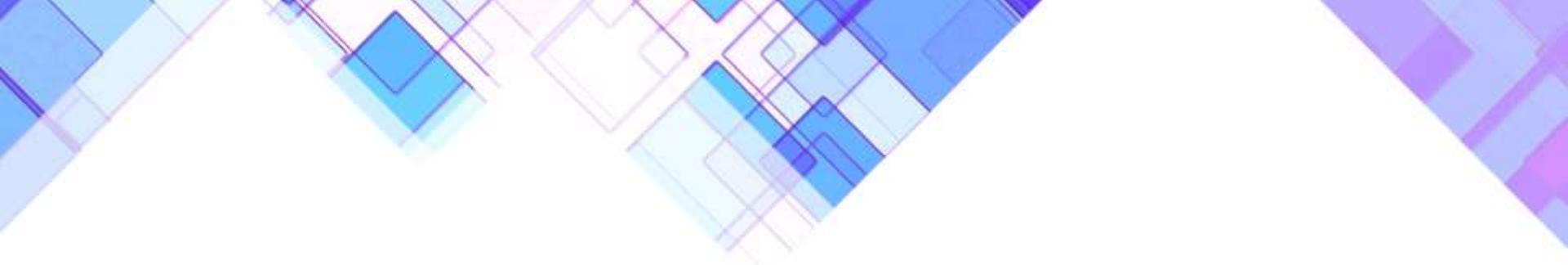
*Programmation linéaire

*Algorithmes

1. Formulation descriptive théorique

- Tout d'abord, il est important de distinguer les types d'ordonnancements déterministes et stochastiques. Les problèmes et les méthodes de résolution employées pour ces types d'ordonnancements peuvent être très différentes.

Classification des problèmes



Classification des problèmes selon les opérations et machines

1.1. Les problèmes à une machine (une opération)

En se basant sur la configuration des machines, nous distinguons pour la première catégorie :

- ✓ **Problèmes à une machine** : les problèmes d'atelier à une machine (**single machine problem**) consistent à ordonner, sur une seule machine, des jobs constitués d'une seule opération.



Ordonnancement décentralisé

1.2. Les problèmes à plus d'une machine (plusieurs opérations)

En se basant sur la configuration des machines, nous distinguons

- ✓ **Problèmes à machines respectivement successives** : Ce type d'atelier se caractérise par le fait que chaque produit peut être réaliser d'une manière respectivement successive dans les machines
- ✓ **Problèmes à machines parallèles** : les problèmes d'atelier à machines parallèles dont l'atelier est caractérisé plusieurs opérations effectuées en parallèle l'une avec l'autre en raison de l'existence de plusieurs machines identiques.

Dans ce cas, il est possible de distinguer trois classes de machines :

- **Machines parallèles identiques (identical parallel machines) (implantation fonctionnelle):** la durée d'exécution des opérations est la même sur toutes les machines.
- **Machines parallèles uniformes (uniform parallel machines) (Implantation en îlot):** la durée d'exécution des opérations varie uniformément en fonction de la performance de la machine choisie.
- **Machines parallèles indépendantes ou non liées (unrelated parallel machines)** plusieurs îlots ou plusieurs lignes de fabrication : les durées opératoires dépendent complètement des machines utilisées.



Classification des problèmes selon les types des ateliers

- ✓ **Problèmes Flow-Shop** : les ateliers de type Flow-Shop appelés également ateliers à cheminement unique, il s'agit d'un ensemble de m machines disposées en séries. Toutes les opérations de tous les jobs passent par les machines dans le même ordre (fot unidirectionnel).
- ✓ **Problèmes Job-Shop** : dans cette classe d'ateliers, appelés aussi ateliers à cheminements multiples, chaque opération passe sur les machines dans un ordre fixé, mais à la différence du Flow-Shop, cet ordre peut être différent pour chaque job (fot multidirectionnel).
- ✓ **Problèmes Open-Shop** : dans cette classe d'ateliers, appelés aussi ateliers à cheminement libre, les gammes opératoires des différents jobs ne sont pas fixées a priori contrairement au problème d'atelier Job-Shop. Les opérations d'un même job peuvent donc être exécutées dans un ordre quelconque. Le problème consiste d'une part à déterminer le cheminement de chaque job et d'autre part à ordonner les jobs en tenant compte des gammes trouvées

Planning d'atelier

Machine unique

Plusieurs machines

Machines
successives

Machines
parallèles

Flowshop

Jobshop

Openshop

Application

Une entreprise spécialisée dans la fabrication des biscuits depuis 3 ans de 9 heures à 17:00 , assure que , la fabrication de 4000 biscuit de chocolat de dans la première semaine de Mars passera successivement et respectivement par cinq machines destinées comme suit :

- Machine 1 : Pour la réparation de la pate (4 heures)
- Machine 2 : Pour le façonnage (7heures)
- Machine 3 : Pour le cuissson (6 heures)
- Machine 4 : Pour le refroidissement (5 heures)
- Machine 5 : Pour l'emballage (8 heures)

Travail à faire :

1/De quelle type d'implantation s'agit t-il ?

2/Déterminer le type de l'atelier : Flowshop, Jobshop ou openshop ?

3/Déterminez les types de l'ordonnancement de production de cette entreprise

4/Placer dans l'ordre de fabrication l'ensemble des opérations du produit

5/Sachant qu'un client a proposé à l'entreprise la fabrication de 6000 biscuits au fraise pour la 6 Mars et qui passe par le même processus , que pouvez suggérer à l'entreprise ?

Méthodes de résolution

Règles de priorités

- ✓ Les règles de priorité sont des critères sur la base desquels s'appuie la décision de lancer un ordre des commandes (projet) ou des opérations (ateliers de fabrication) .
- ✓ Un nombre réduit de ressources est utilisé pour réaliser un ensemble d'opérations parfois non rattachées à une même gamme.
- ✓ En fabrication , lorsqu'une opération est terminée à un poste de travail, l'opérateur utilise une règle de priorité pour déterminer laquelle sera la suivante parmi celles qui sont en attente.
- ✓ Il s'agit en d'autres termes de définir la séquence des tâches ou opérations au niveau d'un projet ou d'un atelier (postes de travail) en s'appuyant sur une seule règle.

Règles de priorités des commandes

Voici en somme les règles standards de priorité utilisées dans l'ordonnancement de la fabrication :

- ✓ Règle FCFS (First come, first served)
- ✓ Règle SPT (Shortest Processing Time)
- ✓ Règle LPT (Longest Processing Time)
- ✓ Règle EDD (Earliest Due Date)
- ✓ Règle PCO (Preferred Customer Order)

Exercice 1 : Séquence des commandes

Dans un atelier de fabrication, les différentes commandes (tâches à effectuer) sont reçues et numérotées selon leur ordre d'arrivée. Sur la table des commandes, ont lis le temps de fabrication nécessaire et le délai de livraison.

N° de Tâche	Code	Temps de fabrication (jours)	Nombre de jours restants avant la livraison
1	A	3	8
2	B	2	6
3	C	5	4
4	D	1	2
5	E	2	5

Travail à faire :

Déterminer l'ordre de fabrication des commandes que l'entreprise peut choisir en se basant sur les règles de priorités : FCFS, SPT, LPT

Placer dans l'ordre des commandes l'ensemble des tâches de production selon les règles de priorité choisies

Exercice 2 : Séquence des commandes

- Dans un atelier de fabrication, les différentes commandes (tâches à effectuer) sont reçues et numérotées selon leur ordre d'arrivée. Sur la table des commandes, ont lis le temps de fabrication nécessaire et le délai de livraison.

N° de Tâche	Code	Temps de fabrication (Jours)	Nombre de jours restants avant la livraison	Indice de préférence client (Sur 5)
1	A	2	5	4
2	B	4	4	5
3	C	7	3	1
4	D	3	6	2
5	E	2	8	3

Travail à faire

1/Déterminez l'ordre de fabrication des commandes que l'entreprise peut choisir selon les règles de priorités : SPT, EDD, PCO

Placer dans l'ordre des commandes l'ensemble des tâches de production selon les règles de priorité choisie

Règles de priorités des opérations de fabrication

- ✓ Méthode FIFO (FCFS)
- ✓ Méthodes SPT ; LPT
- ✓ Méthode du Ratio critique
- ✓ Méthode de priorité au goulot

- **Comme montré dans les chapitres précédents l'ordonnancement de production est l'allocation de ressources (renouvelables ou non renouvelables) dans le temps pour effectuer un ensemble des tâches de production.**
- **Le problème pratique de l'allocation de ressources dans le temps pour effectuer un ensemble de tâches se pose dans diverses situations.**
- **Dans certains cas, certains problèmes de planification fondamentaux ne sont pas bien résolus.**
- **Dans ce cadre le séquençage est l'activité la plus importante en ordonnancement , il s'agit est l'ordre de traitement d'un ensemble des opérations sur les ressources disponibles.**

- L'ordonnancement implique le séquençage des opérations ainsi que la détermination des heures de début et de fin du processus.
- Des problèmes de séquençage surviennent chaque fois qu'il y a un choix quant à l'ordre dans lequel un groupe de tâches peut être exécuté.
- Le superviseur d'atelier ou le planificateur peut gérer les problèmes de séquençage de diverses manières.
- L'approche la plus fréquemment utilisée consiste à planifier de manière heuristique selon des « règles empiriques » prédéterminées.
- Dans certains cas, des procédures de planification dérivées scientifiquement peuvent être utilisées pour optimiser les objectifs de planification, mais avant on procède aux règles heuristiques (de priorité) dans la majorité des cas.

Méthodes FIFO ; SPT ; LPT

Méthode FIFO

- La première stratégie est la plus simple : FIFO (first in, first out) dans laquelle les opérations sont traitées dans l'ordre croissant (dans lequel elles commencent) comme s'ils respectent la file d'attente.
- La planification FIFO (First In, First Out) -également appelée premier arrivé, premier servi, est une méthode qui exécute les opérations dans l'ordre exact.
- Aucune réorganisation ou préemption ne peut se produire, ce qui signifie que la planification FIFO est sans doute la politique de planification la plus simple avec une surcharge de planification minimale. Cette simplicité se fait au détriment des performances.

- **Le FIFO n'est pas préemptif par nature et ne fournit aucun moyen de tenir compte des priorités des tâches. La planification sous FIFO ne peut être garantie que pour les systèmes sous-utilisés avec des plages de périodes uniformes.**
- **Le FIFO, en revanche, garantit l'équité, qui joue un rôle important dans les applications à usage général, mais pas dans le domaine du temps réel. Au lieu de cela, l'accent de la communauté de recherche a souvent été mis sur la réalisation de la planification dans des conditions défavorables et des utilisations élevées des ensembles de tâches. Par conséquent, le FIFO n'est considéré que comme une option pour les systèmes temps réel souples, si tant est qu'il le soit. Bien que nous soyons d'accord avec cette évaluation, nous nous intéressons à d'autres préoccupations que la simple performance.**

Application 1 : Deux produits

Dans une entreprise de fabrication des produits cosmétiques, le chef d'atelier de production doit effectuer dans la semaine 14 l'ordre de fabrication de la semaine 15 de deux produits : A et B.

La fabrication dans cette société commence le lundi et termine le Vendredi avec un horaire de travail de 08 :00 à 17 :00 avec une heure de pause de 13 : 00 à 14 :00, avec l'absence des heures supplémentaires.

Dans cette semaine aucune contrainte n'est présentée, mais le chef d'atelier doit prendre en considération le temps de préparation des machines de l'atelier : M1 ; M2 ; M3 ; et M4.

Les tableaux des données de fabrication peuvent être présentés comme suit :

Numéro de l'OF	Produit	Lot de fabrication (Nombre des pièces à fabriquer)	Date de livraison		
			Semaine	Jour	Heure
OF 15	A	35	15	Mardi	16 :00
OF 15	B	45	15	Jeudi	17 :00

Produit A				
Phases	Machines	Temps de préparation (de série) /heure	Temps unitaire / Ch	
1	Machine 1	0,8	12	
2	Machine 2	12	8	

Produit B				
Phases	Machines	Temps de préparation (de série) /heure	Temps unitaire / Ch	
1	Machine 3	0,5	14	
2	Machine 4	0,5	12	

Travail à faire :

1/ Calculer le temps de fabrication de chaque produit dans chaque machine en prenant en compte le temps de préparation plus le temps de réalisation.

2/ Placer le créneau de fabrication des deux produits dans l'ordre de fabrication selon la méthode FIFO

3/ Est qu'il y a un retard au niveau du délai de livraison ?

Ch : 36 secondes

Méthodes SPT LPT

- Le temps de traitement le plus court (SPT) est une règle de planification utilisée dans les environnements d'atelier pour minimiser le temps moyen d'exécution des tâches. En hiérarchisant les tâches en fonction de leur temps de traitement, le SPT permet une allocation efficace des ressources, réduisant ainsi les temps d'inactivité et améliorant le flux de travail global. Cette méthode peut avoir un impact significatif sur les délais d'exécution et la productivité dans un environnement de fabrication ou de service, car elle se concentre sur l'achèvement des tâches les plus rapides en premier.
- La méthode LPT est essentiellement l'inverse de la méthode SPT, en donnant la priorité aux produits qui prendront le plus de temps à traiter. L'objectif de cette règle est de réduire les changements entre les différentes machines, augmentant ainsi l'utilisation des machines dans les usines.

Application 2 : Trois produits

La fabrication dans cette société commence le lundi et termine le Vendredi avec un horaire de travail de 09 :00 à 18 :00 avec une heure de pause de 13 : 00 à 14 :00, avec l'absence des heures supplémentaires.

Le chef d'atelier doit prendre en considération le temps de préparation des machines de l'atelier : M1 ; M2 ; M3 ; et M4.

Les tableaux des données de fabrication peuvent être présentés comme suit :

Ch : 36 secondes

Numéro de l'OF	Produits	Lot de fabrication (Nombre des pièces à fabriquer)	Date de livraison		
			Semaine	Jour	Heure
OF 16	A	50	16	Mardi	16 :00
OF 17	B	40	16	Jeudi	17 :00
OF 18	C	30	16	Jeudi	18 :00

Produit A			
Phases	Machines	Temps de préparation (de série) /heure	Temps unitaire / Ch
1	Machine 1	1,5	15
2	Machine 2	0,5	11

Produit B			
Phases	Machines	Temps de préparation (de série) /heure	Temps unitaire / Ch
1	Machine 3	0,4	14
2	Machine 4	1,2	12

Produit C			
Phases	Machines	Temps de préparation (de série) /heure	Temps unitaire / Ch
1	Machine 2	0,6	18
2	Machine 3	0,7	11

Travail à faire :

1/ Calculer le temps de fabrication de chaque produit dans chaque machine en prenant en compte le temps de préparation plus le temps de réalisation.

2/ Placer le créneau de fabrication des deux produits dans l'ordre de fabrication selon la méthode FIFO et la méthode SPT

3/ Calculez le taux de charge de chaque machine dans la semaine 16

4/ Est qu'il y a un retard au niveau du délai de livraison ?

Exercice 1

- Une entreprise commercialise 4 produits: P1, P2, P3, P5
- Ces produits sont réalisés sur 4 machines: M1, M2, M3 et M4
- Les gammes de production sont les suivantes:

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

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

PRODUIT P3			
phase	machine	temps série Ts(h)(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 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

Ch signifie centième de minutes.

- En fin de semaine 19, les Ordres de Fabrication à réaliser sont les suivants (dans l'ordre d'arrivée):

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

- L'entreprise travaille 7h par jour pendant 5 jours.

Travail à faire : Etablir les ordre de fabrication de chaque produit

Corrigé de l'exercice 1 (FIFO)

- **On place dans l'ordre d'arrivée des OF**

	1h												
M1	201-ph 10 M1		204-ph 10 M1										
M2	200-ph 10 M2	203-ph 10 M2			203-ph 30 M2	204-ph 30 M2							
M3			OF201-ph 20 M3			203-ph 40 M3	204-ph 30 M3						
M4		200-ph 20 M4	203-ph 20 M4										
	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi		Lundi	Ma					
	Semaine 20						Semaine 21						