



GESTION DE PRODUCTION

Enseignant : ZAIDI Ahmed



ANNÉE 2020

ISTA

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES APPLIQUEES

Plan du cours

Chapitre 01 : Introduction

- Historique
- Typologie des SP
- Flexibilité, gestion d'activités
- Structures organisationnelles

Chapitre 02 : Modèles et méthodes en planification-ordonnancement

- Programmation linéaire
- Théorie des graphes
- Méthodes (générales) de résolution exactes et approchées
- Méthodes spécifiques

Chapitre 03 : Méthodes générales en GP

- Gestion des stocks
- Planification des besoins en composants
- Juste-à-temps

Bibliographie

- ✓ Vincent GIARD ;Gestion de la production ;economica, 2003, 3ème édition
- ✓ Gérard BAGLIN et al.Management industriel et logistique, Economica,1990
- ✓ Jean BENASSY,La gestion de production, Hermes, 1998, 3ème édition,
- ✓ Lionel DUPONT,La gestion industrielle, Hermes, 1998,
- ✓ Patrick ESQUIROL et Pierre LOPEZ, L'ordonnancement, Economica, 1999.
- ✓ Pierre LOPEZ et François ROUBELLAT, Ordonnancement de la production, Hermès, 2001
- ✓ Joseph Y-T. Leung, Handbook of Scheduling: Algorithms, Models, and Performance Analysis, Chapman & Hall/CRC Computer & Information Science Series, 2004.
- ✓ J. Carlier et Ph. Chrétienne, *Problèmes d'ordonnancement : modélisation, complexité, algorithmes*, Masson, Paris, 1988.
- ✓ P. Esquirol et P. Lopez, *L'ordonnancement*, Economica, Paris, 1999.
- ✓ Philippe Baptiste, Emmanuel Néron, Francis Sourd, *Modèles et algorithmes en ordonnancement*, Ellipses, Paris, 2004.
- ✓ [Liste de livres](#)

Chapitre 01 : Introduction

1. Historique
2. Définitions
 - 2.1. Vision automatique Système de Production
Gestion de Production
GPAO
 - 2.2. Vision systémique : 4 grandes activités
 - 2.3. Trois sous-systèmes système physique système décisionnel
système informationnel
 - 2.4 Flexibilité
3. Gestion d'activités
 - 3.1. Définition
 - 3.2. Approche multiniveaux
 - 3.3. Organisation matricielle
4. Typologie des systèmes de production
 - 4.1. en fonction de l'organisation des ressources
 - 4.2. en fonction du pilotage de la production

1. Historique

- ✓ XVIII^{ème} s. : production artisanale
- ✓ XIX^{ème} s. : production manufacturière (armes, tabac...)
- ✓ XX^{ème} s. : désir de rationalisation des facteurs de production → **point de départ de la gestion de production...**

- Taylor (1911) : organisation du travail basée sur
 - distinction radicale entre conception et exécution
 - recherche systématique des économies de gestes et mouvements
 - utilisation maximale de la machine
- Ford (1913) : standardisation de la production et travail à la chaîne
 - avancée du concept de flexibilité dans les entreprises
- Harris et Wilson (1913-1924) : quantité économique
- Fayol (1916) : modèle hiérarchique d'organisation de la production
 - savoir, prévoir, organiser, commander, coordonner, contrôler
- Gantt (1917) : ordonnancement

2. Définitions (SP – GP – GPAO)

- ✓ (SP) : Système de Production
- ✓ (GP) : Gestion de Production
- ✓ (GPAO) : Gestion de Production Assistée par Ordinateur

2.1. Vision automatique :

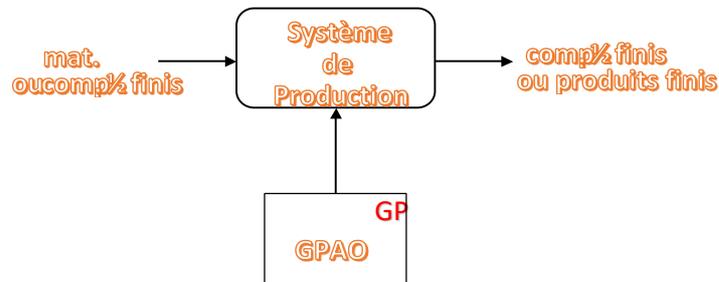
➤ Système de Production (SP)

Transformer un ensemble de matières premières ou de composants semi-finis en produits finis

➤ Gestion de Production(GP)

Assurer l'organisation du système de production afin de fabriquer les produits en quantités et temps voulus compte tenu des moyens (humains ou technologiques) disponibles

➤ Gestion de Production Assistée par Ordinateur(GPAO)



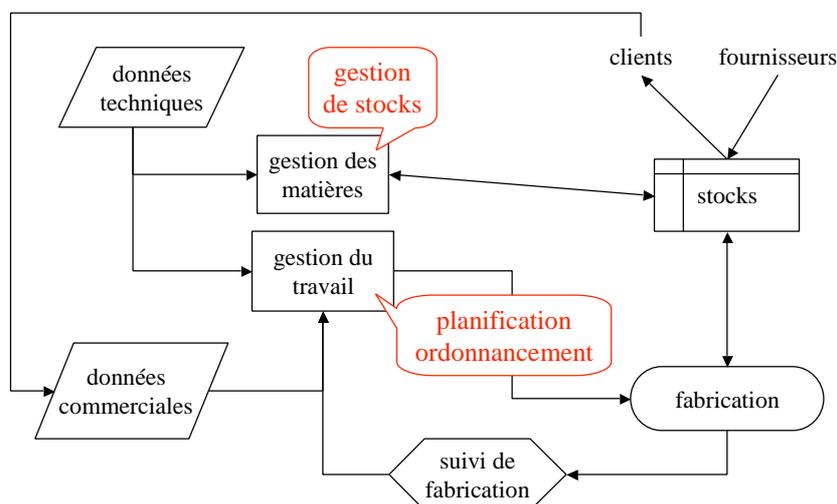
Avantage :

- ✓ **Vision synthétique**

Inconvénient :

- ✓ **Masquage des activités non orientées.**
- ✓ **Fabrication (étude de marché, conception, recherche, ...)**

2.2. Vision systémique : Quatre grandes activités de la GP



✓ **Gestion des données techniques**

- Description des produits et des familles de produits (**nomenclatures**)
- Description des processus de réalisation (**gammes**)

✓ **Gestion des données commerciales**

Reçoit les commandes et établit les calendriers de livraison souhaités

✓ **Gestion des matières**

- Assurer l'approvisionnement en matières premières ou composants
- assurer le stockage de produits fabriqués

✓ **Gestion du travail**

Organiser dans le temps la réalisation des tâches en leur attribuant les ressources nécessaires.

Prend en compte les données techniques et commerciales et celles du suivi de fabrication (quantités déjà fabriquées, état des ressources...).

2.3. Distingo de 3 sous-systèmes dans un SP

Système physique

- éléments directement impliqués dans le processus de fabrication
- soumis aux perturbations émanant de l'environnement

Système décisionnel

- **Gestion des activités du système physique**
- **Prise en compte des contraintes environnementales**
- **besoin de réactivité**

Système informationnel

- Assurer les liens système physique-système décisionnel et système décisionnel-environnement
- Besoin de réactivité

2.4. Flexibilité dans les entreprises

- capacité d'un système industriel à créer ou gérer la variété, afin de s'adapter aux changements de l'environnement, internes (pannes machines, absences de personnel...) ou externes (commandes urgentes, retard d'appro...), tout en maintenant son équilibre
- moyen pour une meilleure réactivité industrielle

Flexibilité vs. Réactivité

- flexibilité liée au nombre de choix possibles en réponse à une perturbation
- réactivité = processus de recherche de solution à la perturbation

Apparition d'aléas

- préactivité : préparation à un changement prévisible
- proactivité : action en vue de provoquer un changement souhaité

3. La gestion d'activités

3.1. Définition

Activité = action d'un moyen sociotechnique, d'une entreprise

Gestion d'activités = organiser la programmation d'un ensemble d'activités sous contraintes de temps et de ressources

Applications

- planification des flux
- ordonnancement de tâches / affectation de ressources
- gestion de ressources...

Traitement

- méthodes stochastiques vs. déterministes
- méthodes exactes vs. Approchées
- approches par contraintes

3.2. Gestion d'activités : approche multi-niveaux

- ✓ **Volume et hétérogénéité des objectifs**
- ✓ **Approche globale inadaptée (trop complexe)**
- ⇒ **distribution en plusieurs *centres de décision* possédant une abstraction et une hiérarchie**

distinctes

- ✓ **[Antony 65] : classification des décisions dans une structure à 3 niveaux qui**

diffèrent par :

1. L'horizon de décision
2. Le niveau de compétence hiérarchique
3. L'agrégation de la décision

3.2.1. Niveaux de décision en planification

3.2.1.1. Planification à long terme (décisions stratégiques) :

- Définit la stratégie générale ou les *macrostructures* (étude de marché, investissements, campagne publicitaire)

3.2.1.2. Planification à moyen terme (décisions tactiques)

- Horizon de ~ 1 à 5 ans
- Établissement d'un *plan de production* (définition des taux de production pour chaque famille de produits)
- Organisation des moyens

3.2.1.3. Planification à court terme (décisions opérationnelles) :

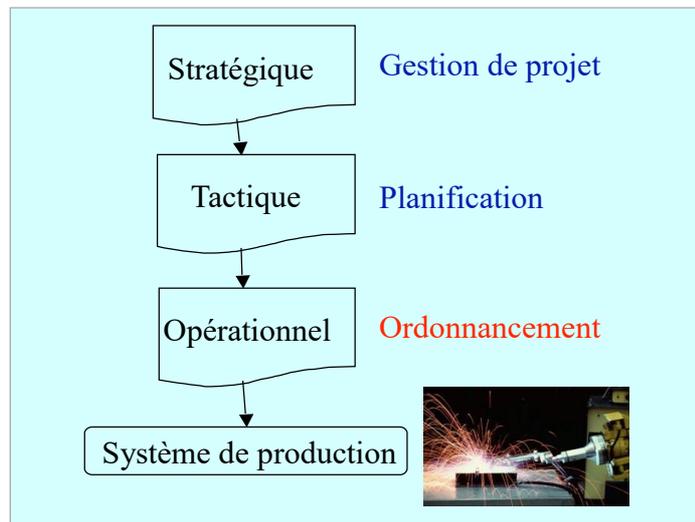
- Horizon de ~ 1 mois à 1 an
- Définit des *ordonnancements* détaillés (objets terminaux et ressources individualisées)
- Horizon de ~ 1 jour à 1 semaine

3.2.1.4. Micro-planification (conduite)

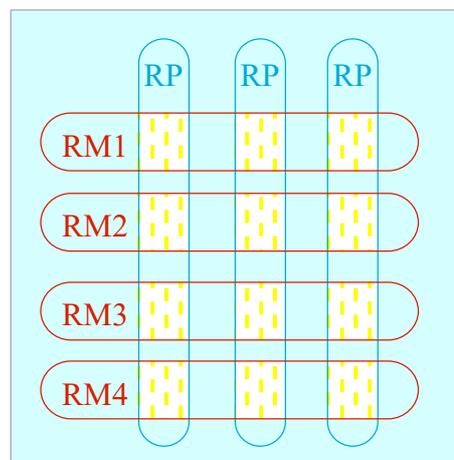
Temps réel

3.3. Structures organisationnelles en GP

3.3.1. Organisation Hiérarchique fonctionnelle



3.3.2. Organisation Matricielle projet/métier



Contexte de l'Ingénierie Concourante ordonnancement ⇒ *coordination entre différents acteurs*

4. Typologie des SP

4.1. En fonction de l'organisation des ressources

- **production continue** : produit ne peut attendre qu'une ressource se libère (ex : industries de process – sidérurgie, pétrochimie, chimie lourde, pharmacie, agroalimentaire...)
- **production de masse** : produits quasi-identiques, en grande quantité, **moyens de production spécialisés** et organisés afin d'optimiser le cycle de production (ex : industrie automobile...)
- **production en petite et moyenne séries** : diversité forte des produits, type de demande (personnalisé) prohibe équipement spécialisé ⇒ ressources polyvalentes, **lancement par lot** afin de minimiser les coûts liés à une campagne de fabrication (ex : industries de sous-traitance : équipementiers, service...)
 - **production unitaire (gestion de projet)** : production en très faible quantité, cycle de production élevé, nombreuses ressources (ex : industrie aéronautique, spatial, BTP, ...)

Organisation en ligne de production

- Ordre de passage sur les postes de travail toujours identique (*flow shop*)
- Importance de la fiabilité du matériel, la panne d'une machine provoquant l'arrêt de la chaîne ⇒ prépondérance de la *maintenance*
- *Équilibrage de la chaîne* afin que le produit passe un temps aussi constant que possible sur chaque poste. But : flux rythmé des produits sans accumulation ni d'en-cours ni perte de temps.

Organisation en ateliers

1. main d'œuvre qualifiée et équipements polyvalents
 2. Importance de la gestion des approvisionnements – coûts de manutention importants
 3. Diminution des coûts
- ✓ optimisation de la localisation relative des centres de production : agencement de l'espace
 - ✓ technologie de groupe : constitution de "sous-usines" basée sur des considérations techniques

4. multiplicité des routes entre postes de travail ⇒ prépondérance de la problématique d'*ordonnancement*

Organisation de type série unitaire

- Mobilisation de toutes les ressources de l'entreprise pour la réalisation d'un projet, sur une assez longue période
- "survie" des entreprises réalisée par la gestion en parallèle de plusieurs projets, à des stades différents d'avancement
- Personnel qualifié exécute des tâches à caractère non répétitif équipements polyvalents
- Problème des stocks secondaire (produit fini non stockable et approvisionnements spécifiques au projet)
- Problèmes majeurs : respect des délais et maîtrise des coûts
- Rôle essentiel de l'ordonnancement

4.2. En fonction du pilotage de la production

- **Production à la commande :**
 - o déclenchée par la commande ferme d'un client
 - o Grande variété de produits, demande aléatoire
- **Production pour stock :**
 - o déclenchée par anticipation d'une demande solvable
 - o éventail des produits restreint, demande importante et prévisible.
- **Production mixte :** fabrication sur stocks et à la commande
- **Production à flux tendus**

Chapitre 02 : Modèles et méthodes en planification- ordonnancement

1. Planification - Programmation linéaire
2. Problèmes d'ordonnancement
 - 2.1. Définitions
 - 2.2. Contraintes
 - Contraintes temporelles - Inégalités de potentiels
 - Contraintes de ressources
 - 2.3. Typologie des problèmes
3. Ordonnancement de projet
 - Position du problème
 - Diagramme de Gantt
 - Graphe potentiel-tâches
 - Méthode PERT
4. Ordonnancement d'atelier
 - Position du problème et définitions
 - Problème à une machine
 - Flow shop
 - Job shop
 - Open shop

1. Programmation Linéaire :

- **Planification optimale du travail sur des ressources à moyen terme**
- **Production = processus continu sur un horizon relativement important**
- **Modélisation par des équations ou des inéquations linéaires où les inconnues sont les volumes de production sur chaque période**
- **Objet : déterminer ces inconnues de façon à optimiser un critère (minimisation des en-cours, des stocks, des coûts, maximisation des marges bénéficiaires...)**

$$\text{Max } Z = A.X$$

$$\text{sous : } C.X \leq B$$

$$X \geq 0$$

Exemple

- 2 produits 1 et 2 dont les marges brutes sont respectivement 3 et 5 unités monétaires par unité de produit
- fabrication = usinage + montage
- capacité de l'atelier d'usinage = 1800 h/mois
- capacité de l'atelier de montage = 1000 h/mois
- 1 unité du produit 1 (resp. 2) nécessite 2 heures (resp. 3 heures) d'usinage et 1 heure (resp. 2 heures) de montage

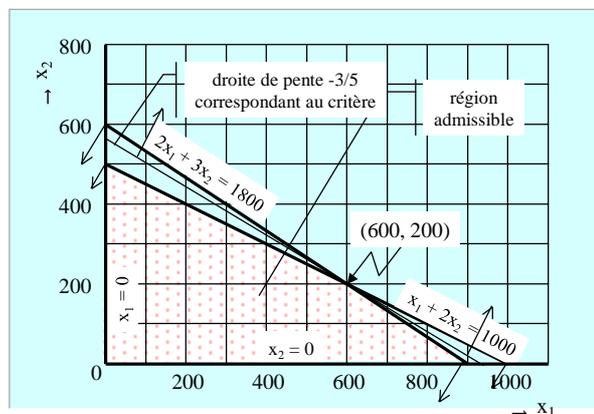
□ Programme linéaire

Déterminer : x_1 et x_2 qui maximisent : $3x_1$ et $5x_2$

sous les contraintes : $2x_1 + 3x_2 \leq 1800$

$x_1 + 2x_2 \leq 1000$ $x_1, x_2 \geq 0$

1.1. PL : interprétation géométrique



- 600 unités du produit 1 et 200 unités du produit 2
- marge brute totale = 2800 unités monétaires

1.2. PL : résolution (1)

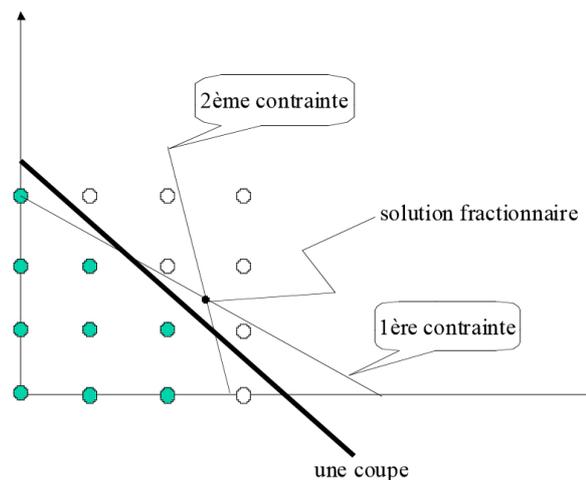
Le Simplexe

- Mise en évidence d'une base (affectation de var.) réalisable initiale
- Identification de la solution optimale en partant de la solution initiale et en passant par une suite de solution adjacentes
- Complexité exponentielle mais très grande efficacité en pratique

Problèmes en nombres entiers

- **Méthodes de coupe** : relaxation des contraintes d'intégrité et résolution du problème continu
 - Optimum entier \Rightarrow STOP
 - Sinon ajout de contraintes de façon à tronquer la région admissible (ou polyèdre) sans exclure aucune solution entière, jusqu'à ce que l'optimum soit entier
- **Méthodes d'exploration arborescente**
 - Essentiellement pour les problèmes bivalents (variables binaires)

1.3. PL : résolution (2) méthode de coupe



1.4. PL : différents problèmes

Problème d'affectation

$$\min \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij}$$

$$\text{sous } \sum_j x_{ij} = 1, \forall i$$

$$\sum_i x_{ij} = 1, \forall j$$

□ Problème de transport

$$\min \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij}$$

$$\text{sous } \sum_j x_{ij} \leq q_i \text{ (quantité produite), } \forall i$$

$$\sum_i x_{ij} \geq d_j \text{ (demande), } \forall j$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall i,j$$

$$x_{ij} \in Z, \forall i,j$$

matrices totalement unimodulaires : sous-matrices carrées unimodulaires (déterminant = ± 1) ou singulières (déterminant = 0) la solution continue est entière

méthodes de flot maximal à coût minimal : algorithmes de FordFulkerson, de Busacker-Gowen,

...

cf. problème du sac-à-dos : valeur associée à chaque objet algorithme pour l'affectation :

méthode hongroise algorithme pour le transport : stepping stone

1.5. PL : dualité et solveurs

□ Problèmes primal/dual

$$\begin{array}{ll} \min & Z = C^T X \\ \text{sous} & AX \geq b \\ & X \geq 0 \end{array} \qquad \begin{array}{ll} \max & W = b^T U \\ \text{sous} & A^T U \leq C \\ & U \geq 0 \end{array}$$

3 propriétés de la dualité :

- Le dual du dual est le primal
- $Z^* = W^*$
- La résolution par l'algorithme primal permet de déterminer tous les éléments de la solution de son dual

□ **Solveurs : Xpress-MP, Cplex, Excel, Matlab (Tool Box**

"Optimisation")

- 1ère phase : relaxation en variables continues (Simplexe)
- 2ème phase : optimisation combinatoire

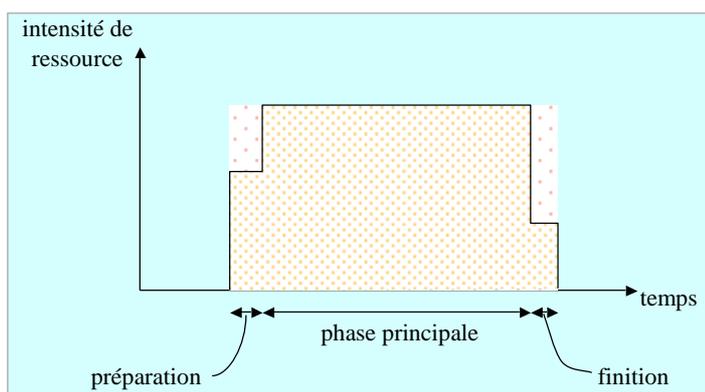
2.Problèmes d'ordonnancement

2.1.Définition :

Décrit l'exécution de tâches et l'affectation de ressources au cours du temps compte tenu de contraintes et de manière à satisfaire des objectifs	Ressource
	- Moyen sociotechnique disponible en quantité limitée (capacité)
	- Renouvelable ou consommable
	- Disjonctive ou cumulative
	Tâche (ou activité ou opération)
- Entité élémentaire caractérisée par une date de début et/ou de fin, une durée et une intensité de ressource	
- Interruptible ou non	
Contrainte	
- Restriction sur l'exécution des tâches de temps ou de ressource	
Objectif	
- Optimalité vis-à-vis de critères	
- admissibilité vis-à-vis des contraintes	

2.2.Profil d'exécution d'une tâche

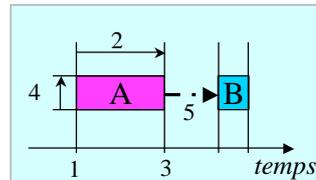
On peut distinguer 3 phases dans l'exécution de la tâche :



La durée de la tâche peut être une fonction de la quantité de moyens utilisés pour son exécution (notion de vitesse ou de performance des ressources) : $p_i = f[a_{ik}(t)]$

Etant donné :

- un ensemble de tâches
- un ensemble de ressources



Déterminer :

- **quand les tâches sont exécutées ?**

début (1), durée (2), fin (3)

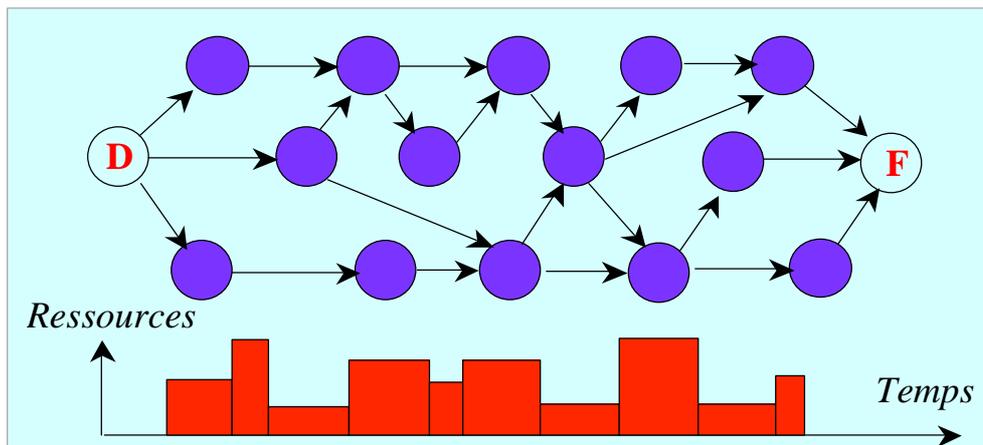
- **comment les ressources sont affectées aux tâches ?**

nature et intensité (4), séquencement (5)

Applications

- Organisation du travail dans un atelier de fabrication
- Gestion de projet
- Confection d'emplois du temps

Conception d'algorithmes de gestion (informatique, spatial, ...)



Plusieurs classes de problèmes déterministes

Ordonnancement sans contraintes de ressource

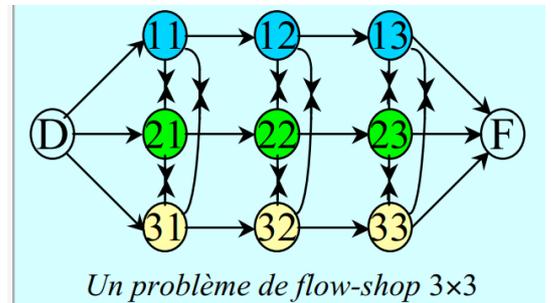
ex : ordonnancement de projet

- un projet unique
- nombre élevé de tâches
- relations temporelles complexes (contraintes potentielles)
- les niveaux de ressources

sont des variables de
 décision (peuvent être
 adaptés au plan)

Ordonnancement avec contraintes de ressource

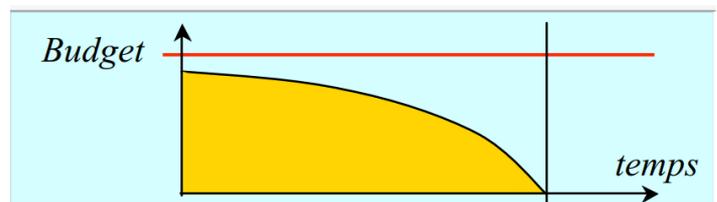
- Ordonnancement d'atelier/informatique
- ✓ une machine
- ✓ m machines identiques
- ✓ m machines dédiées
- Emploi du temps



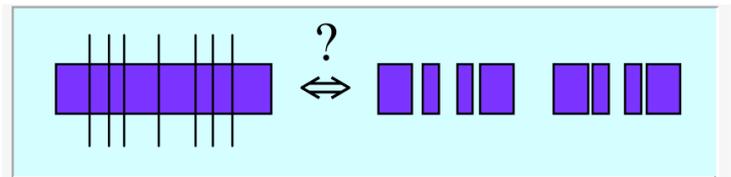
Ordonnancement avec ressources

cumulatives

- ✓ Renouvelables/consommables
- ✓ Doublement contraintes

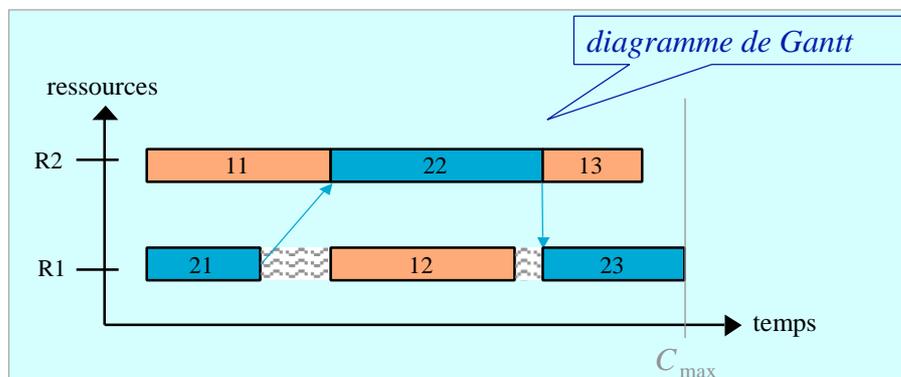


Ordonnancement préemptif/non préemptif



2.3. Ordonnancement/Affectation

- ✓ **Placement des tâches en temps et en espace**
- ✓ **Temps continu**
- ✓ **Contraintes temporelles**
- ✓ **Contraintes de ressources**



2.4.Optimisation

2.4.1- Optimisation : méthodes exactes :

Cheminement dans les graphes

Procédures d'exploration arborescentes

- algorithme de résolution par tentative et retour arrière (backtracking)
- "Branch and Bound"

Programmation mathématique

- programmation linéaire en variables entières, mixtes
- Programmation dynamique

Résultats spécifiques

Propres à chaque type de problème.

2.4.2-Optimisation : méthodes approchées

✓ **Heuristiques**

○ "procédure exploitant au mieux la structure du problème considéré, dans le but de trouver une solution de qualité raisonnable en un temps de calcul aussi faible que possible"

- Algorithmes gloutons (myopes)
- Règles de priorité

✓ **Métaheuristiques**

- Cadre général de résolution – composées de deux grandes parties :
 - Exploration : permet de visiter des régions différentes dans l'espace des solutions
 - Exploitation : permet de savoir où se trouvent les meilleures solutions
 - à solution unique (Tabou, recuit simulé, ...)
 - à population de solutions (algorithmes génétiques, ...)

Tabou, Recuit (recherche locale)

➤ **Principe**

- A partir d'une solution initiale connue x , amélioration du critère par la recherche de la meilleure solution x' dans un voisinage de x ; si pas d'amélioration arrêt, sinon $x=x'$.

➤ **Méthode Tabou**

- A partir d'une solution initiale x , on examine complètement le voisinage de x . On conserve la meilleure solution x' . On mémorise la solution retenue dans une liste taboue d'une longueur donnée.

➤ **Recuit simulé**

- A partir d'une solution initiale x , un voisin x' est généré aléatoirement. On calcule l'écart des fonctions coût $\Delta f = f(x') - f(x)$. Si $\Delta f \leq 0$, $x = x'$. Si $\Delta f > 0$, x' remplace x avec une probabilité d'acceptation $\text{EXP}(-\Delta/T)$ où T est un paramètre, appelé température, qui décroît au cours de la procédure.

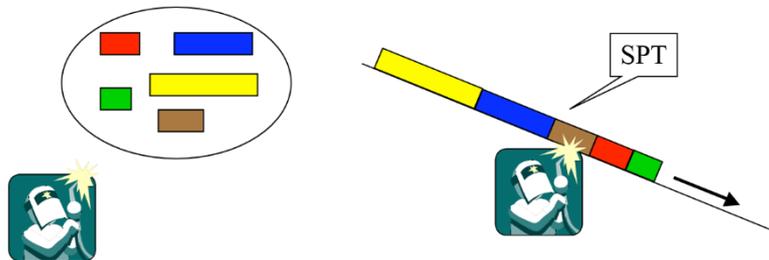
2.4.3-Algorithmes génétiques (approche évolutive)

➤ **Principe**

- Une population initiale est générée aléatoirement. Chaque solution est codée comme une chaîne de caractères (gènes). L'exploration est réalisée par les opérateurs de mutation (modification d'un gène) et assure la diversification du voisinage ; l'exploitation est assurée par les opérateurs de croisement (permutation de gènes entre solutions parents) et recherche les meilleurs enfants possibles.

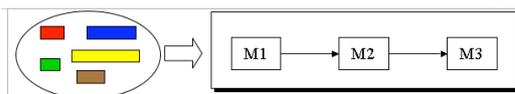
2.5. Ordonnancement dans les différents types d'ateliers manufacturiers

2.5.1- Machine Unique



- **Règle de Smith** : WSPT (stock d'encours, temps de cycle, retard algébrique, moyens ou pondérés)
- **Règle de Jackson** : EDD (retards maximum)
- **Algorithme de Moore-Hodgson** : EDD modifiée (nombre de tâches en retard)

2.5.2-Flow Shop (Ateliers à cheminement unique)



➤ Minimisation de la durée totale

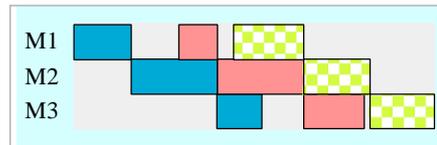
- 2 machines ⇒ Règle de Johnson :

le travail i précède le travail j si dans une séquence optimale si :

$$\min(p_{i1}, p_{j2}) < \min(p_{j1}, p_{i2})$$

- Cas général : extension de la règle de Johnson (heuristique CDS)

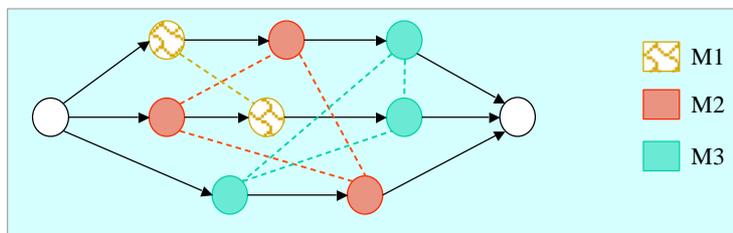
- Pas de stockage sur machine
(industrie agroalimentaire) ⇒
flow shop sans attente



2.5.3- Job Shop (Ateliers à cheminements multiples)

➤ Minimisation de la durée totale

- 2 machines ⇒ Algorithme de Jackson : basé sur la constitution de 4 familles ($M1$, $M2$, $M1-M2$, $M2-M1$) et règle de Johnson
- 2 travaux ⇒ méthode graphique (Akers)
- Cas général : génération d'ordonnements actifs, sans retard, heuristique de machine goulet ("bottleneck heuristic")



2.5.4-Open Shop (les ateliers à cheminement libre)

➤ **Gammes de fabrication non connues à l'avance**

- ex : construction de lotissements, réparation ou maintenance d'engins, tenue d'examens médicaux, ...

➤ **2 problèmes**

- Fixer un ordre de passage sur les machines pour chaque travail
- Trouver une séquence de travaux sur chacune des machines
- **Minimisation de la durée totale, 2 machines et nonpréemption** ⇒ règle **LAPT (Longest Alternate Processing Time first)** :
Sélection sur une machine libre du travail dont l'opération sur l'autre machine possède la plus grande durée
- **Pour d'autres critères ou dès la considération de 3 machines**
 → problèmes NP-difficiles (sauf $O_m | pmtn | C_{max}$)

2.6. Contexte dynamique

- Arrivée continue de nouveaux travaux
- Modifications des caractéristiques du problème
- Informations modélisées comme un processus stochastique régi par une loi aléatoire
- Méthode analytique : théorie des files d'attente
 - Valeurs des critères pour différentes règles de priorité
 - Résultats analytiques sur les évaluations en moyenne en régime stationnaire
 - Résultats pauvres pour les problèmes d'atelier
- Simulation
 - Basée sur des méthodes de Monte Carlo (méthode de simulation du hasard)
 - Permet d'éviter des hypothèses trop simplificatrices
 - Facilité de générer un ordonnancement et d'examiner divers scénarios

2.7. La gestion d'activités

- Activité = action d'un moyen sociotechnique, d'une entreprise
- Gestion d'activités = organiser la programmation d'un ensemble d'activités sous contraintes de temps et de ressources
- Applications
 - Planification des flux
 - Ordonnancement de tâches / affectation de ressources
 - Gestion de ressources...
- Traitement

- Méthodes stochastiques vs. Déterministes
- Méthodes exactes vs. Approchées
- **Approches par contraintes**

2.8. Approches par contraintes

2.8.1- Approche par contraintes des problèmes de décision

- **Originalité** : formulation du problème de décision exclusivement en termes de contraintes
- **modèle** = < {variables de décision}, {contraintes} >
 - contrainte = expression reliant des variables de décision
 - solution = ensemble de valeurs qui satisfait toutes les contraintes
- **Caractéristiques**
 - analyse du problème, réduction de la combinatoire, séparation analyse/résolution
 - flexibilité, modularité de l'approche
 - adaptée au contexte de l'aide à la décision (évolution du modèle)

2.8.2- Approche par contraintes de l'ordonnancement

- **Problèmes de Satisfaction de Contraintes (CSP)**
 - Règles de cohérence locale pour les contraintes temporelles
 - Stratégies de recherche heuristiques
- **Théorie de l'ordonnancement**
 - Théorèmes de dominance
 - Bornes inférieures et supérieures des solutions optimales
 - Procédures arborescentes de résolution
 - Règles de propagation des contraintes de ressources
- **Programmation par contraintes**
 - Programmation Logique avec Contraintes
 - Bibliothèques C++

2.8.3- Propagation de contraintes

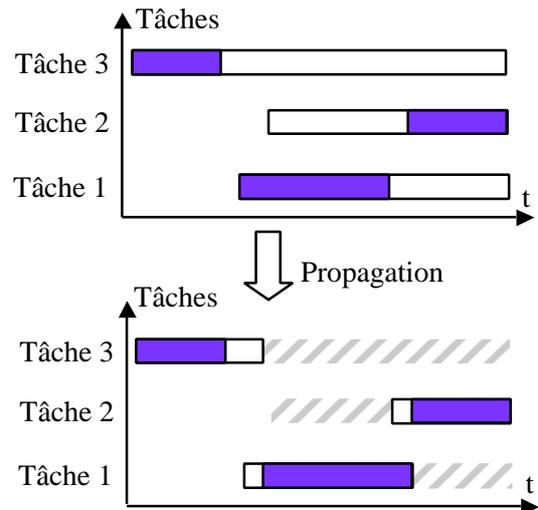
- **Ensemble de techniques permettant de simplifier la résolution**
- **Approche non-déterministe : caractérisation ensemble de décisions**

Renforcement de consistance : simplifier la résolution du problème (suppression des redondances, filtrage des valeurs des variables n'appartenant à aucune solution)

➤ **Structuration des décisions**

- Limitation des actions possibles
- Explicitation des degrés de liberté disponibles
- Règles d'élimination et d'ajustement liée aux paires de disjonction

Exemple :
 $d_j = r_i < p_i + p_j \Rightarrow i$ non avant j
problème disjonctif $\Rightarrow j$ avant i
 \Rightarrow ajustements de r_i et d_j



Ordonnement & affectation

problème mixte d'ordonnement et d'affectation

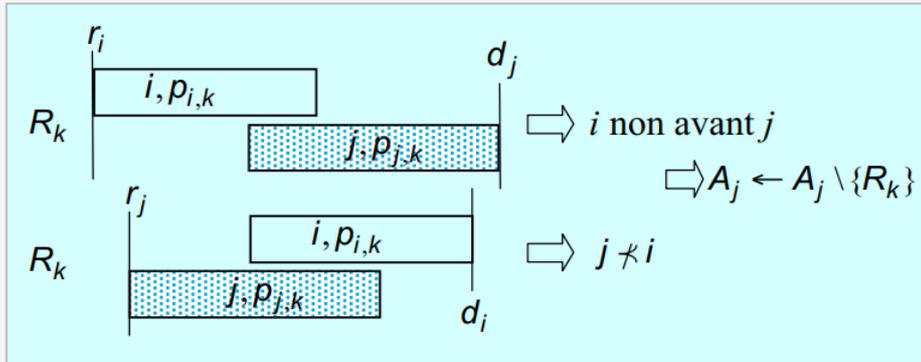
- affectation de ressources : ensemble de ressources possibles
- ⇒ durées dépendantes des ressources
- pour k , durée des tâches variables $p_{i,k} \in [p_{i,k} \text{ min}, p_{i,k} \text{ max}]$

exemple : Job Shop avec affectation



Propagation de contraintes (3)

i est affectée sur R_k
j peut être affectée sur R_k



Chapitre 03 : Quelques méthodes de GP

1. Gestion des stocks
 - 1.1. Préambule**
 - 1.2. Modèle de la quantité économique optimale (EOQ)**
 - 1.3. Exemples**
2. Planification des besoins en composants
 - 2.1. Introduction**
 - 2.2. Calcul des besoins bruts**
 - 2.3. Planification au plus tard**
 - 2.4. Calcul des besoins nets**
3. Juste-à-temps
 - 3.1. Introduction**
 - 3.2. Méthode Kanban**
4. OPT

Gestion des stocks :

1.1.préambule

□ **une des plus vieilles méthodes de GP**

□ **gestion basée sur la notion de stock**

Stocks = 20 à 80 % du total du bilan d'une entreprise industrielle (selon l'activité)

□ **assurer un stock moyen pour**

- Éviter des stocks trop importants (coûteux : immobilisation d'une source de revenu et besoin de gestion du stock)

- Éviter des stocks trop faibles (difficulté d'adaptation aux variations de la demande) → stocks négatifs (ou pénurie, rupture, manque...)

□ **3 types de stocks**

- **Matières premières** (anticiper les fluctuations des prix et les éventuelles défaillances des fournisseurs...)

- **En-cours** (découplage des divers stades de la production et équilibrage des flux, protection contre les arrêts momentanés...)

- **Produits finis** (réduction des délais de livraison, amortir les fluctuations de la demande, de la production..., parer aux périodes chômées (août))

Hypothèses

- Planification à moyen terme

- Demande prévisible et relativement constante (production sur stock)

- Coûts de stockage et d'approvisionnement connus et constants

- Coûts proportionnels au nombre de pièces

But

- Éviter les ruptures de stock tout en conservant un niveau de stock le plus faible possible

□ **QUAND ET COMBIEN COMMANDER ?**

Principe : minimiser une fonction de coût économique

- Coût de possession lié aux quantités stockées

- Coût de commande lié au lancement en production, aux appros... – coût de rupture lié aux retards de livraison

1.2.GdS : Modèle de la Quantité Economique de Commande (EOQ)

□ EOQ = "Economic Order Quantity"

□ valable pour demande régulière et taux d'appro constant, reconstituer périodique,

pas de rupture

□ basée sur une politique optimale de gestion des stocks dont les caractéristiques sont :

- Succession

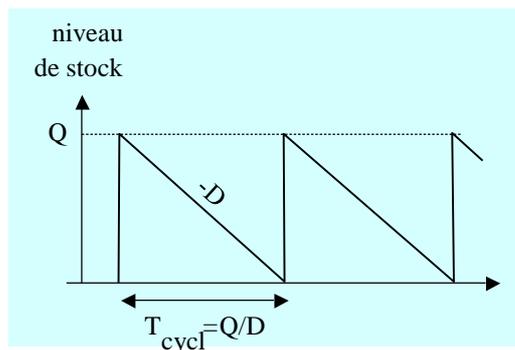
o D'ordres d'approvisionnement dont l'effet est de remonter le niveau du stock, et

o De phases où le stock diminue régulièrement sous l'effet de la demande)

⇒ il est moins coûteux d'attendre que le stock soit vide pour passer commande (courbe $y =$

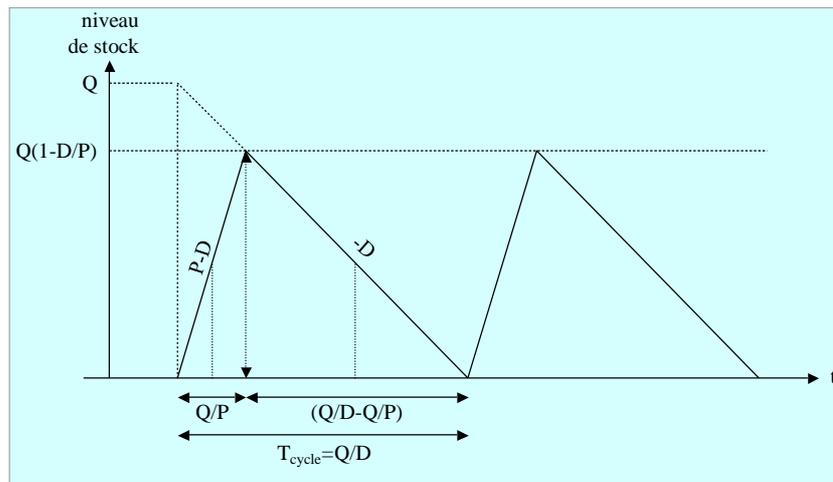
$-Dx + Q$)

- Temps de cycle = intervalle entre 2 commandes : $T_{cycle} = Q/D$



- Remplissage du stock non instantané (production par un site A de l'atelier en amont du site B dont on gère le stock) pour qu'un site A produise Q à un taux P, il faut un temps Q/P , pendant lequel la demande D du site B par unité de temps effectue un prélèvement DQ/P ; globalement, on a donc un taux $P-D$ pendant une durée Q/P , et on obtient $Q_{max} = (P-D)Q/P = (1-D/P)Q$

1.2.1- GdS : Politique optimale de gestion des stocks dans un cadre de production



GdS : Formule de Wilson (1)

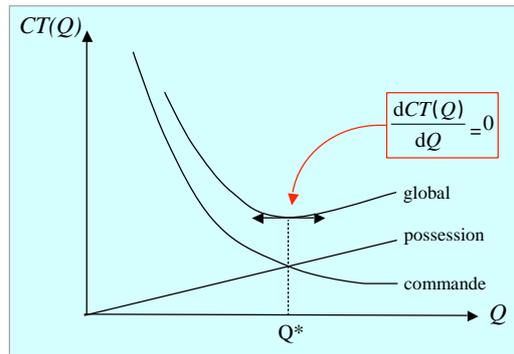
Rappel des notations

- P = taux de production par période
- Q = taille en volume de la commande (stock)
- D = demande en volume par période
- T_{cycle} = intervalle entre deux commandes (période)
- C_p = coût de possession par unité de produit et par période
- C_c = coût de commande
- $CT(Q)$ = coût total de stockage par période

Le coût de possession entre 2 instants t_1 et t_2 est proportionnel au nb cumulé d'articles stockés et à la longueur de $[t_1, t_2]$; il est donc proportionnel à l'aire contenue sous la courbe d'évolution des stocks ; d'où :

$$CT(Q) = \left(\frac{C_p}{2} Q \left(1 - \frac{D}{P}\right) \frac{Q}{D} + C_c \right) \times \frac{1}{T_{cycle}} = \frac{C_p}{2} Q \left(1 - \frac{D}{P}\right) + \frac{DC_c}{Q}$$

qui forme une hyperbole dont le minimum est trouvé en égalant à zéro la dérivée par rapport à Q. On obtient alors la **formule de Wilson** :



$$EOQ_{opt} = Q^* = \sqrt{\frac{2C_c DP}{C_p(P + D)}} \quad " \quad CT(Q^*) = \sqrt{2DC_c C_p \left(1 + \frac{D}{P}\right)}$$

1.2.2- GdS : exemples

étude de cas 01

Données

Demande hebdomadaire d'une pièce D=200 unités/semaine

Coût de possession $C_p=0,5$ € / unité / semaine coût administratif d'une commande = 500 € frais de livraison = 500 €

Donc :

Coût global de commande $C_c=1000$ €

Hypothèse : remplissage instantané du stock (fournisseur extérieur)

$$Q^* = \sqrt{\frac{2C_c D}{C_p}} \quad CT(Q^*) = \sqrt{2DC_c C_p}$$

Résultat : $Q^*= 895$ pièces

$CT(Q^*)=447,21$ € par semaine soit $2,24$ €/pièce $T^*=4,47$ semaines

Etude de cas 02

Données

demande annuelle d'une pièce $D=50000$ unités/an production maximale $P=200000$ unités/an
coût de commande $C_c=500$ € coût de possession $C_p=3$ €/unité/an usine travaille $H=240$ jours/an **Donc :**

demande journalière = $50000/240 = 208,33$ production journalière = $200000/240 = 833,33$
stock net journalier = $833,33 - 208,33 = 625$

**Production de Q unités en $240Q/200000$ jours, au bout desquels on aura
 $625 \cdot 240Q/200000 = 0,75Q$ unités stockées**

**Si $Q=8000$, et si le stock initial est nul, la production nécessitera 9,6 jours et permettra de
stocker 6000 pièces qui seront consommées en**

$6000/208,33=28,8$ jours

$Q^*=4714$ pièces et $CT(Q^*)=10607$ €

2. Planification des besoins en composants :

2.1.Introduction

Apparue aux Etats-Unis dans les années 65-70

- MRP1 : Material Requirements Planning
- Dans les années 80 prise en compte de la capacité limitée des ressources (MRP2 : Manufacturing Resource Planning)

Hypothèses

- Planification à moyen terme dans une production à flux poussés
- Production répétitive (grande série)

But

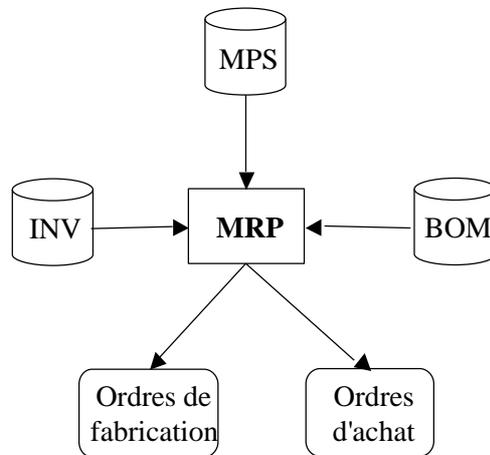
- Anticiper la demande pour s'adapter à ses variations

QUAND ET COMBIEN PRODUIRE ?

par rapport à la gestion des stocks, on met l'accent sur les problèmes liés à la fabrication, les stocks apportant des contraintes et des coûts que l'on cherche à minimiser

Implantation

Il faut disposer d'un système d'information informatisé (données physiques, données comptables, plan directeur de production comportant les quantités à produire par famille de produits – Master Production Schedule –, les niveaux des différents stocks et une organisation des moyens à disponibilité variable)



Principe de MRP1

3 phases

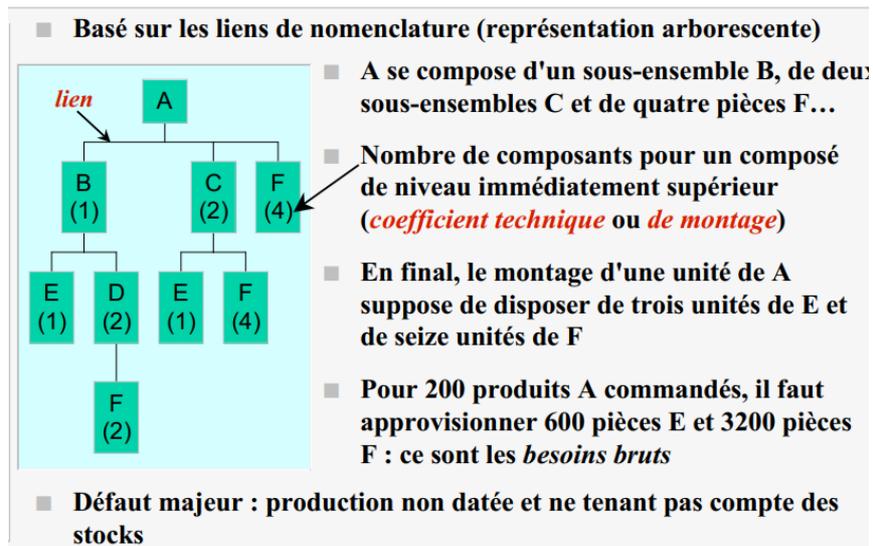
- Calcul des besoins bruts
- Planification au plus tard de la mise en fabrication des pièces (ou *absorption des délais*)
- Calcul des besoins nets

Mise en œuvre

- Décisions prises à chaque niveau validé par simulation
- Remise en cause si problème

□ **MRP2 : ajout d'heuristiques (agissant sur le lancement en production de pièces) pour rester dans les limites imposées par les ressources.**

2.2.PBC : Calcul des besoins bruts

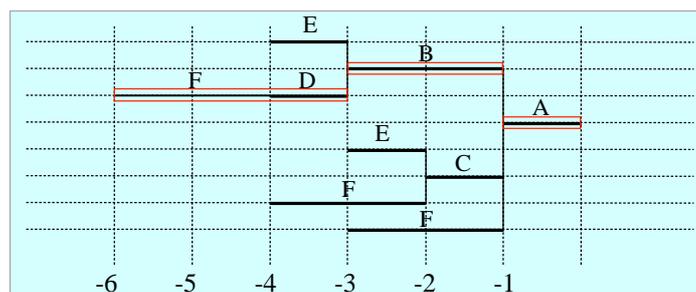


2.3.PBC : Planification au plus tard

□ Pour répondre au problème de la production non datée, on va se servir du principe de calcul des besoins bruts en prenant en compte les décalages temporels induits par l'attente d'un produit en un instant donné

□ "On met la nomenclature à l'horizontale en lui faisant subir une rotation de 90° dans le sens des aiguilles d'une montre."

- cycles de montage de A, C et D = 1 semaine
- cycle de montage de B = 2 semaines
- délais d'approvisionnement de E = 1 semaine et F = 2 semaines



Exemple :

- Pour fabriquer 200 produits A, on doit passer commande de 800 pièces F au début de la semaine -6, de 1600 au début de la semaine -4 et de 800 au début de la semaine -3. On doit également passer commande de 200 E au début de la semaine -4 et de 400 au début de la semaine -3 → Politique "lot-for-lot"...

- Cycle total de fabrication d'un produit fini (A) = somme des plus longs cycles à chaque niveau de nomenclature (6) Parallèle avec un chemin critique puisque tout retard sur ce chemin (émanant de livraison ou de fabrication) affecte d'autant la livraison au client
- Les pièces lancées en fabrication sont affectées à une consommation prévue (politique lot-for-lot qui implique de commander exactement le nombre d'articles nécessaires par période) → permet de travailler sans stock (en théorie) Inconvénient majeur de MRP1 : décorrélation entre les délais et les volumes de production (qui se traduit généralement par l'introduction d'heures supplémentaires pour faire face à l'importance du dépassement des délais pour des volumes importants) ⇒ justification de MRP2

2.4.PBC : Calcul des besoins nets

□ **Demande pour A sur les semaines 1 à 6 :**

10, 20, 30, 40, 50, 50

□ **Stocks initiaux :**

A=30, B=70, C= 100, D=100, E=100, F=500

□ **On part du niveau supérieur de la nomenclature : produit fini A**

- semaine 1 : demande couverte par le stock → stock = 20
- semaine 2 : demande couverte par le stock → stock = 0
- semaine 3 : lancement de 30 unités en semaine 2
- semaine 4 : lancement de 40 unités en semaine 3
- semaine 5 : lancement de 50 unités en semaine 4
- semaine 6 : lancement de 50 unités en semaine 5

□ **Pour pouvoir lancer A, il faut disposer des composants B, C et F** Pour B :

- semaines 2 et 3 : demandes couvertes par le stock → stock = 0
- semaine 4 : lancement de 50 unités en semaine 2
- semaine 5 : lancement de 50 unités en semaine 3

...

	Semaines					
	1	2	3	4	5	6
Demande A	10	20	30	40	50	50
Stock initial A	30	20	0	0	0	0
Besoin net A	0	0	30	40	50	50
Lancement A	0	30	40	50	50	-
Besoin brut B	0	30	40	50	50	-
Stock initial B	70	70	40	0	0	-
Besoin net B	0	0	0	50	50	-
Lancement B	-	50	50	-	-	-
Besoin brut C	0	60	80	100	100	-
Stock initial C	100	100	40	0	0	-
Besoin net C	0	0	40	100	100	-
Lancement C	0	40	100	100	-	-
Besoin brut D	0	100	100	-	-	-
Stock initial D	100	100	0	-	-	-
Besoin net D	0	0	100	-	-	-
Lancement D	0	100	-	-	-	-
Besoin brut E	0	90	150	100	-	-
Stock initial E	100	100	10	0	-	-
Besoin net E	0	0	140	100	-	-
Lancement E	0	140	100	-	-	-
Besoin brut F	0	380	660	-	-	-
Stock initial F	500	500	120	-	-	-
Besoin net F	0	0	540	-	-	-
Lancement F	540	-	-	-	-	-

3. Juste-à-temps:

3.1. Introduction

Apparue au Japon dans les années 80 (Toyota)

Hypothèses

- Planification à court terme dans une production à flux tirés
- **Flux tirés** : relancer de nouvelles phases de fabrication pour remplacer des produits ou des composants sortis des stocks
- Production de masse

But

- Fournir le produit exactement au moment du besoin et exactement dans la quantité désirée
- Minimiser les en-cours
- Tendre vers un flux de produits continu, approcher les quatre zéros (0 stock / 0 retard / 0 défaut / 0 panne)

Principe

- Simpliste
- Mise en ligne des machines pour accroître la fluidité
- Équipements spécialisés, opérateurs polyvalents

- Flux tirés et recherche des quatre 0 (réunion entre les différents acteurs de la production)

3.2.JAT : La méthode Kanban

□ Description

- OF en provenance de l'aval = "ticket" ou "Kanban" – un Kanban comporte les informations suivantes :
 - désignation de la pièce et de l'opération
 - désignation des lieux d'origine et de destination
 - quantité par conteneur (conteneur sert aux manipulations inter-postes)
 - nombre de tickets en circulation dans la boucle
- Particularité d'un Kanban : circule en permanence dans le flux de fabrication ; il descend le flux avec les pièces et le remonte une fois les pièces consommées
- Chaque poste de transformation possède un tableau mural de Kanbans ; une colonne par référence ; chaque colonne possède des index indiquant un niveau de lancement en fabrication possible (lot économique) et un seuil d'alerte imposant un lancement en urgence

(Remarque : la méthode Kanban n'induit pas de 0 stock comme le voudrait le juste-à-temps)

Problème

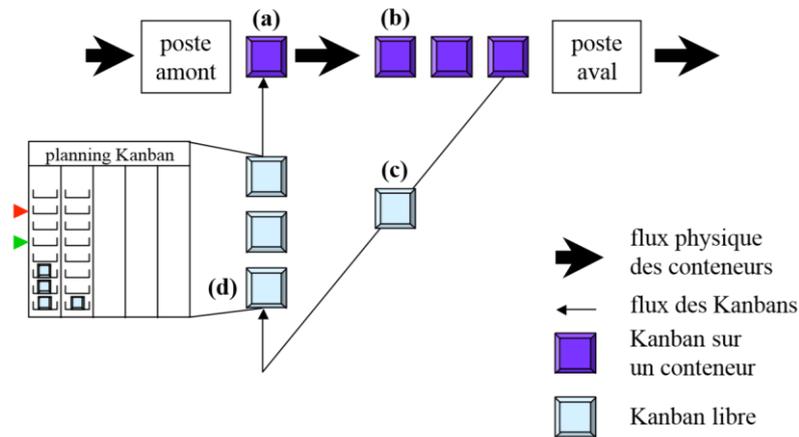
- Déterminer le nombre de Kanbans de chaque type nécessaire dans l'atelier
- Fait par simulation ou tâtonnements successifs (on enlève des Kanbans jusqu'à ce que des ruptures de stock apparaissent)

Différentes phases

- (a) le Kanban est mis sur le conteneur de pièces qui viennent d'être fabriquées au poste amont
- (b) le Kanban accompagne le conteneur au poste suivant (en aval du flux) et reste sur le conteneur en attente.

- (c) au moment où le conteneur est mis en fabrication sur le poste aval, le Kanban est libéré et retourne au poste amont
- (d) le Kanban est placé dans un planning, près du poste amont ; il sera retiré de ce planning au moment d'une nouvelle mise en fabrication

■ Circulation des Kanbans



4. OPT (Optimized Production Technology)

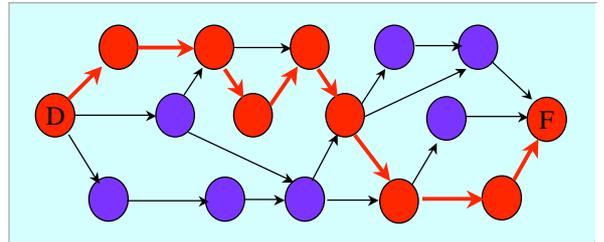
- plus une philosophie qu'une méthode
- concept de flux tirés traduit par un flux de lancement adapté au rythme des machines les plus lentes
- basée sur un ensemble de 10 règles de bon sens utilisant la notion de ressource goulot
 - Il faut équilibrer les flux (dynamique) et non les capacités (statique)
 - L'utilisation d'une ressource non goulot n'est pas liée à sa capacité
 - 1 h perdue sur une ressource goulot est 1 h perdue pour tout le système
 - 1 h gagnée sur une ressource non goulot est un leurre
 - Les lots de fabrication doivent être de taille variable et non fixe

Calculs des besoins en composants et calcul du plan de production doivent être réalisés simultanément (remet en cause le MRP) – ...

4.1. Ordonnancement de projet

4.1.1. Méthode à chemin critique (PERT)

- o Modélisation par graphe potentiels
- o Recherche des ordonnancements au plus tôt/tard
- o Identification des tâches critiques
- o Caractérisation des marges



4.1.2. Algorithme général de résolution

tant que il reste des variables non affectées
et que une inconsistance globale n'est pas détectée
 appliquer les raisonnements
si une inconsistance est détectée
alors si il existe des choix non explorés
 alors retour arrière sur un choix non exploré
 sinon inconsistance globale détectée
sinon
 sélectionner une variable encore libre
 choisir une valeur pour cette variable et mémoriser les autres

4.1.3. Algorithme affectation «Branch and Bound»

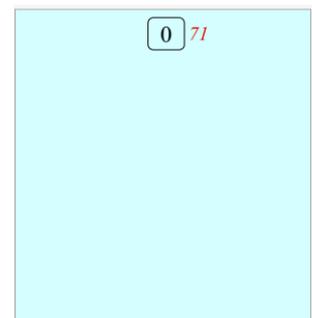
Tournée \ Camion	Tour 1	Tour 2	Tour 3
Cam A	94	1	54
Cam B	74	10	88
Cam C	62	88	8

- ✓ Principe de séparation : affecter un camion à une tournée
- ✓ Fonction d'évaluation : somme des coûts minimaux par tournée

Etape 01

1- Sélection min par tournée pour chaque camion (62/1/8)

Tournée \ Camion	Tour 1	Tour 2	Tour 3
Cam A	94	1	54
Cam B	74	10	88
Cam C	62	88	8



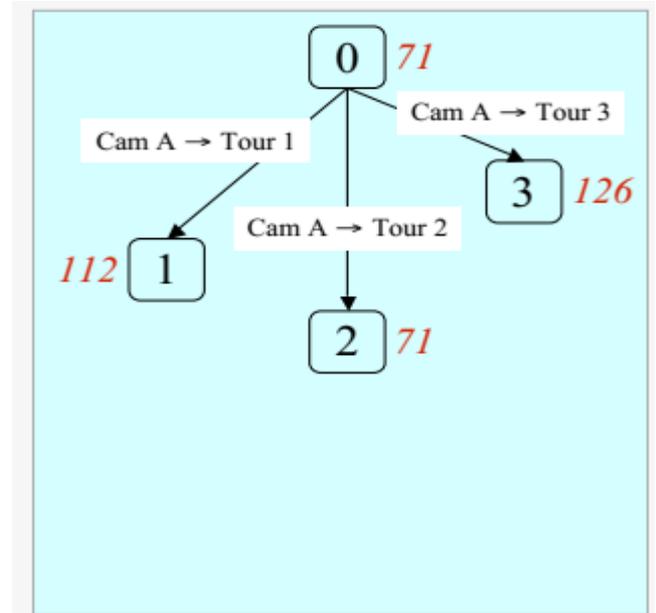
2- Somme de min $62 + 1 + 8 = 71$

Étape 02

- ✓ Principe de séparation : affecter un camion à une tournée (Cam A)
- ✓ Fonction d'évaluation : somme des coûts minimaux par tournée

Solution

Tournée \ Camion	Tour 1	Tour 2	Tour 3
Cam A	94	1	54
Cam B	74	10	88
Cam C	62	88	8

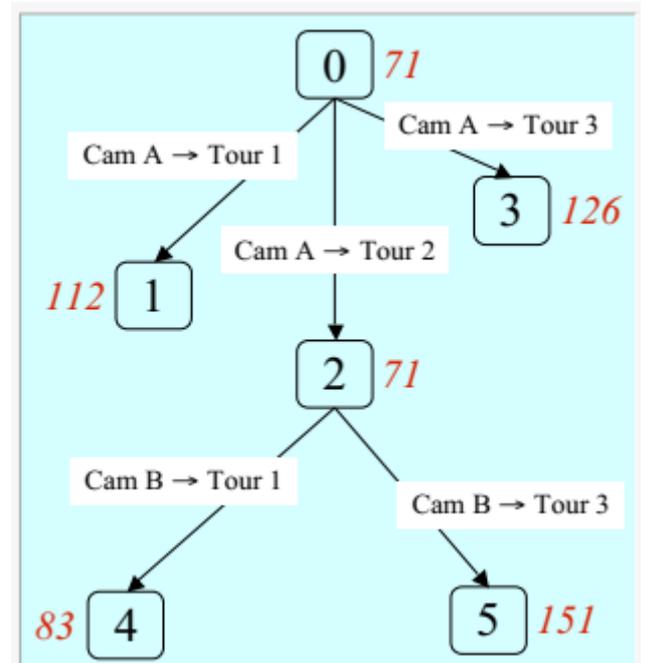


Étape 03

- ✓ Principe de séparation : affecter un camion à une tournée (Cam B)
- ✓ Fonction d'évaluation : somme des coûts minimaux par tournée

Solution

Tournée \ Camion	Tour 1	Tour 2	Tour 3
Cam A	94	1	54
Cam B	74	10	88
Cam C	62	88	8

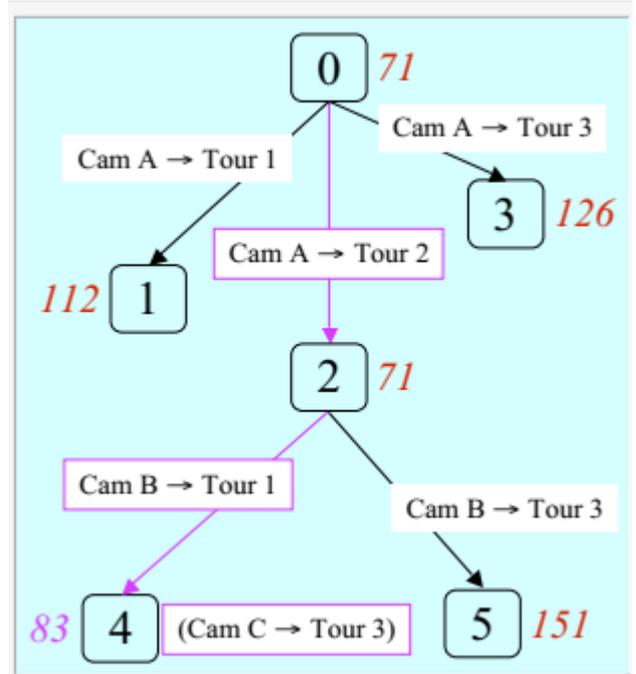


Etape 04

- ✓ Principe de séparation : affecter un camion à une tournée (optimum)
- ✓ Fonction d'évaluation : somme des coûts minimaux par tournée

Solution

Tournée \ Camion	Tour 1	Tour 2	Tour 3
Cam A	94	1	54
Cam B	74	10	88
Cam C	62	88	8

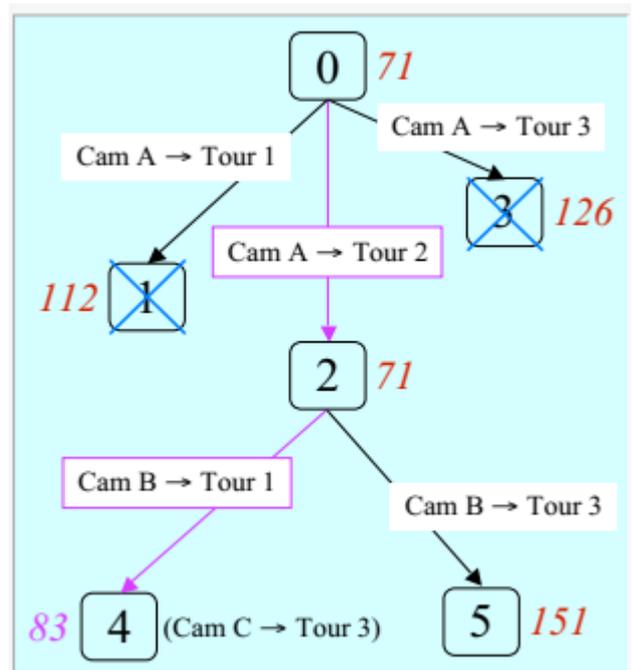


Etape 05

- ✓ Principe de séparation : affecter un camion à une tournée (optimum)
- ✓ Fonction d'évaluation : somme des coûts minimaux par tournée

Solution

Tournée \ Camion	Tour 1	Tour 2	Tour 3
Cam A	94	1	54
Cam B	74	10	88
Cam C	62	88	8



Les nœuds pendants sont sondés par test d'optimalité

5. Finalité de cours

Aujourd'hui, la perception de la gestion de la production a bien sûr beaucoup évolué. La gestion de la production se place au cœur de la stratégie de l'entreprise. **Pourquoi cela ?** La réponse à cette question réside dans l'évolution des conditions de la compétitivité économique.

Lorsque l'offre et la demande s'équilibrent, nous atteignons une deuxième phase où le client a le choix du fournisseur. Pour l'entreprise, *il faut alors produire ce qui sera vendu*. Il devient alors nécessaire de faire des prévisions commerciales, de maîtriser l'activité de production, d'organiser les approvisionnements, de réguler les stocks et de fixer les échéances.

Très rapidement, on passe à la phase suivante où l'offre excédentaire crée une concurrence sévère entre les entreprises face à un client qui devient exigeant. Cette compétitivité contraint l'entreprise à :

- la maîtrise des coûts ;
- une qualité irréprochable ;
- des délais de livraison courts et fiables ;
- de petites séries de produits personnalisés ;
- un renouvellement des produits dont la durée de vie s'est raccourcie ;
- l'adaptabilité par rapport à l'évolution de la conception des produits et des techniques de fabrication...

Lorsqu'on met en œuvre un système du type GPAO, c'est encore plus crucial et tous les acteurs de l'entreprise sont actifs dans ce projet .

Une des caractéristiques principales de la mise en œuvre d'un projet de gestion de production est la gestion de l'interpénétration des fonctions dans l'entreprise. En effet, un tel projet va impliquer des choix sur :

- les relations avec les partenaires (clients et fournisseurs) ;
- le système de gestion de l'entreprise et le système d'indicateurs de performance ;

- les modes de fonctionnement des ateliers de production.

L'impact sur la performance de l'entreprise est tellement déterminant qu'il doit être conduit avec soin comme un projet prioritaire pour l'entreprise. Quatre choses seront déterminantes :

1. La priorité du projet SP dans les axes stratégiques de l'entreprise ;
2. La façon dont sera géré le projet SP ;
3. les choix stratégiques qui seront décidés en matière de système d'information ainsi que la structure informatique choisie (GPAO, ERP, EAI,);
4. La façon dont sera conduite la mise en place concrète du nouveau système.de gestion

Sommaires :

Plan du cours.....	2
Bibliographie	2
<i>Chapitre 01 : Introduction</i>	3
1.Historique	4
2. Définitions (SP – GP – GPAO)	5
2.1. Vision automatique :	5
2.2. Vision systémique : Quatre grandes activités de la GP	5
2.3.Distingo de 3 sous-systèmes dans un SP	6
2.4. Flexibilité dans les entreprises	6
3.La gestion d'activités.....	7
3.1. Définition	7
3.2.Gestion d'activités : approche multi-niveaux	7
3.3.Structures organisationnelles en GP	8
4.Typologie des SP.....	9
4.1. En fonction de l'organisation des ressources	9
4.2. En fonction du pilotage de la production	10
Chapitre 02 : Modèles et méthodes en planification-ordonnancement.....	11
1.Programmation Linéaire :	12
1.1. PL : interprétation géométrique	12

1.2. PL : résolution (1).....	13
1.3. PL : résolution (2) méthode de coupe.....	13
1.4. PL : différents problèmes	13
1.5. PL : dualité et solveurs	14
2.Problèmes d'ordonnancement.....	15
2.1.Définition :	15
2.2.Profil d'exécution d'une tâche	15
2.3. Ordonnancement/Affectation	17
2.4.Optimisation	18
2.5. Ordonnancement dans les différents types d'ateliers manufacturiers	19
2.6. Contexte dynamique	21
2.7. La gestion d'activités	21
2.8. Approches par contraintes	22
2.8.1- Approche par contraintes des problèmes de décision	22
2.8.2- Approche par contraintes de l'ordonnancement	22
2.8.3- Propagation de contraintes	22
Chapitre 03 : Quelques méthodes de GP.....	25
1.1. préambule	26
1.2. GdS : Modèle de la Quantité Economique de Commande (EOQ)	27
2. Planification des besoins en composants :.....	30
2.1. Introduction	30
2.2. PBC : Calcul des besoins bruts.....	32
2.3. PBC : Planification au plus tard	32
2.4. PBC : Calcul des besoins nets	33
3. Juste-à-temps:.....	34
3.1. Introduction	34
3.2. JAT : La méthode Kanban.....	35
4. OPT (Optimized Production Technology)	36
4.1. Ordonnancement de projet	37
5. Finalité de cours	41

