

# Gestion de Production

Emmanuel Caillaud



# CV E Caillaud

- Ingénieur ENIT et DEA Mécanique Université Bordeaux (1990)
- Ingénieur au CETIM (CIFRE 1990-1994)
- Docteur de l'Université Bordeaux (1995)
- Maître-assistant Ecole des Mines d'Albi, Département Génie Industriel (1994-2001)
- HDR INP Toulouse (2000)
- Consultant (2001-2002), PAST UAG
- Pr Université Strasbourg, Chercheur LGECO (2002- )

# Plan du cours

- Fonction production dans l'entreprise
- Planification
- MRP/MRP2
- Ordonnancement
- Données techniques, GPAO, ERP
- Gestion des stocks
- Prévisions
- Kanban
- Lean Manufacturing et Juste à temps
- OPT
- Logistique



# Références bibliographiques

- V. Giard, « Gestion de la production », Economica, 2003.
- A. Courtois, C. Martin-Bonnefous, M. Pillet, « Gestion de production », Ed. organisation, 2001
- G. Javel, "Organisation et gestion de la production", Dunod, 2000.

# Références bibliographiques (2)

E.M. Goldratt et J. Cox, « Le but, un processus de progrès permanent », AFNOR, 1993.

D. Hutchins, « Le juste à temps », AFNOR, 1989

S. Shingo, « Maîtrise de la production et méthode Kanban », Ed. d organisation, 1983.

G. Baglin, O. Bruel, A. Garreau, M. Greif et C Delft, "Management industriel et logistique", Economica, 2001.

J. P. Womack et D. T. Jones, « Lean Thinking », 1996



# Fonction production dans l'entreprise

# Entreprise = unité de production

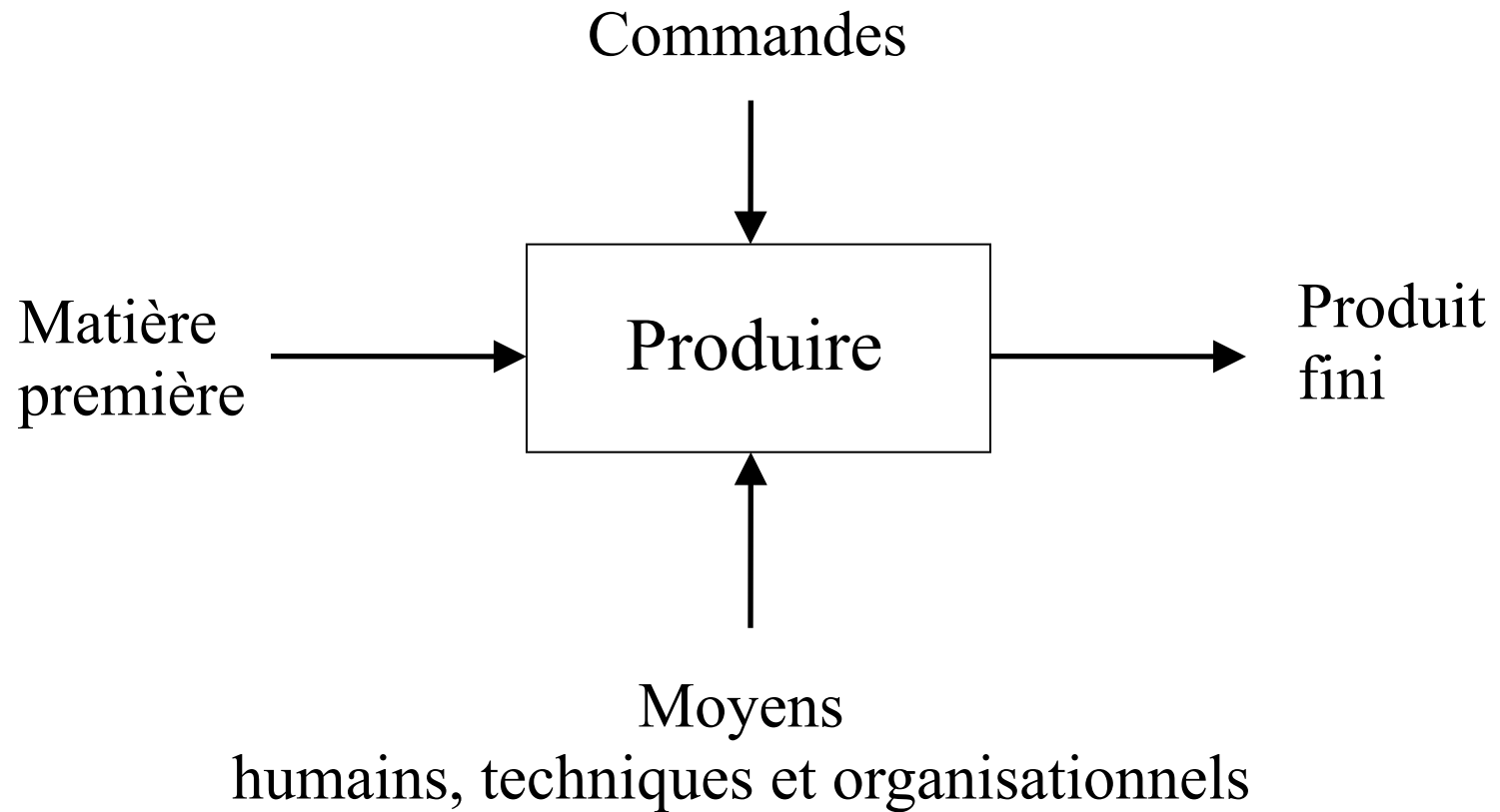
- Organisation combinant des hommes, des moyens financiers et matériels pour satisfaire les besoins (produits/services) de clients en générant du profit.
- L'entreprise est aussi
  - un centre de répartition des revenus : salaires, impôts, charges sociales, intérêts, dividendes, bénéfices non distribués, achats
  - un groupement humain : personnes aux compétences diverses avec des sources propres de motivation et de satisfaction

# Fonction production

- Objectif  
réaliser des produits/services
- Entrée  
matières premières
- Sortie  
produits finis
- Décision de production  
liée aux commandes (fermes ou prévues)
- Moyens  
Humains, techniques et organisationnels



# Fonction production (2)



# Fonction production (3)

- Liens avec les autres fonctions
  - achats (matières, outillages)      maintenance
  - investissements, travaux neufs      logistique
  - Ordonnancement      ressources humaines
  - conception (concurrent engineering)
  - méthodes (industrialisation)      qualité
  - commercial et marketing (commandes)
  - R&D (nouveaux produits, nouveaux procédés)
  - Comptabilité, finance (contrôle de gestion)
  - Direction générale

# Fonction production (4)

Direction

R&D

Maintenance

Qualité

Bureau  
d'études

Bureau  
Méthodes

Fabrication

Commerciaux

Planification

Achats

Logistique



# L'environnement de l'entreprise

- Environnement global

cadre juridique      conjoncture économique  
cadre international    évolutions techniques

- Environnement local

clients                      réseaux de distribution  
concurrents                fournisseurs  
banquier                    actionnaires

# Evolution du marché

- Produire puis vendre

Produits identiques, grandes séries, importants stocks et encours, délais fixés par le cycle de production

Gestion manuelle

- Produire ce qui sera vendu

Diversité limitée, prévisions de ventes, production programmée (délais maîtrisés), gestion des stocks et des approvisionnements

Gestion informatisée

# Evolution du marché (2)

- Produire ce qui est vendu  
Produit personnalisé (faible durée de vie),  
petites séries, flexibilité, réactivité.  
Gestion informatisée avec suivi temps réel et  
coopération.

# Types de production

- Autonomie de conception et commande
- Réponses au marché
- Structures des produits
- Quantité de produits et répétitivité

# Autonomie de conception et commande

- Concepteur et fabricant

Conçoit, industrialise et produit ses produits propres.

Modification possible du produit, choix de la gamme, des fournisseurs, des outillages.

- Sous-traitant

Réalise le programme (prévisionnel et ferme) de production imposé par le donneur d'ordres.

Choix de la gamme, des fournisseurs (?), des outillages.



# Autonomie de conception et commande (2)

- Façonnier

Réalise le programme (ferme) de production imposé par le donneur d'ordres.

Matières premières, outillages et gammes (?) sont imposés.

Ordonnancement.

# Réponses au marché

- Production à la commande
  - La commande ferme déclenche la production
  - Pas de stocks de produits finis
  - Délais de livraison  $>$  délai de production
  - ex. usine clés en main
- Production par programme
  - Les commandes fermes et prévisionnelles déterminent le programme
  - Prévisions fiables
  - Délais de livraisons réduits
  - ex. fournisseur industrie automobile

# Réponses au marché (2)

- Production pour le stock

Le niveau de stock de produits finis déclenche la production

Stock de produits finis dans l'entreprise

Délais de livraison réduits

ex. livres

- Assemblage à la commande

Les commandes fermes déclenchent l'assemblage de sous-ensembles réalisés sur programme.

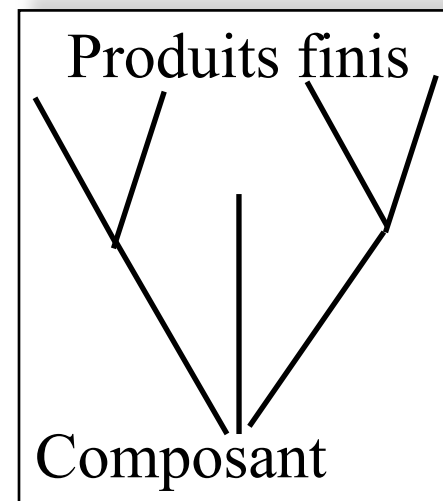
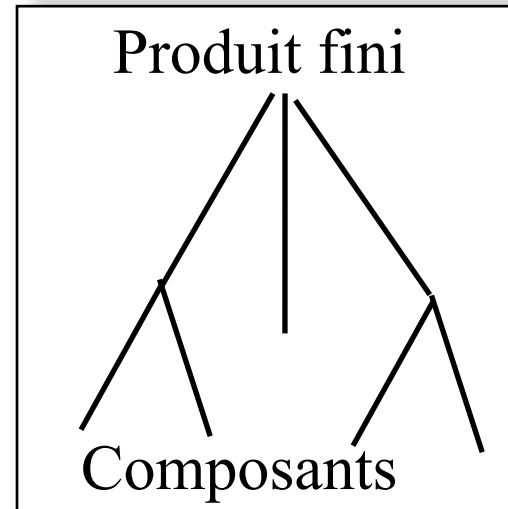
Pas de stock de produits finis

Délais de livraison réduits.

ex. constructeur d'avions

# Structures des produits

- La structure dépend de la nomenclature.
- Structure convergente  
Peu de produits  
Beaucoup de composants  
ex. ensembles électroniques
- Structure divergente  
Beaucoup de produits  
Peu de composants  
ex. produits laitiers



# Structures des produits (2)

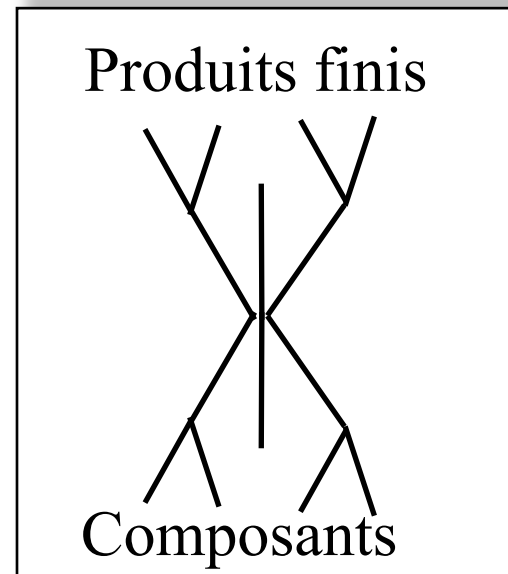
- Structure à points de regroupement

Beaucoup de produits finis

Beaucoup de composants

Sous-ensembles standards

ex. automobile



# Quantité de produits et répétitivité

- Production unitaire  
1 seul produit est à réaliser (projet)  
ex. pont, navire
- Petite et moyenne série (<1000)  
ex. avions, trains
- Grande série (>1.000)  
ex. automobile, électroménager
- Lancement répétitif ou non  
ex. production unitaire répétitive : moteur fusée

# Types de production (1)

- Production par projet
  - productions unitaires
  - flux limité (voir nul pour certains ouvrages)
  - objectif : minimiser le délai de livraison
- Production discontinue (par lot ou "Job Shop", "batch")
  - grande diversité de produits
  - moyens de production nombreux et flexibles (non dédiés à un produit)
  - flux de produits dépendent de gamme fabrication
  - objectif : respecter les délais pour l'ensemble !



# Types de production (2)

- Production continue ("flow-shop")  
famille de produits  
moyens de production dédiés au produit  
objectif : fiabilité pour assurer la productivité



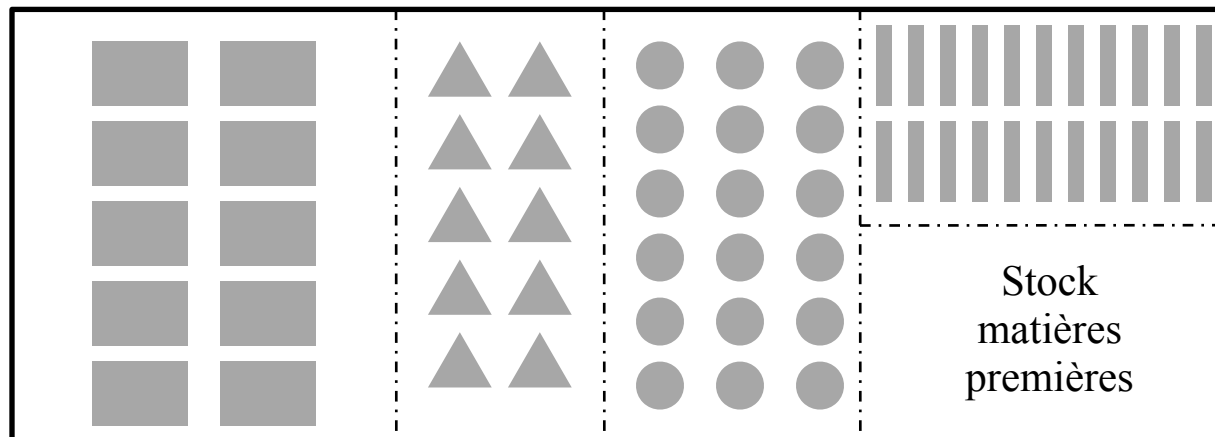
# Organisation des flux de production (1)

- Sections homogènes

les ressources de production regroupées par type

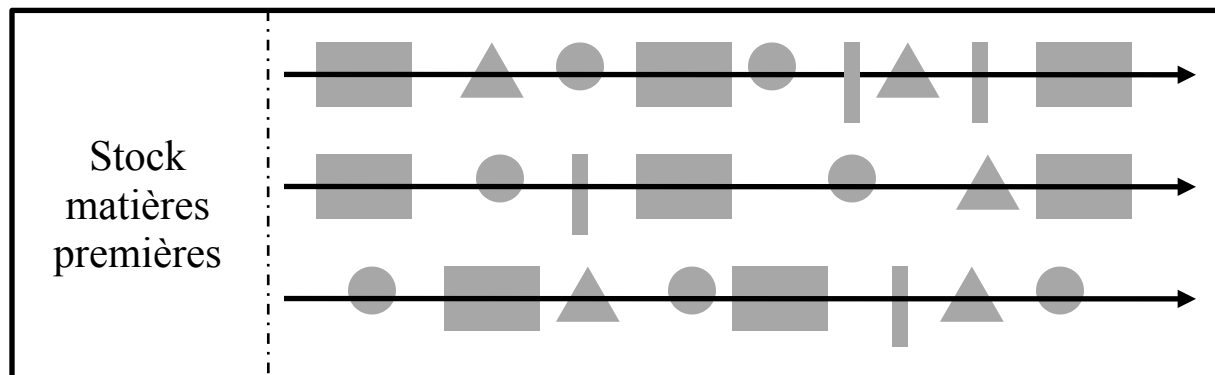
production discontinue

productivité faible, flexibilité importante



# Organisation des flux de production (2)

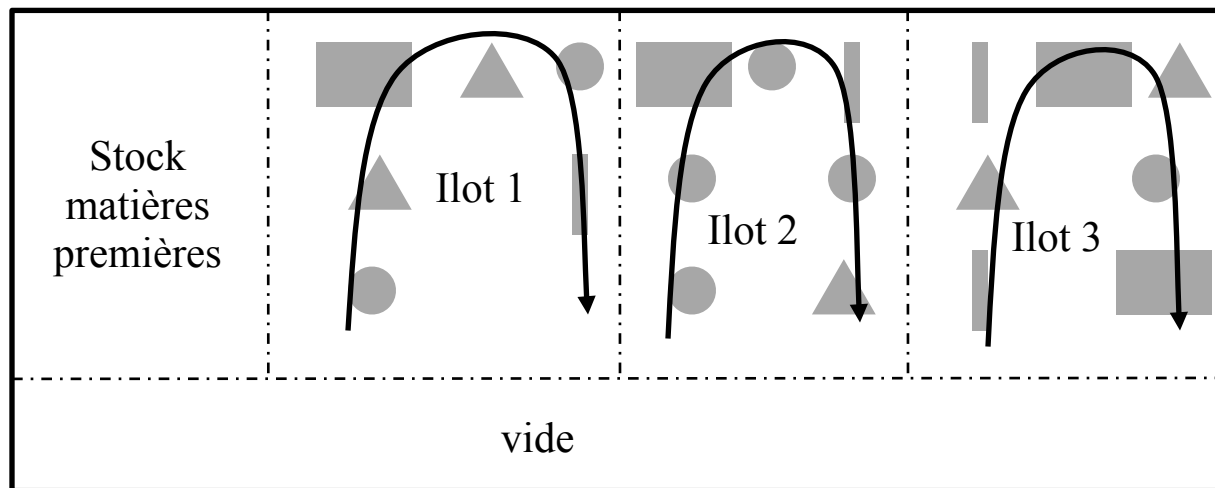
- Lignes de fabrication  
les ressources de production sont alignées  
suivant la gamme du produit  
production continue  
productivité importante, flexibilité faible



# Organisation des flux de production (3)

- Ilots de fabrication

les ressources de production sont regroupées en îlots pour une famille de produits  
compromis : productivité moyenne, flexibilité moyenne



# Objectifs de la gestion de production

- Mettre à disposition les produits (qualité, coût, délai)
- « Optimiser » l'utilisation des ressources humaines et techniques
- Améliorer
  - qualité (personnel, "SPC" (MSP), ...)
  - productivité (SMED, automatisation réfléchie, ...)
- Contexte
  - délais courts, coûts faibles, capacité réduite d'investissement, demandes changeantes

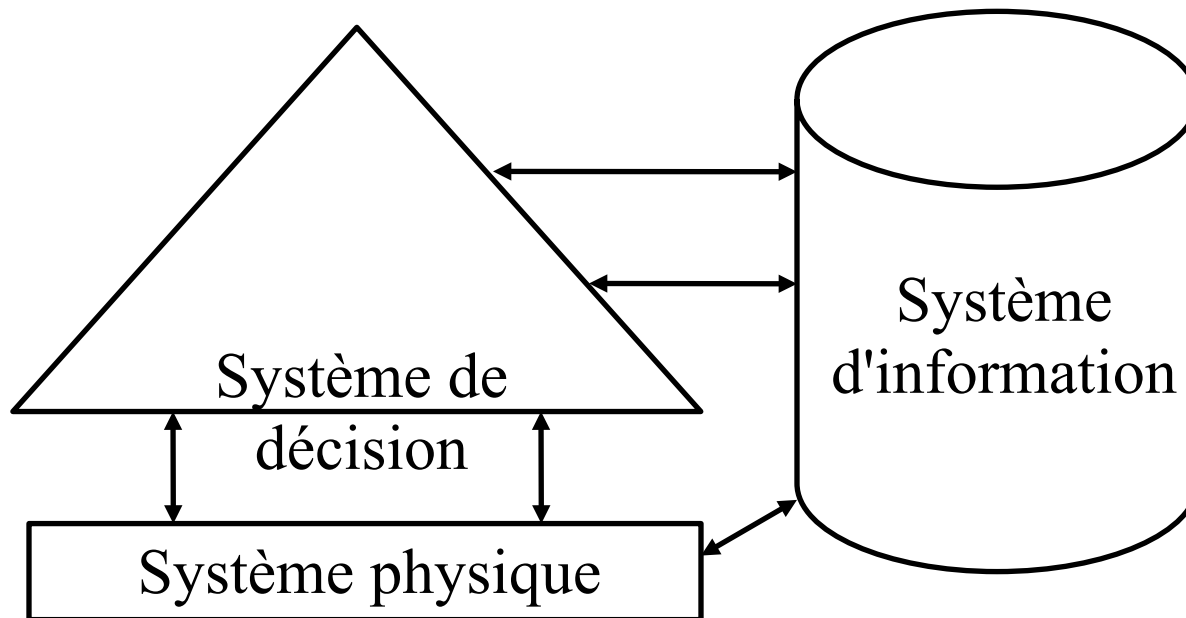


# Fonctions de la gestion de production

- Planifier la production
- Gérer les matières premières
- Gérer les ressources
- Réaliser la production
- Réagir aux aléas

# Modèle du système de production

- Système de production :  
Système hiérarchisé de décision  
Système d'information  
Système physique



# Données nécessaires à la gestion de production

- Données commerciales  
ventes fermes ou prévisionnelles
- Données techniques  
nomenclature, gamme de fabrication,  
identification (produit, machine)
- Données de suivi  
état du système physique  
calcul des coûts
- Données **FIABLES !!!**

# Conclusion partielle

- Gestion de production aujourd'hui
  - petites séries
  - produits personnalisés
  - pas de stocks
  - produits évoluant dans le temps
  - informatisation (GPAO, ERP)
  - charge variable
  - ressources humaines (capacité variable ?)
  - ressources techniques (fiabilité, rentabilité ?)



# Définitions

- Productivité
- Flexibilité
- Réactivité
- Produit
- Article
- Nomenclature

# Définitions (2)

- Gamme de fabrication
- Délai de livraison
- cycle de production
- Lot de production
- Temps de reconfiguration
- Ordre de Fabrication (OF)



# Planification

# Planifier

- Objectifs

SYNCHRONISER la fabrication des produits, l'arrivée des matières, l'arrivée des outillages et l'utilisation des ressources

OPTIMISER les dates de livraison, les stocks et l'utilisation des ressources

REAGIR en gérant les aléas (mode perturbé)

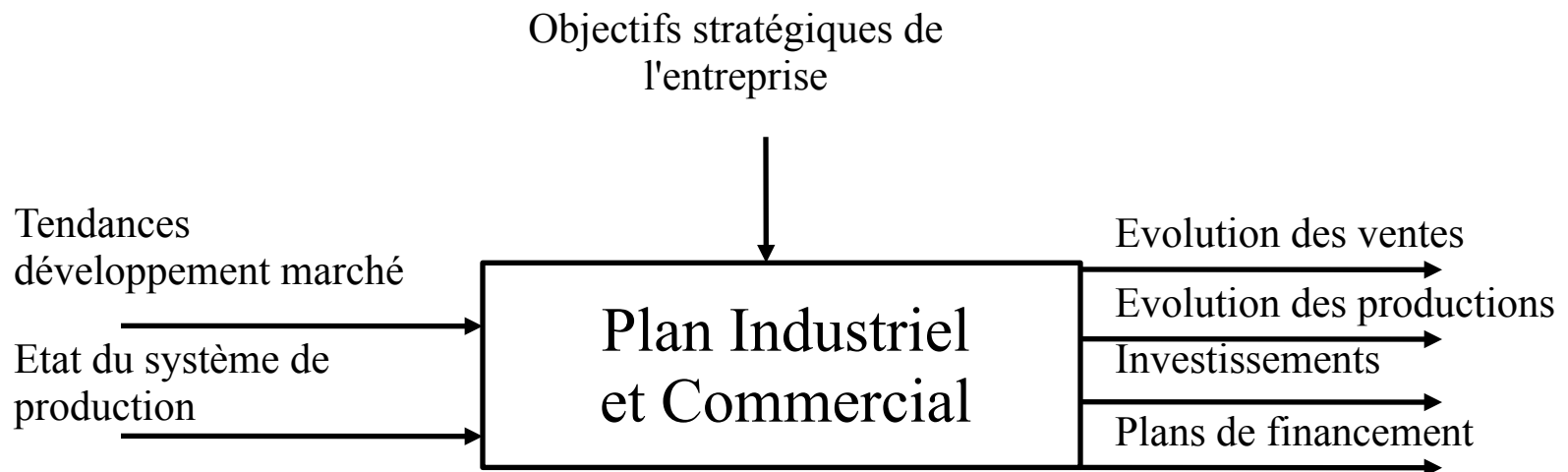
# 6 niveaux de planification

- Plan Industriel et Commercial (PIC)
- Plan Directeur de Production (PDP)
- Calcul des Besoins Nets (CBN)
- Plan de Charge
- Ordonnancement
- Lancement / suivi de la fabrication

# Plan Industriel et Commercial

- Plan à Long Terme (forte incertitude)
- Décisions au plus haut niveau hiérarchique
- Planification des investissements nécessaires
- Planification des financements
- Horizon : 3 à 5 ans
- Période : 1 an
- Finesse des données : famille de produit, usine

# Plan Industriel et Commercial (2)

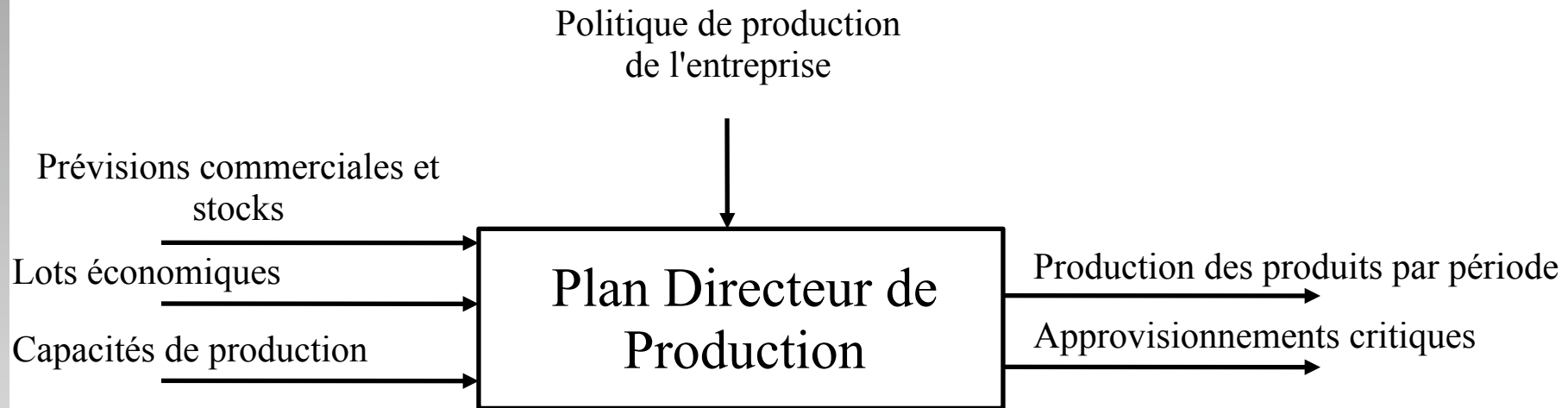


# Plan Directeur de Production (PDP)

- "Master Production Schedule"
- Lien entre PIC et plan de charge
- Définit la production à réaliser par période
- Définit les approvisionnements critiques
- Horizon : 1 à 2 ans (supérieur au cycle appro. + cycle fab. + cycle livraison)
- Période : 1 à 3 mois
- Finesse des données : produits, centres de charge



# Plan Directeur de Production (2)

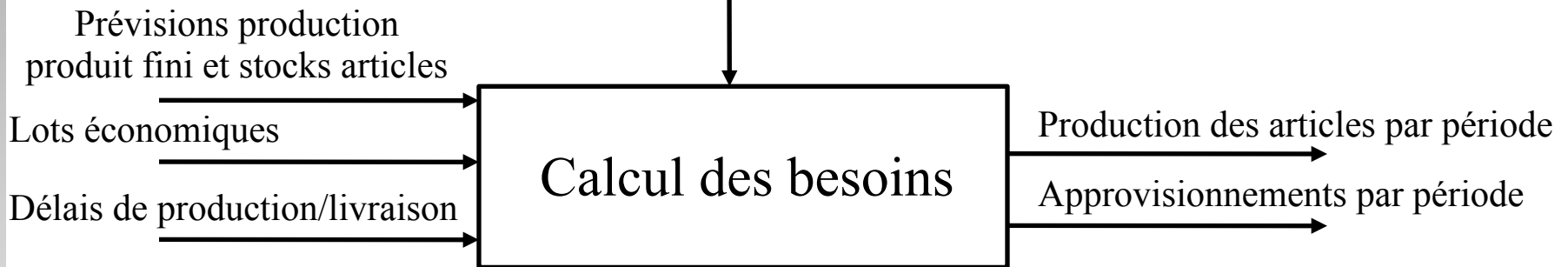


# Calcul des Besoins

- Principe de base du MRP (et MRP2)
- Définit les dates et quantités d'approvisionnement de tous les articles (besoins dépendants) pour couvrir les besoins en produits (besoins indépendants)
- Horizon : 1 à 3 mois
- Période : 1 à 5 jours
- Finesse des données : articles, moyens de production

# Calcul des Besoins (2)

Nomenclatures



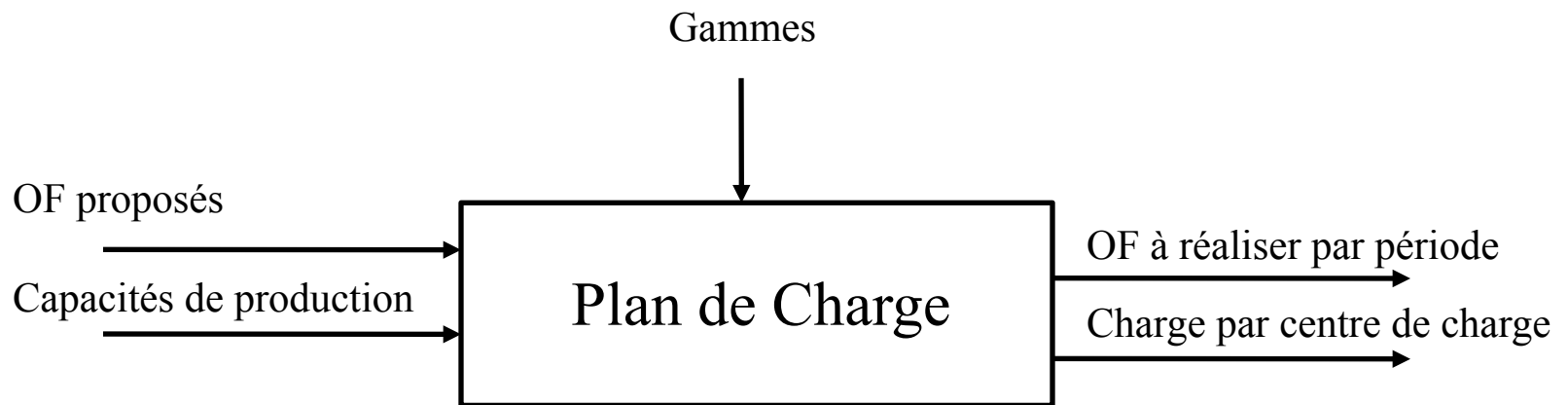
# Mécanisme du Calcul des Besoins

- Pour chaque produit  
En descendant dans la nomenclature  
Pour chaque article  
Regrouper les Besoins Bruts issus de différents produits  
$$\text{Besoin Net (P)} = \text{Besoin Brut (P)} - \text{Stock (P-1)}$$
$$\text{Début OF} = \text{Période B Net} - \text{Délai de production}$$
Quantité à produire dépend des lots de production

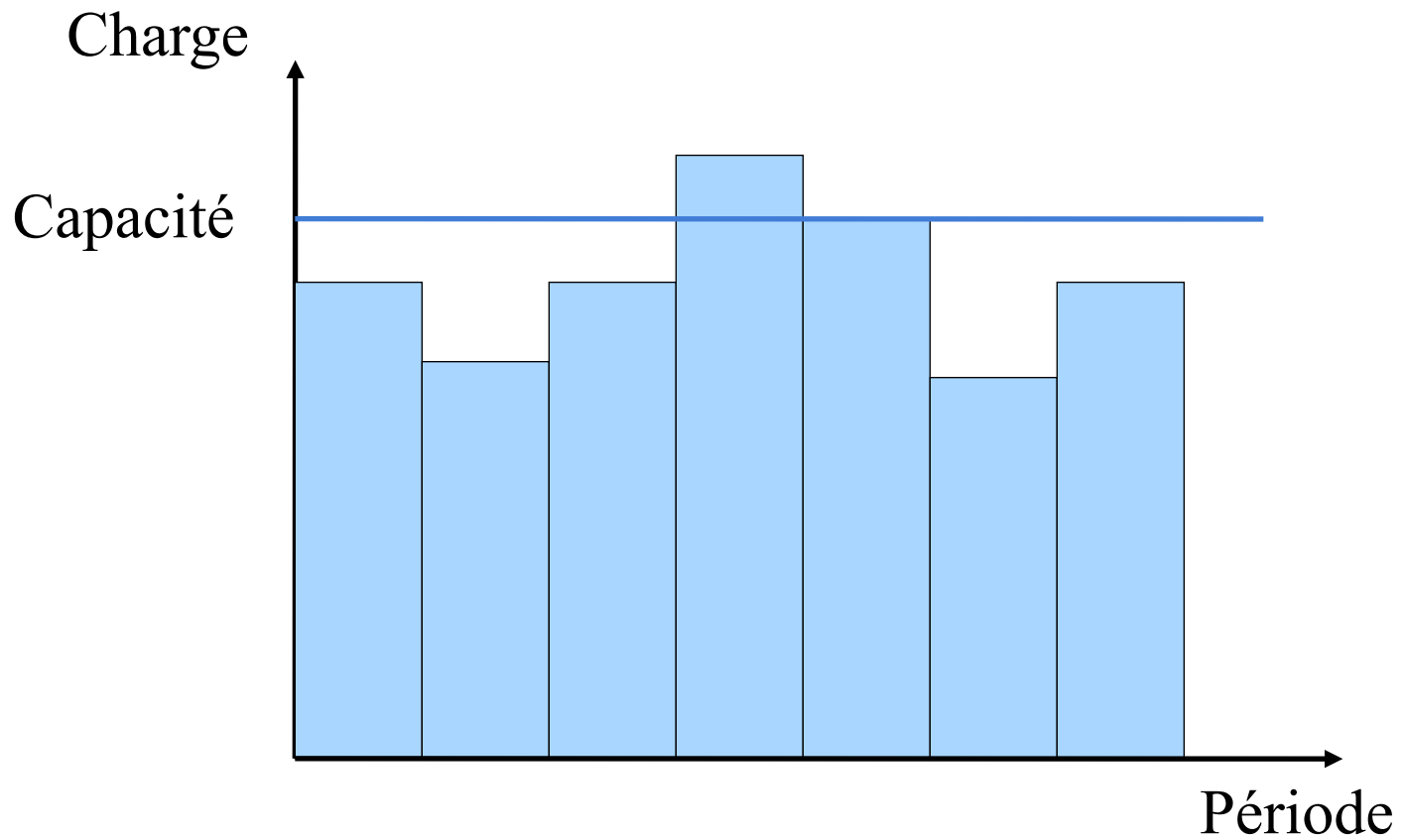
# Plan de Charge

- Définit les charges dépendant des OF prévus par le Calcul des Besoins
- Comparaison de la charge à la capacité
- Définit les actions à réaliser pour satisfaire les délais et les contraintes de production
- Horizon : 1 à 6 mois
- Période : 1 semaine à 1 mois
- Finesse des données : article, centre de charge

# Plan de Charge (2)



# Plan de Charge (3)



# Equilibre charge / capacité

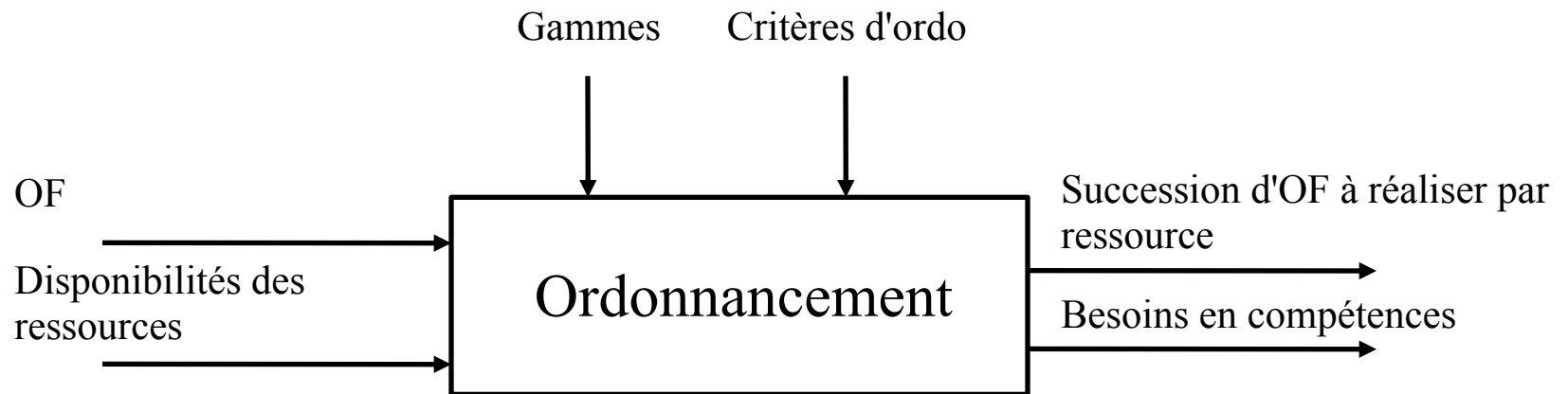
- MRP2 intègre la contrainte de capacité (pas MRP)
- Pour équilibrer charge et capacité
  - Variation de capacité : heures supplémentaires, chômage partiel, nombre d'équipes, intérimaires, investissements machines
  - Variation de charge : anticipation de charge, retard de livraison négocié, sous-traitance, utilisation de gammes de substitution



# Ordonnancement

- Définit l'ordre dans lequel les Ordres de Fabrication doivent se succéder sur chaque poste de travail
- Horizon : 1 mois
- Période : de 1 minute à jour
- Finesse des données : le plus précis possible (opération, temps de changement de production, ...)

# Ordonnancement (2)



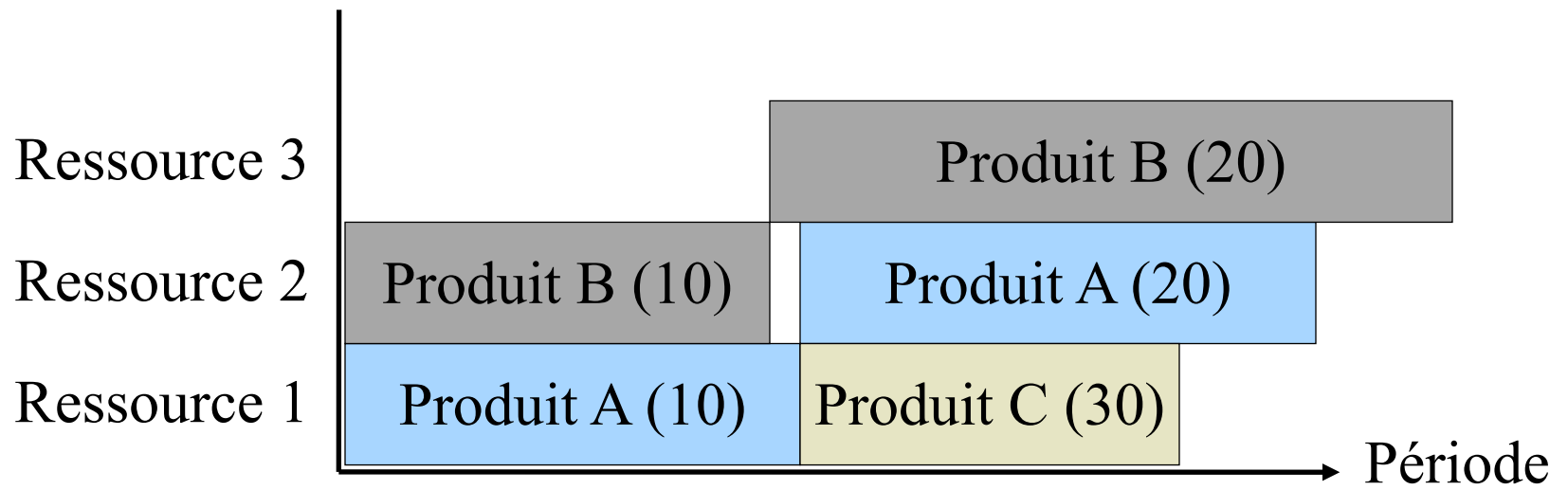


# Difficultés liées à l'ordonnancement

- Combinatoire élevée (beaucoup de produits, beaucoup d'opérations, beaucoup de ressources)
- La solution optimale est difficile à obtenir dans un délai raisonnable
- La solution optimale est difficile à appliquer par le caractère dynamique de la production (aléas bouleversant la production)

# Diagramme de Gantt

- Représentation des opérations et des ressources par des bâtonnets proportionnels au temps d'occupation de la ressource par une opération.



# Histoire Diagramme de Gantt

- Développés en 1910 par Henry Laurence Gantt (1861-1919)
- Ingénieur en Mécanique et consultant en management. Il a travaillé avec Frederick W. Taylor pour des aciéries dans les années 1880.
- Les diagrammes de Gant (« Gantt charts ») ont été utilisés pour les plus grands projets (barrage Hoover ).



# Lancement / suivi de la fabrication

- Interface entre la planification et la production
- Prépare le dossier de lancement
  - demande d'approvisionnement (articles achetés)
  - demande de fabrication (articles fabriqués) : OF, gamme opératoire, bons de travaux (1 par opération), fiche suiveuse, bons de sortie matière et outillages
- Suit la production
  - transmission de l'information de fin de chaque opération



# MRP/MRP2

# Définitions

- MRP : Material Requirements Planning  
USA, 1965  
Définit un programme de production sur la base des nomenclatures sans prendre en compte les capacités des moyens de production (capacité infinie)
- MRP2 : Manufacturing Resources Planning  
Complète MRP en prenant en compte la limite de capacité des ressources (capacité finie).  
Ajuste la charge en fonction des capacités (bouclage du plan de charge)



# Limites de la gestion des stocks

- Gestion des stocks

Définit les quantités à stocker par compromis entre coût de détention et coût d'acquisition

Hypothèses : régularité demande,  
**indépendance** des produits gérés

- Exemple

un produit est formé de 12 composants gérés en gestion des stocks avec un risque de rupture de 5%.

Probabilité que les 12 composants soient disponibles en même temps  $0,95^{12} = 0,54$

# Besoins indépendants / dépendants

- Besoins indépendants (ou externes)  
exprimés par clients (produits finis, rechange)  
demande régulière, traitement statistique
- Besoins dépendants (ou internes)  
sous le contrôle de l'entreprise  
calculables à partir des besoins indépendants  
par décomposition arborescente des produits  
finis en composants. Les besoins en articles  
(composants) sont des besoins dépendants.  
Pas de consommation régulière, pas de  
Traitement statistique

# Principe du MRP

- Les besoins dépendants doivent être définis à partir des besoins indépendants !
- Les besoins en composants et articles doivent être calculés à partir des besoins en produits finis !
- Le calcul des besoins (dépendants à partir des besoins indépendants) est la base du MRP (donc de MRP2) !



# Conditions préalables au Calcul des Besoins

- Existence d'un Plan Directeur de Production
- Existence de nomenclatures
- Etats des stocks
- Délais d'obtention

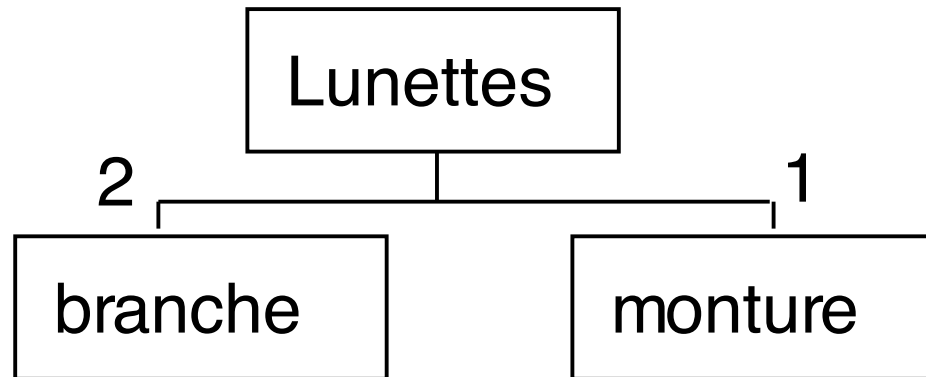
# PDP

- Définit la programmation de la production des produits finis pour faire face à une demande ferme et prévisionnelle (transmise par les commerciaux)
- Le résultat du PDP est utilisé comme donnée d'entrée au calcul des besoins pour définir les besoins nets jalonnés des articles

# Calcul des Besoins

- Pour chaque produit  
En descendant dans la nomenclature  
Pour chaque article  
Regrouper les Besoins Bruts issus de différents produits  
$$\text{Besoin Net (P)} = \text{Besoin Brut (P)} - \text{Stock (P-1)}$$
$$\text{Début OF} = \text{Période B Net} - \text{Délai de production}$$
Quantité à produire dépend des lots de production

# Calcul des Besoins (exemple)



- **Données**

délai d'assemblage 1 période

délai de réalisation des branches : 2 périodes

lot de production lunettes : 100

lot de production branches : 200

# Calcul des Besoins (exemple 2)

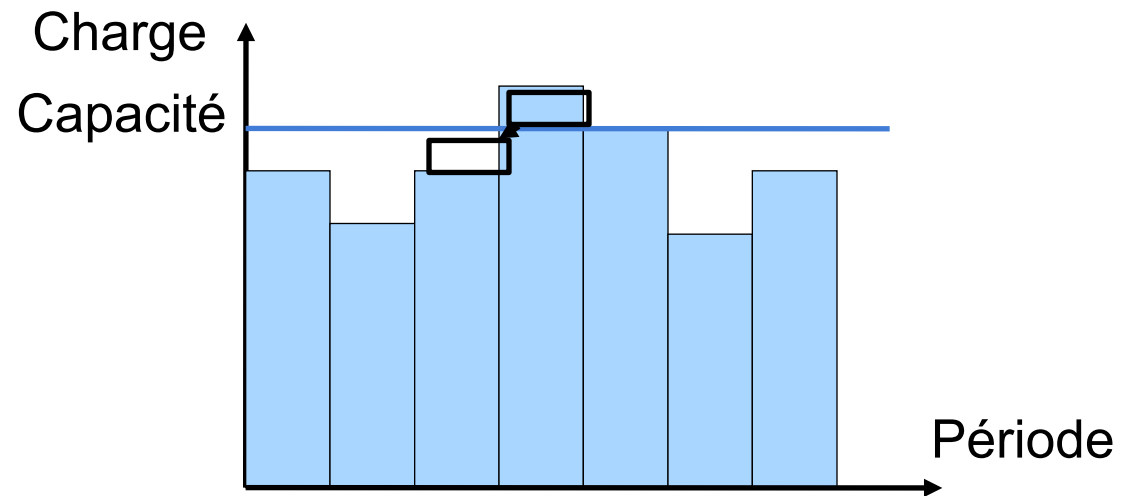
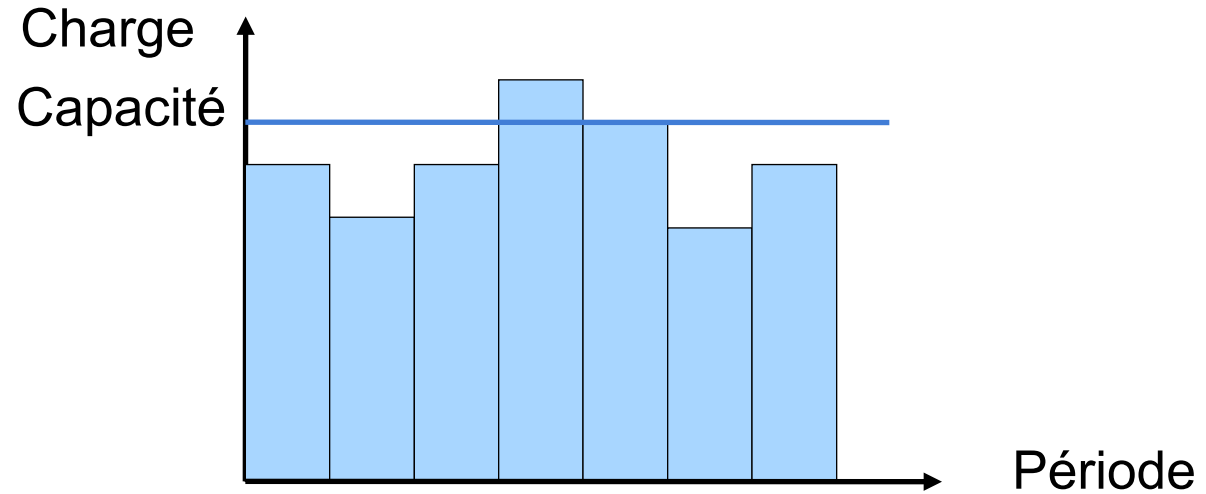
période	0	1	2	3	4	5	6
PDP lunettes		100	100	100	200	100	200
En-cours et stocks lunettes	200	100	0	0	0	0	0
Besoins nets lunettes		(-100) 0	0	100	200	100	200
Ordres de lancement lunettes		0	100	200	100	200	
Besoins bruts branches		0	200	400	200	400	
En-cours et stock branche	100	100	100	100	100	100	
Besoins nets branches			100	300	100	300	
Ordres lancement branches	200	400	200	400			



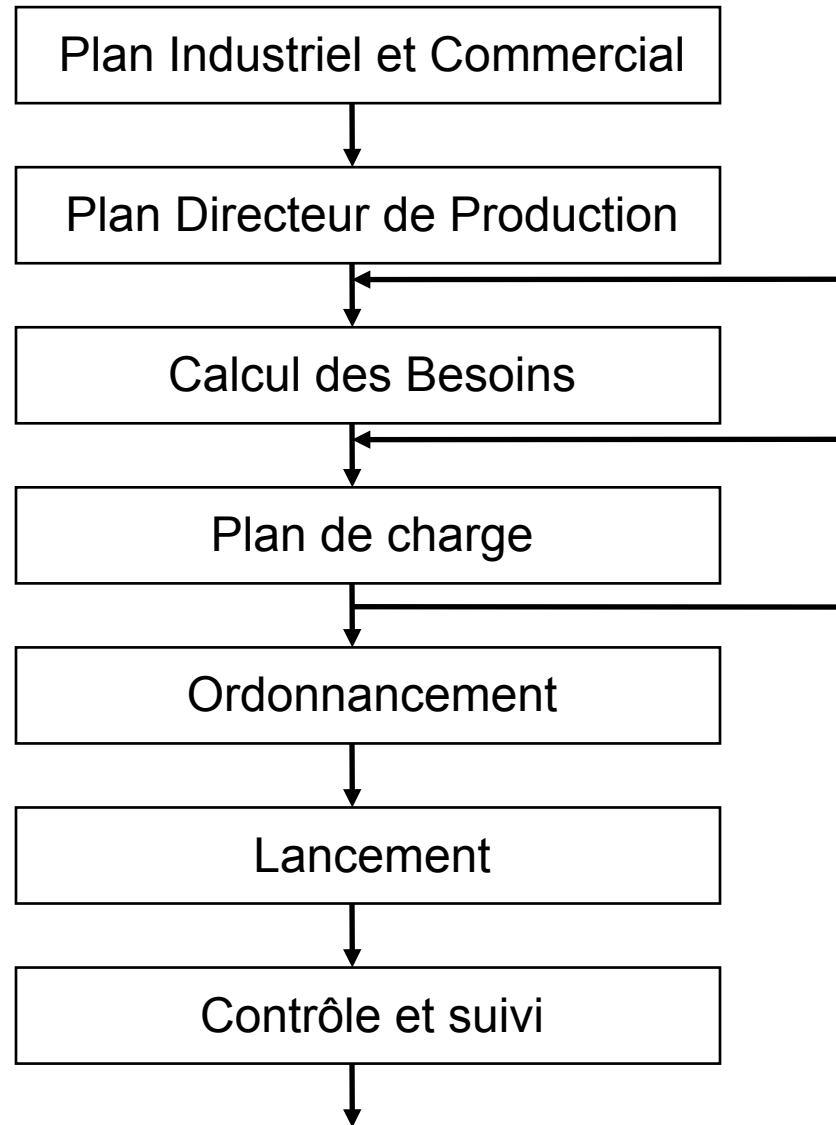
# Plan de Charge

- Définit la charge par période et par ressource
- Un plan de charge peut être réalisé à tout moment à différents niveaux de détail pour les ressources (entreprise, usine, centre de charge, ressource) et les périodes (année, mois, jour)
- Le plan de charge peut être lissé (MRP2) suivant les capacités et en intégrant les priorités des produits

# Lissage du plan de charge



# Principe du MRP2

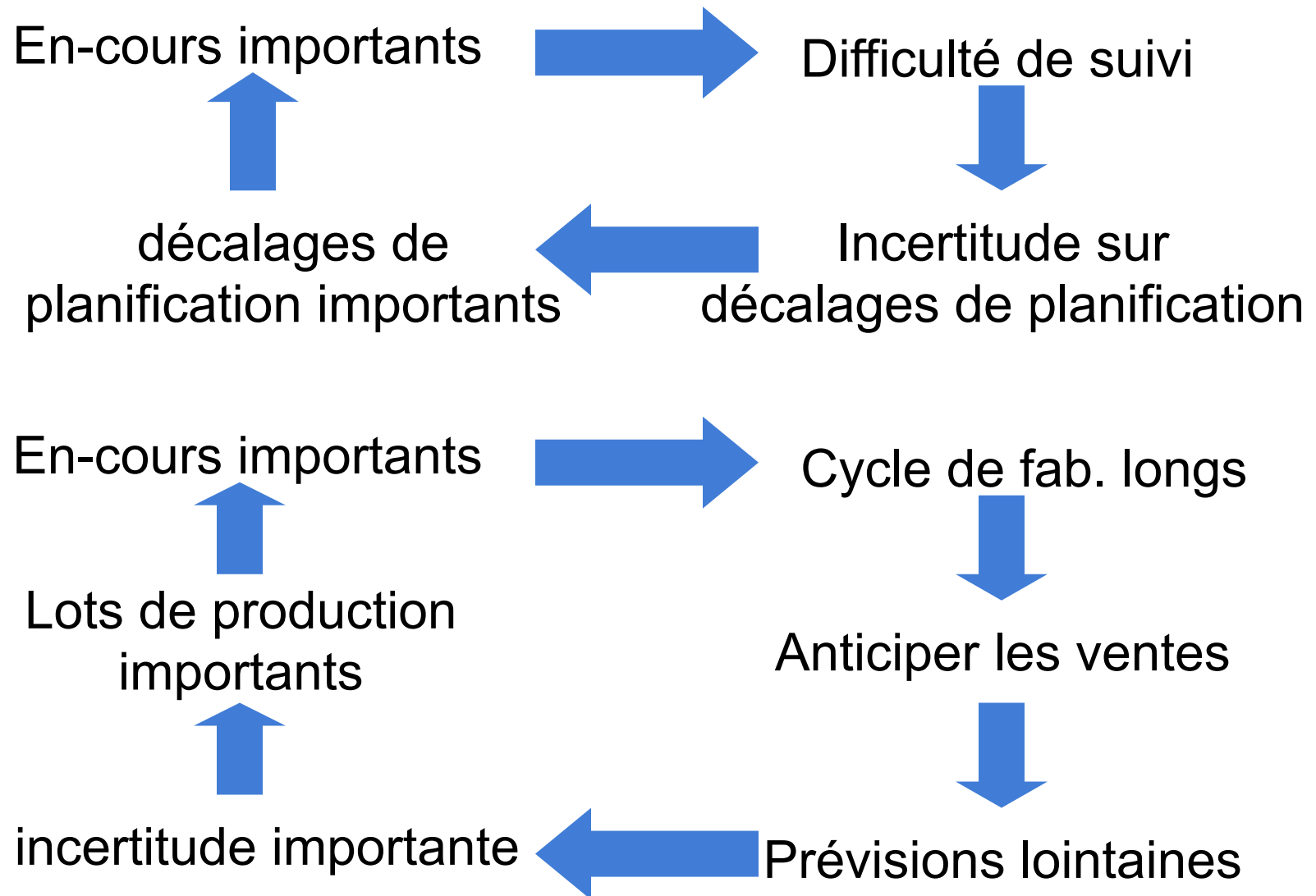




# Difficultés dans la mise en œuvre

- Beaucoup de données à traiter
  - Difficulté de mise à jour
  - Informatisation (souvent) nécessaire
    - Progiciels lourds et coûteux (SAP/R3 (ERP)...  
300 keuros)
- Mauvaises performances en court terme
- Déviation courante : utilisation maximale des machines

# Cercles pervers



# Progresser ?

- La comptabilité valorise peu  
la diminution des stocks et encours  
la diminution des cycles de production
- Pourtant, cycle de production maîtrisé et court, et peu de stock  
gain de trésorerie  
nouveaux marchés possibles

# Conclusion MRP/MRP2

- Méthode de gestion de production pour de nombreux produits avec de nombreux articles
- Principe du calcul des besoins en articles à partir des besoins en produits finis
- Capacité infinie en MRP, capacité finie en MRP2
- Nécessite des données techniques et commerciales fiables

# Conclusion MRP/MRP2 (2)

- Informatisation (GPAO, ERP) pour gestion moyen terme
- Simplifier le problème à gérer (concepts du Juste A Temps : MRP délais courts, lean manufacturing)
  - familles d'articles
  - lignes et îlots de production
  - diminution des lots de production et de transport (maîtrise des procédés et des temps inter-opérateurs) : maintenance préventive, SMED, 5S, ...





# Ordonnancement

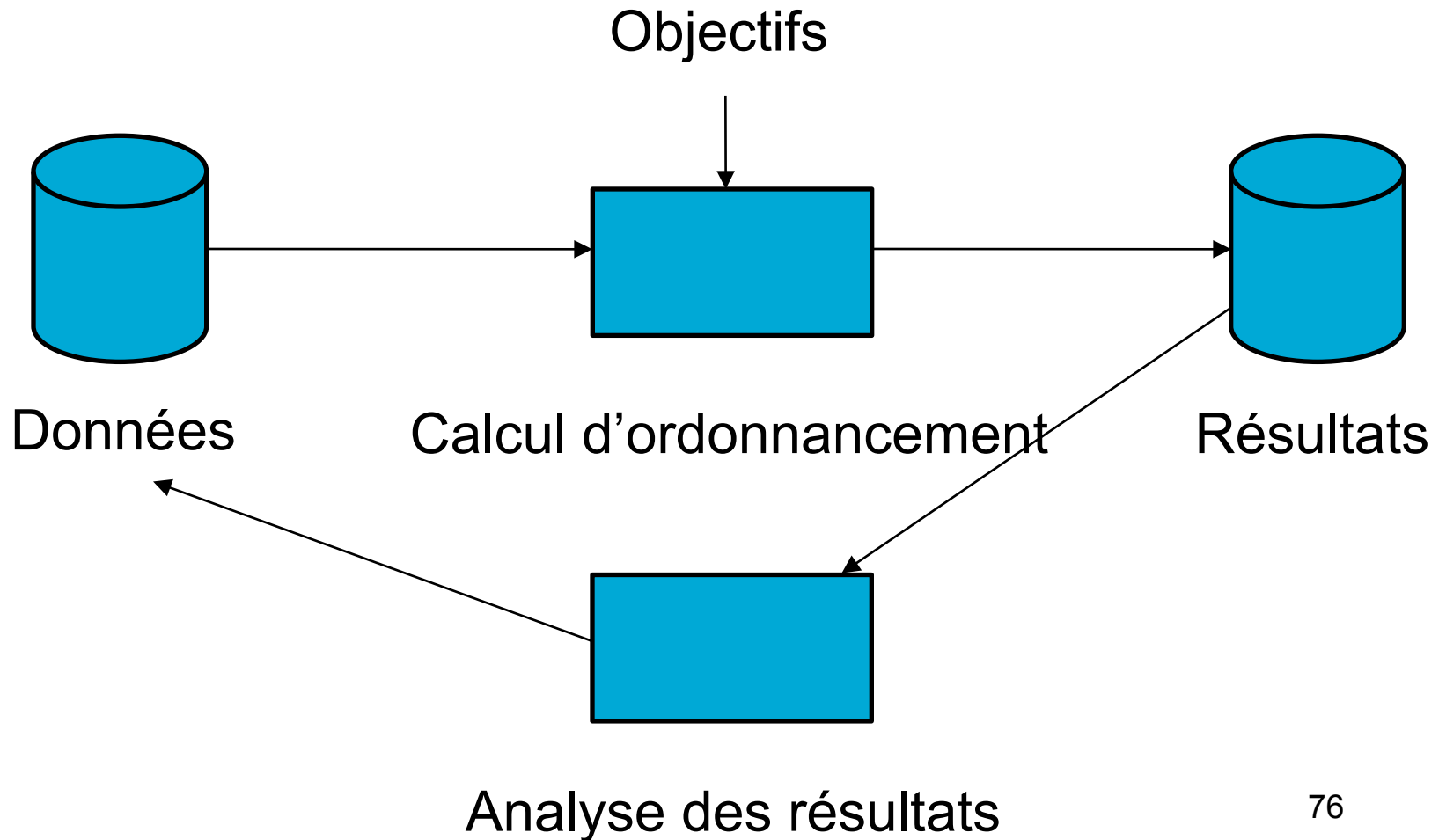
# Objectif

- Définir l'ordre dans lequel les Ordres de Fabrication doivent se succéder sur chaque poste de travail
- Horizon : 1 mois
- Période : de 1 minute à jour
- Finesse des données : le plus précis possible (opération, temps de changement de production, ...)

# Ordonnancer

- Affecter les opérations aux ressources (si plusieurs sont utilisables pour la même opération)
- Séquencer les opérations sur une ressource (déterminer l'ordre de passage des opérations)
- Déterminer la date d'exécution des opérations

# Utilisation d'un logiciel d'ordonnancement



# Évaluation du résultat

- Durée totale de l'ordonnancement  
« makespan »
  - Date d'achèvement de la tâche la plus tardive
- Retard « Tardiness »
  - Retard vrai
  - Retard algébrique
  - Somme des retards pondérés
- Minimisation d'un coût

# Méthodes d'ordonnancement prévisionnel

- Contraintes potentielles  
Respect des contraintes temporelles  
Exemple :  $t_j - t_i > d_{ij}$  entre le début de la tâche j et le début de tâche i il doit y avoir un délai  $d_{ij}$ .
- Contraintes disjonctives  
2 tâches ne peuvent pas utiliser la même machine au même moment
- Contraintes cumulatives  
Les moyens sont limités mais peuvent être utilisés simultanément par plusieurs tâches  
Exemple : une puissance électrique maximale

# Méthodes exactes

- Issues de la recherche opérationnelle
- Sauf cas particuliers (1 ou 2 machines), la résolution optimale nécessite l'exploration de toutes les solutions.
- Dans les logiciels, l'exploration de toutes les solutions n'est pas compatible avec les temps de calcul.  
D'où l'utilisation d'heuristiques.

# Algorithme de Johnson

(2 tâches sur M1 puis sur M2, 2 machines)

1. Trouver la tâche  $i$  de la liste dont le temps d'exécution est minimal quelle que soit la machine (M1 ou M2)
2. Si la tâche  $i$  doit être exécutée sur la machine M1, on lui attribue la première position libre  
Si la tâche  $i$  doit être exécutée sur la machine M2, on lui attribue la dernière position libre
3. Si tous les produits ont été traités : fin  
Sinon : enlever le produit traité de la liste et repartir en 1



# Algorithme de Johnson généralisé (même séquence de machines)

- Pour chaque produit
  - Calculer  $S$  = somme de la durée des tâches
  - Calculer  $x = S -$  durée de la dernière tâche
  - Calculer  $y = S -$  durée de la première tâche
  - Calculer  $k = x / y$
  - L'ordre de fabrication des produits est donné par l'ordre croissant de  $k$

# Temps inter-opérateur

- Le temps inter-opérateur intègre :
  - Temps de transit vers le poste suivant
  - Temps de validation de l'information de la fin de tâche précédente
  - Temps de décision et de transmission de lancement de la tâche suivante
  - Temps de réglage
- Ce temps n'est pas toujours indépendant des tâches amont et aval (matrice)
  - Exemple : peinture, pharmacie, agro-alimentaire

# Méthodes heuristiques

- Méthodes de placement
- Méthodes de simulation des files d'attente (priorités)
- Utilisées pour réduire le temps de traitement nécessaire pour méthodes exactes

# Ordonnancement et réactivité

- La situation de l'atelier est dynamique (pannes machines, urgence d'une commande, ...)
- La gestion de l'atelier doit réagir à cette dynamique sans aller vers le chaos
- L'ordonnancement réactif doit donc intégrer la fois un suivi temps réel de l'état de l'atelier et des commandes mais aussi être rapide dans ses traitements afin de modifier (éventuellement) l'ordonnancement prévu.

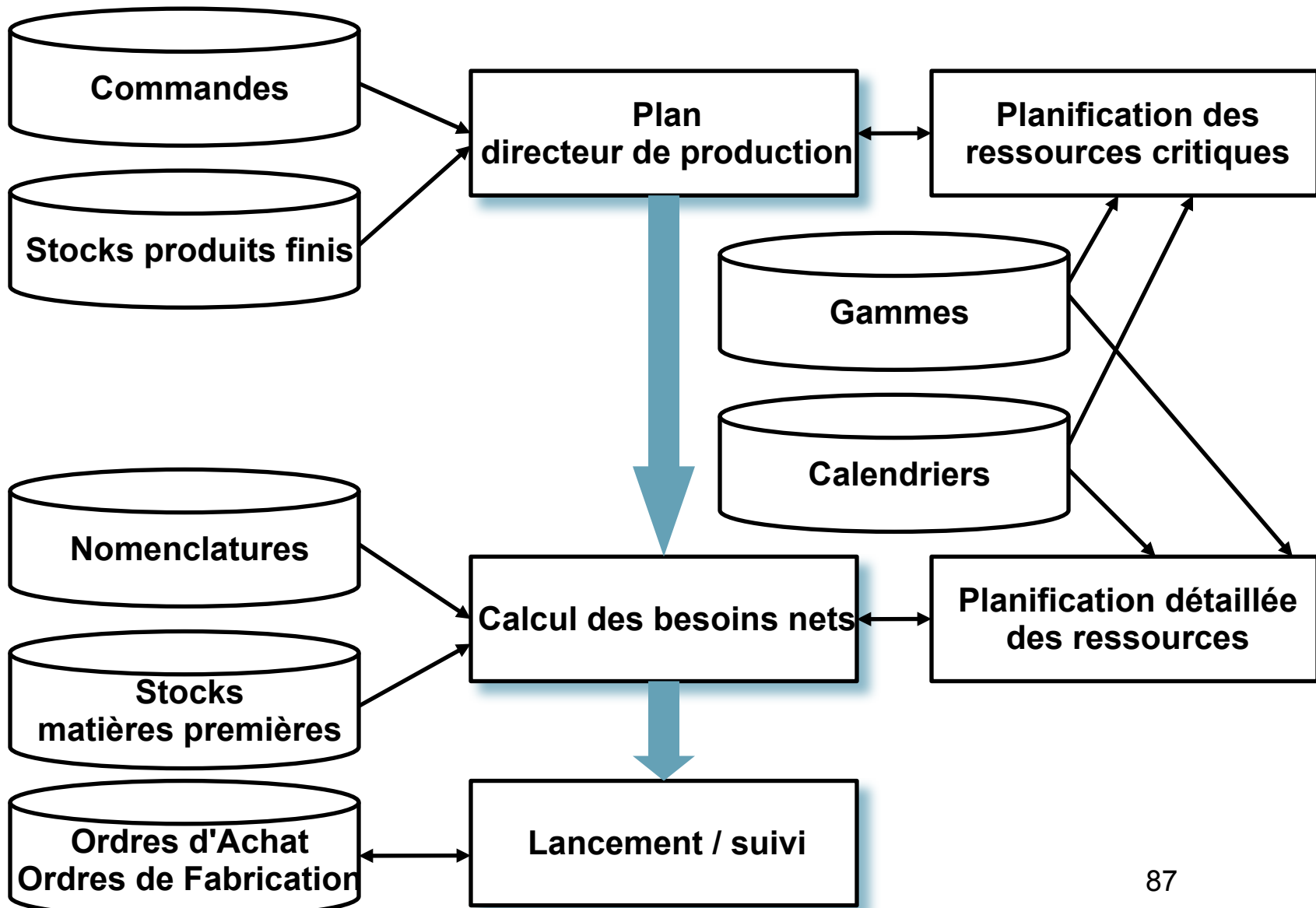


# Données Techniques, GPAO et ERP

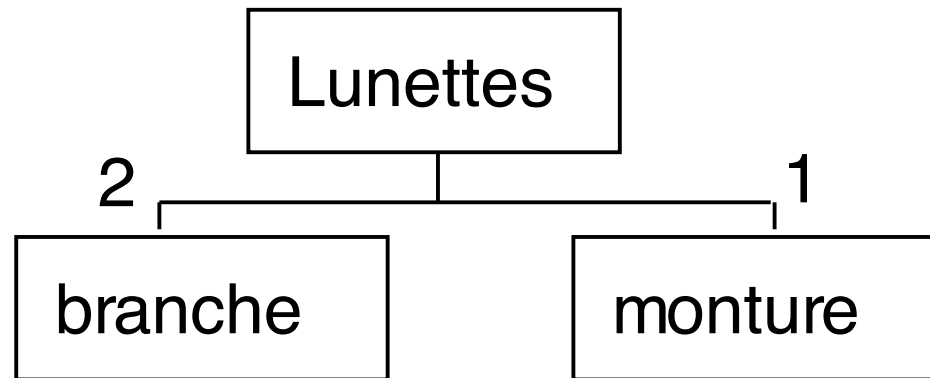
# Les données

- La gestion de production nécessite de nombreuses données : commerciales et techniques
- Données commerciales
  - évolution du marché, liste des clients, liste des fournisseurs, planning des commandes
- Données techniques
  - fichier descriptif des articles, état des stocks, nomenclatures, description des ressources, gammes de fabrication, calendriers

# Données et GPAO



# Nomenclatures



- Base de la décomposition du produit fini en articles.
- Difficultés  
mise à jour  
variantes



# Etat des stocks

- Les stocks permettent de définir ce qu'il faut réellement produire à partir des besoins (calcul des besoins nets à partir des besoins bruts)
- Difficultés
  - inventaire (périodicité ? Précision ?)
  - gérer ce qui est indispensable (pas tout !)
  - informatiser la gestion des stocks ?

# Délais d'obtentions

- Délais d'obtentions nécessaires pour jalonnement (anticipation)
- Délais d'obtention  
temps opératoires + temps inter-opératoires (attentes + transit) + temps de traitement administratif + délai sécurité  
Temps attente = 80% délai obtention en production discrète

# Gammes de fabrication

- Définit l'enchaînement des opérations pour obtenir le produit fini à partir des composants et articles.
- Permet le calcul des charges par ressource
- Difficultés
  - Mise à jour des gammes
  - Cohérence entre les gammes prévues (Bureau des Méthodes) et les gammes réelles (Production)

# Capacités de production

- Définit la charge limite par période des ressources
- Les capacités sont essentielles pour MRP2
- Difficultés
  - intégration de la disponibilité réelle des ressources (RT : pannes, maintenance préventive, amélioration ; RH : absences, formations, ...)

# Priorités sur les produits

- Définit l'importance relative des produits
- La priorité peut être fixe (client important, matière de valeur, ...) ou dynamique (date de livraison, marge libre, ...)
- La priorité peut être utilisée pour l'ordonnancement et pour l'ajustement du plan de charge (en MRP2)

# Informatisation de la gestion de production (apports)

- L'informatique permet des calculs performants, une mémorisation des informations et offre une aide à la décision.
  - historique des pannes, historique des délais , historique des charges
  - calcul rapide des besoins nets jalonnés
  - calcul du plan de charge (lissé)
  - calcul et simulation de l'ordonnancement
  - aide à la décision pour le plan de charge
  - aide à la décision pour l'ordonnancement

# Informatisation de la gestion de production (démarche)

- La démarche d'implantation d'un logiciel de GPAO doit permettre d'utiliser efficacement le logiciel.

Analyse de l'existant

Expression des besoins

Développement interne ou achat ?

Test des logiciels, Jeu d'essai

Décision

Information, formation

Développement, implantation

Difficultés d'implantation

# Analyse de l'existant

- Objectifs

identifier comment se gère la production

identifier les anomalies (flux physiques, informations, décisions)

- Méthodes

analyse fonctionnelle, analyse des flux, analyse des décisions (IDEF, GRAI, ...)

recours à un conseil extérieur



# Expression des besoins

- Objectifs
  - définir le cahier des charges
- Résultats
  - objectifs (niveau de performance désiré)
  - conditions de maintenance
  - évolution du produit
  - relation entre le produit et les autres  
(comptabilité par exemple)

# Développement interne ou achat ?

- Objectifs

décider l'achat d'un progiciel ou le développement d'un logiciel

- Comparaison

	Progiciel	Logiciel
Adaptation au besoin	=	+ ?
Modification organisation	+?	= ?
Délai de livraison	+	-
Prix	+	-
Maintenance	+	-
Evolution	+	-

# Test des logiciels et jeu d'essai

- Objectifs

valider l'adéquation de la solution à l'entreprise

- Méthode

le jeu d'essai doit être représentatif de l'entreprise (type de gamme, de ressources, de produits ...) et des volumes d'information à traiter

le test doit permettre de valider le progiciel par rapport aux attentes

# Choix

- Objectifs

retenir la solution (1 progiciel parmi une liste) ou valider un logiciel

- Méthode

l'ensemble des personnes concernées doit être consulté :

utilisateurs, direction, service informatique, service formation, ...

# Information, formation

- Objectifs

impliquer chacun dans le projet

ne pas laisser se créer une différence entre les "initiés" et les autres

- Méthode

information dès le début de l'ensemble du personnel

formation aux concepts de gestion de production au logiciel et éventuellement aux méthodes d'analyse

# Développement, implantation

- Objectifs

préparer les données pour faciliter leur saisie

- Méthode

mettre en place la nouvelle organisation avant l'informatisation (séparer les pb d'organisation des pb informatiques)

mettre en place d'abord une application simple et rendant le maximum de service aux utilisateurs

# Difficultés d'implantation

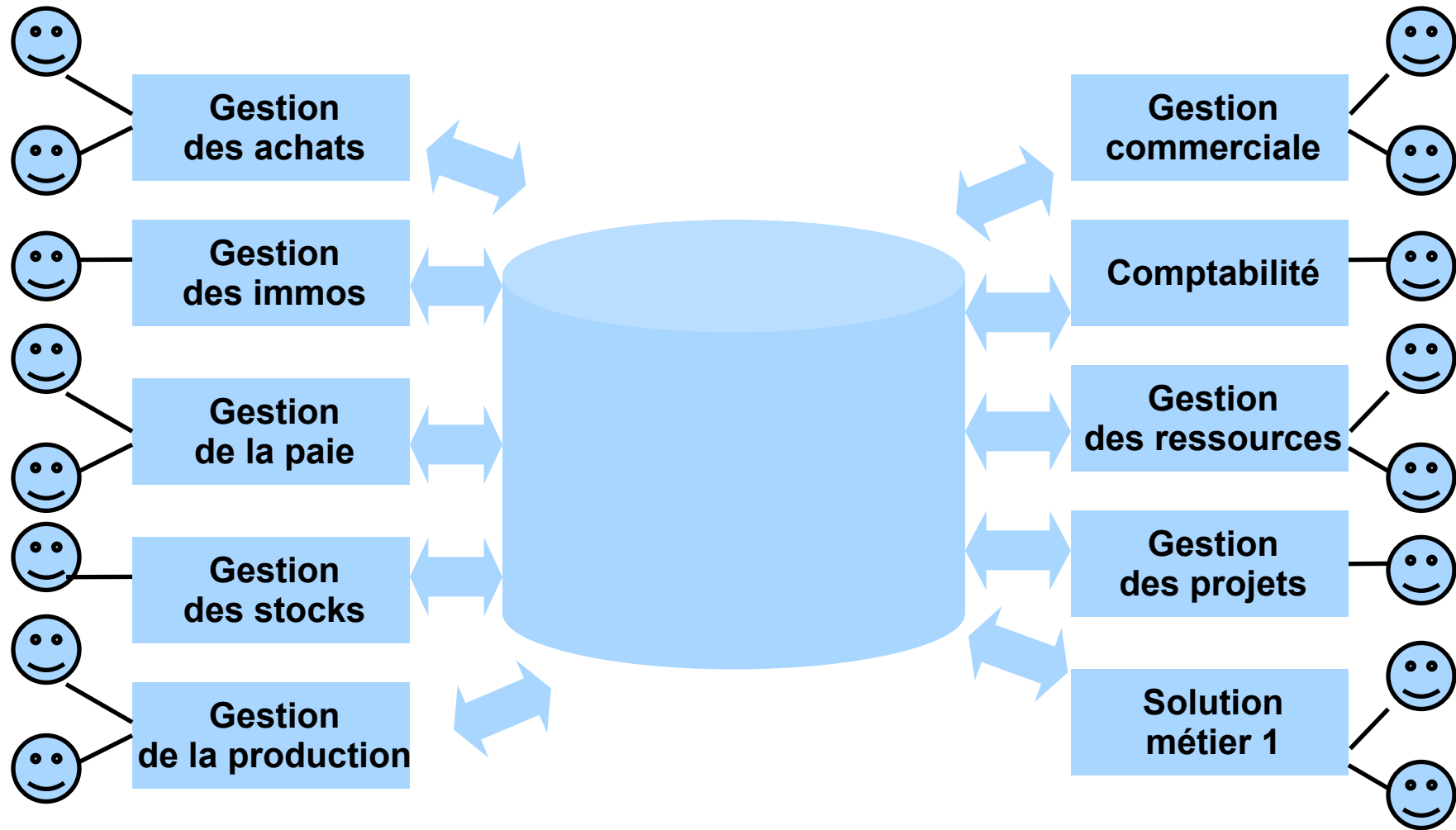
- Problèmes humains
  - peur de l'informatique
  - remise en cause des rôles et des "pouvoirs" sur l'information
  - obligation de clarifier les responsabilités
- Problèmes de délais
  - retard de mise en place donc risque de démotivation
- Problèmes de données
  - Attention au temps de saisie et de mise à jour !

# ERP : Enterprise Resource Planning

- Système intégrant les différentes applications spécifiques séparées
- Coût élevé : plusieurs millions d'Euros
- Caractéristiques
  - base de données unique (saisie unique)
  - interface utilisateur unique
  - uniformité des règles de gestion
  - outils d'analyse (Executive Information Systems, reporting)



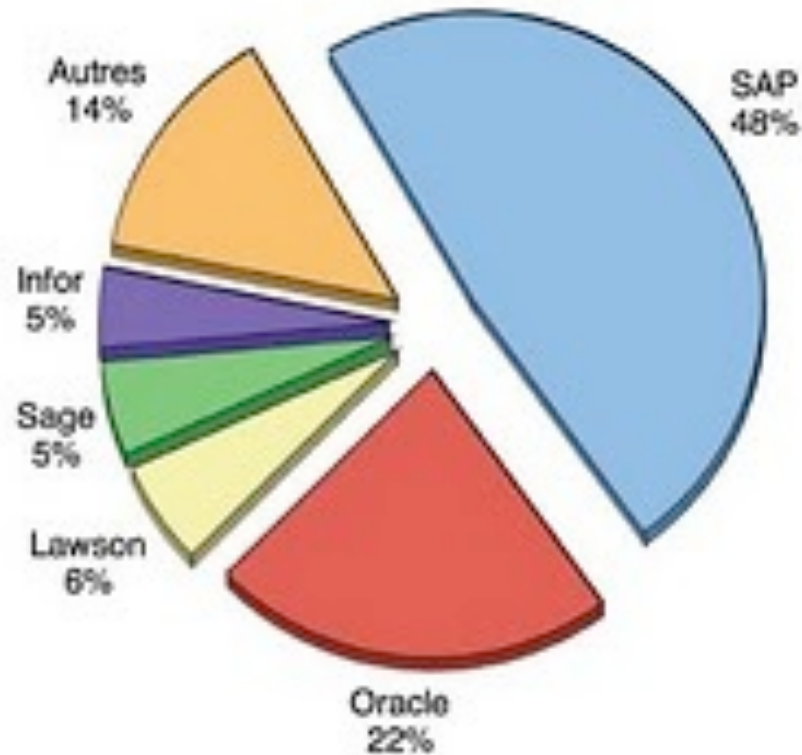
# Structure d'un ERP



# Principaux progiciels dont ERP (PGI)

- ERP Généralistes  
(SAP) R/3, (Oracle) People soft incluant JD  
edwards, (SAGE) ERP X3, (Microsoft)  
Dynamics
- Ordonnancement  
Ortems
- Simulation de flux  
(Serete Industries) Witness, (Log'in) Cadence,  
Arena

# Marché des ERP



**Top 5 des fournisseurs de produits ERP en 2006 (sur la base des CA réalisés grâce aux Produits : Licences et Maintenance & Support)**

# SAP R/3 : le plus diffusé

- Modules

- Module SD (Sales and Distribution)
- Module MM (Materials Management)
- Module PP (Production Planning)
- Module QM (Quality Management)
- Module PM (Plant Maintenance)
- Module HR (Human Resources)
- Module FI (Finance)
- Module CO (contrôle de gestion)
- Module AM (immobilisations)
- Module PS (gestion de projets)
- Module WF (Workflow)
- Module IS (solutions métier)

# Gestion commerciale

- Module SD (Sales and Distribution)
  - gestion des prospects et clients
  - prévisions moyen et court termes
  - saisie des commandes
  - détermination des prix
  - facturation
  - détermination de la disponibilité à la vente (en  
conjonction avec modules achat et production)
  - planification des transports

# Gestion des achats et des stocks

- Module MM (Materials Management)
  - suivi des stocks (valeur, quantité)
  - définition des demandes d'achats
  - suivi des produits finis (en lien avec la gestion commerciale)
  - gestion des achats (comparaison de fournisseurs)
  - gestion des magasins

# Gestion de la production

- Module PP (Production Planning)
  - Plan Industriel et Commercial
  - Plan Directeur de Production
  - Calcul des Besoins (MRP)
  - Plan de charge
  - Gestion des flux (OF, Kanban, ...)

# Gestion de la qualité

- Module QM (Quality Management)
  - Réception fournisseurs
  - Incidents qualité
  - Rebuts
  - Réclamation clients
  - Suivi de la conformité
  - SPC et carte de contrôle



# Gestion de la maintenance

- Module PM (Plant Maintenance)
  - Description des ressources techniques
  - Suivi des réparations (coûts)
  - Planification de la maintenance préventive

# Gestion des données techniques

- Gestion des articles, des nomenclatures, des gammes et de postes de charge

Chaque article est référencé et géré (description, règles de gestion, données comptables).

Les nomenclatures font les liens entre articles (composant / composé).

Les postes de charges sont des ensembles de ressources permettant de réaliser les mêmes opérations (mêmes coûts).



# Gestion des stocks

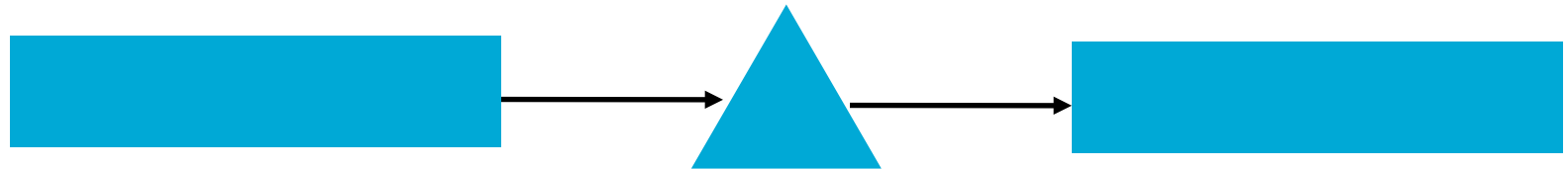
# Utilité et natures des stocks

- Utilité

faire face à une différence entre la cadence de consommation et la cadence de production (anticipation de la production)

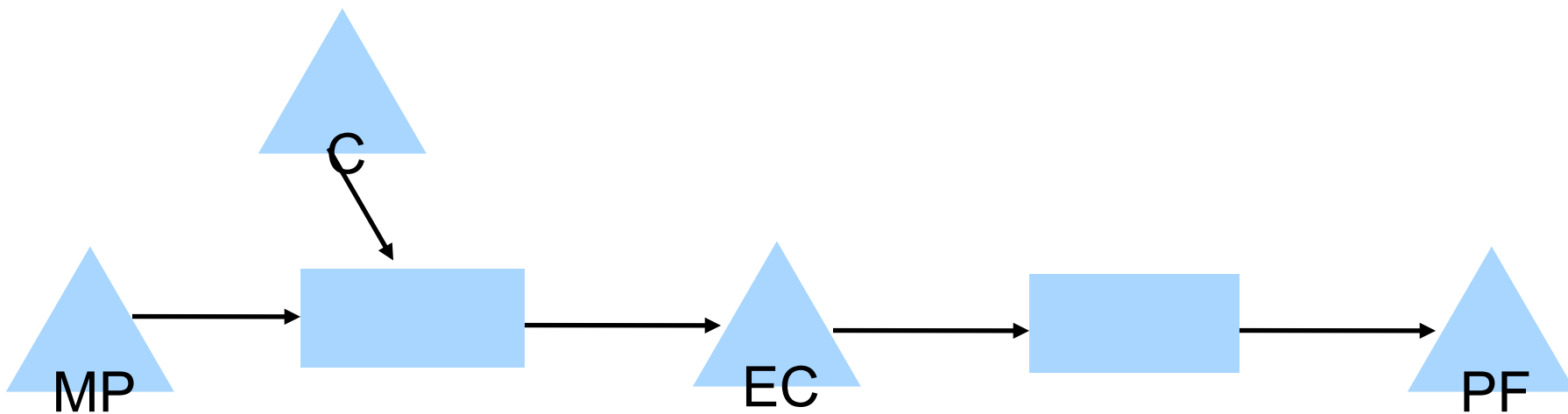


de protection face aux incertitudes  
de découplage entre les opérations



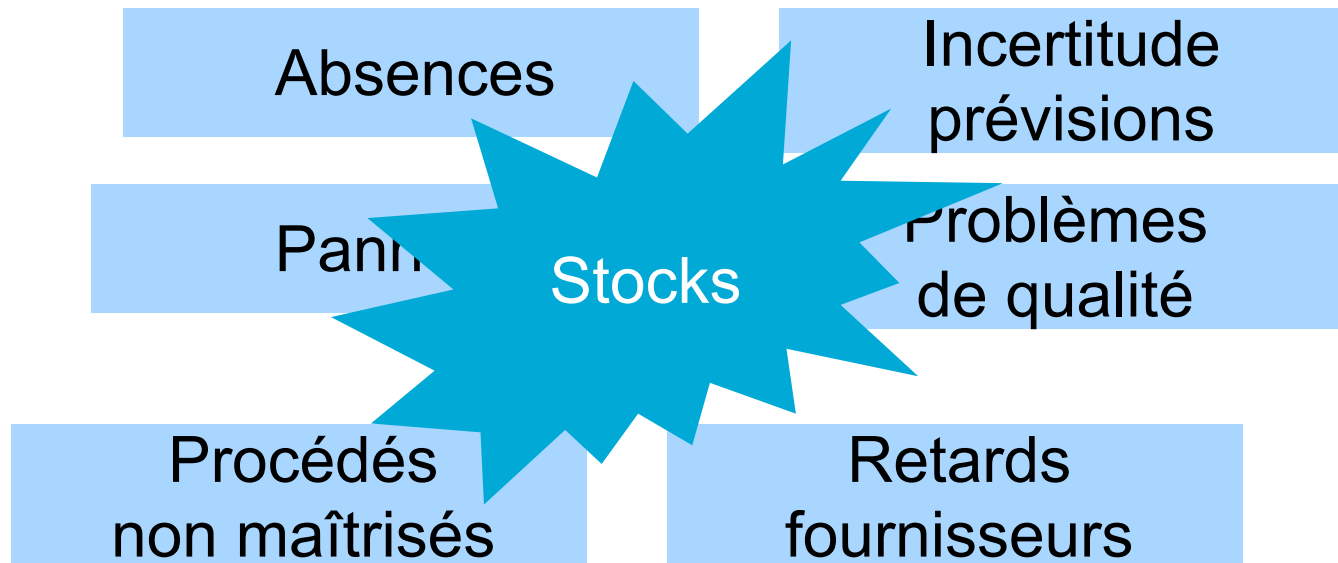
# Natures des stocks

- Natures  
matières premières  
matières consommables  
en-cours  
produits finis



# Augmenter les stocks ?

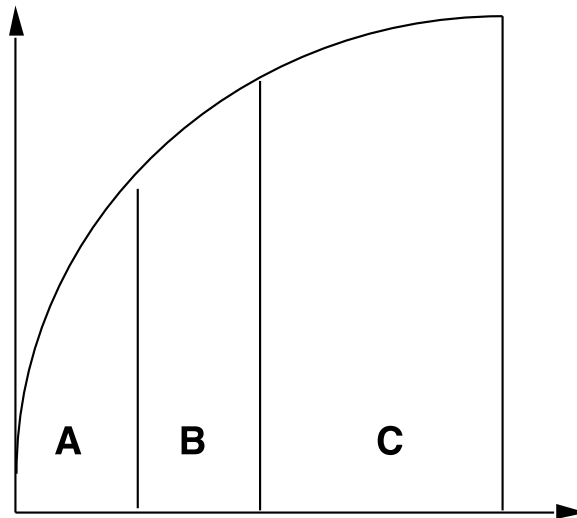
- Permet de masquer les problèmes de production
- Immobilise de l'argent (l'argent en stock n'est pas en trésorerie)



# Classification des stocks

- Objectif  
identifier les articles à gérer avec plus d'attention
- Méthode ABC  
Méthode ABC, "Loi de Pareto" ou "loi des 80-20"  
20% des articles représentent 80% de la valeur

(A)



# Classification des stocks (2)

- Méthodologie ABC
  - calculer la consommation annuelle de chaque article (quantité)
  - calculer la valeur annuelle de cette consommation pour chaque article
  - classer les articles par ordre décroissant de leur valeur annuelle
  - calculer le pourcentage de chaque article et le pourcentage cumulé (ordre décroissant)
  - tracer la courbe





# Opérations de gestion des stocks

- Magasinage

## Gestion mono-magasin

- simple mais nombreuses manutentions

## Gestion multi-magasins

- regroupement par nature de produit ou par proximité géographique
- plus complexe à gérer

## Pour un produit

Gestion mono-emplacement ou multi-emplacements

# Opérations de gestion des stocks (2)

- Entrées et sorties

## Réception

- vérification de la conformité des produits reçus
- vérification de la quantité reçue
- mise en place à l'endroit défini

## Délivrance

- sortie du stock après commande client (produits finis) ou bons de sortie
- vérification de la quantité délivrée et de la référence par rapport à la demande

# Opérations de gestion des stocks (3)

- Inventaires

L'inventaire permet de vérifier la qualité des articles en stocks et de valider si le stock réel est égal à la valeur informatique

## Inventaire permanent

- mise à jour permanente à chaque entrée/sortie

## Inventaire intermittent

- effectué pour tous les articles de l'entreprise
- au moins une fois par an (obligation comptable)

## Inventaire tournant

- effectué pour un ensemble d'articles
- la fréquence dépend de l'importance (classe A)

# Valorisation des stocks

- Les coûts associés aux stocks sont de différentes natures :
  - coût d'acquisition
  - coût de détention
  - coût de rupture

# Coût d'acquisition

- Passer une commande ou émettre un Ordre de Fabrication a un coût
- Coût d'une commande à l'extérieur généralement calculé à la ligne de commande (1 référence, 1 quantité, 1 prix, 1 délai).
- Coût de 15 à plus de 150 euros.
- Coût de lancement d'un OF dépend du temps de reconfiguration et du coût administratif.

# Coût de possession

- Coût de possession d'un stock doit prendre en compte
  - coût des structures d'accueil du stock (loyer et entretien entrepôt, électricité, manutention)
  - coût de l'argent immobilisé
  - coût de la détérioration ou de l'obsolescence des produits stockés.
  - frais généraux et les frais de gestion du stock
- Coût de possession proportionnel à la valeur des stocks (25% à 40% par an).

# Coût de rupture

- L'absence d'un article ou produit fini a un coût. La rupture n'est pas tolérée dans certains domaines (santé, nucléaire, ...)
- Produit fini
  - retard sur produit (pénalités ?)
  - vente manquée
  - client perdu ?
  - Crédibilité perdue donc clients perdus
- Article
  - arrêt production, ...

# Quantités économiques

- Objectif  
minimiser le coût du stock
- Contradiction  
coût de possession et coût d'acquisition sont contradictoires  
commander peu mais souvent (faible coût de possession mais coût d'acquisition important)  
commander beaucoup mais rarement (coût de possession important mais coût d'acquisition faible)



# Formule de Wilson

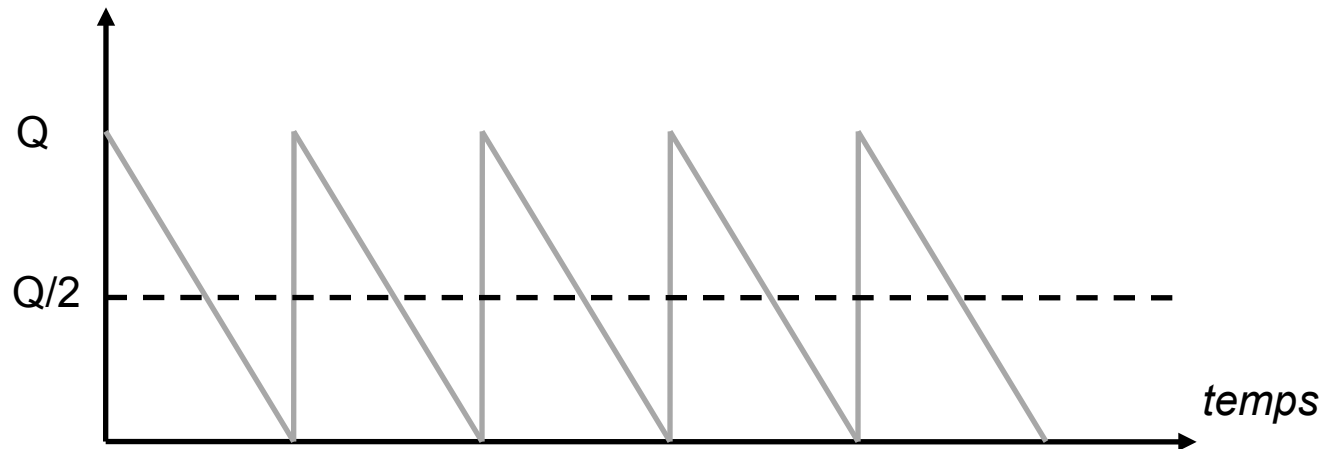
- Objectif  
compromis entre le coût d'acquisition et le coût de possession
- Hypothèses  
coût d'acquisition proportionnel au nombre de commandes  
coût de possession proportionnel au stock moyen  
consommation continue (proportionnelle au temps)  
livraisons parfaitement planifiées

# Formule de Wilson (2)

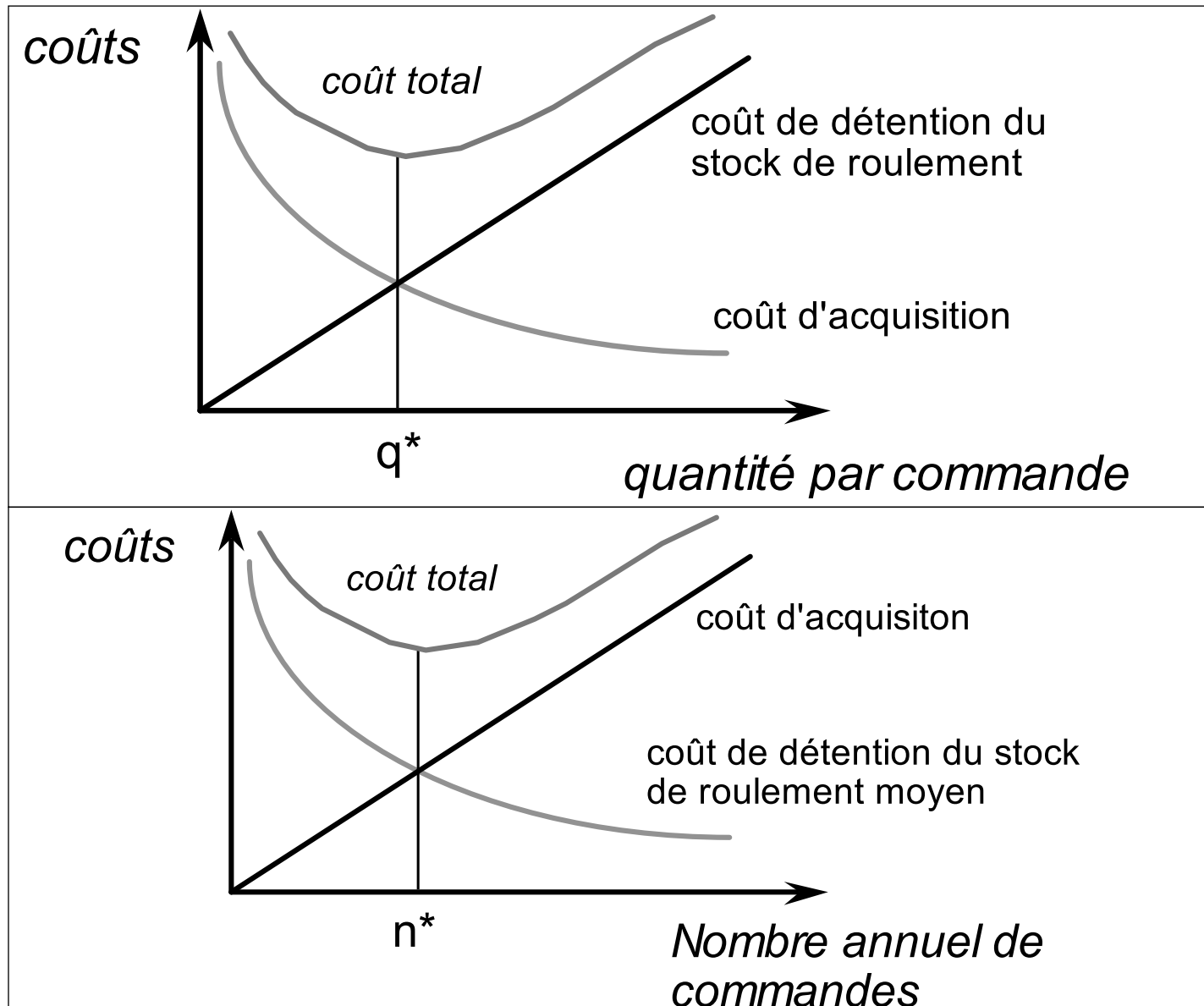
- Conséquences

évolution du stock entre 0 et  $Q$  (quantité reçue à chaque livraison et stock moyen à  $Q/2$ )

- Graphiques



# Formule de Wilson (3)



# Formule de Wilson (4)

- Variables

S, les besoins à satisfaire dans l'année

u, le prix unitaire de l'article

T, le taux de détention de l'article ( $0 < T < 1$ )

a, le coût d'acquisition

q, la quantité par commande

n, le nombre de commandes dans l'année ( $n = S/q$ )

$q/2$ , le stock moyen

Z, le coût total

# Formule de Wilson (5)

- Optimisation du nombre de commandes

$$Z = an + SuT/2n$$

On dérive par rapport à  $n$  (nombre de commandes)

$$\frac{dZ}{dn} = \frac{d}{dn} \left( an + \frac{SuT}{2n} \right)$$

- Le minimum est atteint pour la dérivée nulle.  
d'où le nombre optimal de commandes.

$$n^* = \sqrt{\frac{SuT}{2a}}$$

# Formule de Wilson (6)

- Optimisation de la quantité à commander

$$Z = aS/q + quT/2$$

On dérive par rapport à  $q$  (quantité par commande)

$$\frac{dZ}{dq} = \frac{d}{dq} \left( \frac{aS}{q} + \frac{quT}{2} \right)$$

- Le minimum est atteint pour la dérivée nulle.  
d'où la quantité optimale par commande.

$$q^* = \sqrt{\frac{2aS}{Tu}}$$

# Formule de Wilson (7)

- Sensibilité

Les hypothèses sont très restrictives et surtout les paramètres de coûts d'acquisition et de possession sont difficiles à obtenir.

- Formule de Wilson très robuste

si erreur du simple au double dans le coût d'acquisition, alors variation de 40% de  $q^*$  mais seulement 6% sur le coût total !

Si erreur de 10% sur  $q^*$ , variation de 0,5% sur le coût total !

On peut arrondir les résultats obtenus !

# Calcul des quantités économiques avec remise

- Les fournisseurs proposent des remises sur les prix si les commandes sont réalisées en quantité importante
- Types de rabais
  - uniformes : si la commande  $Q$  dépasse le seuil  $R$ , le prix unitaire de tous les produits commandés est diminué
  - incrémentaux : si la commande  $Q$  dépasse le seuil  $R$ , seul le prix unitaire des produits commandés au-dessus du seuil est diminué



# Seuil de rabais unique (1)

- Si  $Q < R$ , le coût unitaire est  $U1$
- Si  $Q \geq R$ , le coût unitaire est  $U2$  ( $U1 > U2$ )
- On calcule  $q_1^*$  avec  $U1$  et si  $q_1^* < R$  on calcule le coût (acquisition + possession + achat)
- On calcule  $q_2^*$  avec  $U2$  et si  $q_2^* > R$ , on calcule le coût (acquisition + possession + achat)
- On calcule le coût avec  $q=R$

## Seuil de rabais unique (2)

- L'optimum est une des trois solutions
- On compare le coût dans les 3 cas et on choisit la solution admissible ayant le coût le plus faible

# Seuil de rabais unique (3)

- Exemple

Quantité commandée dans l'année : 100 unités  
taux possession : 25% ; coût passation : 50 €

coût unitaire  $U_1 = 100$  € si moins de 50 produits

coût unitaire  $U_2 = 81$  € si plus de 50 produits

$q_1^* = 20$  (<50 donc admissible)  $CT(q_1^*) = 10500$  €

$q_2^* = 22$  (<50 donc pas admissible !)

$CT(R) = 8706$  €

- L'optimum est pour des commandes de 50 produits (R)

# Politiques de gestion des stocks

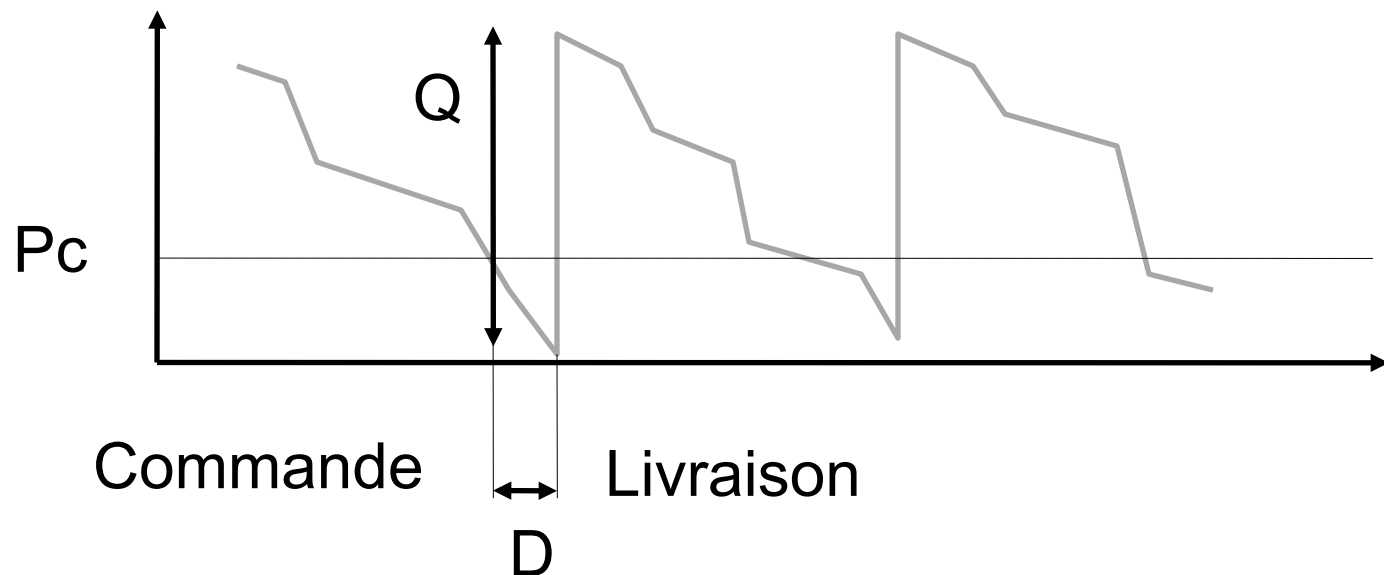
- Quand commander ?
- Combien commander ?

	<b>Période fixe</b>	<b>Période variable</b>
<b>Quantité fixe</b>	méthode de réapprovisionnement	méthode à point de commande
<b>Quantité variable</b>	méthode de recomplètement	méthode à période et quantité variable

- Si la périodicité et la quantité sont fixes, on ne s'adapte pas aux variations !

# Méthode à point de commande

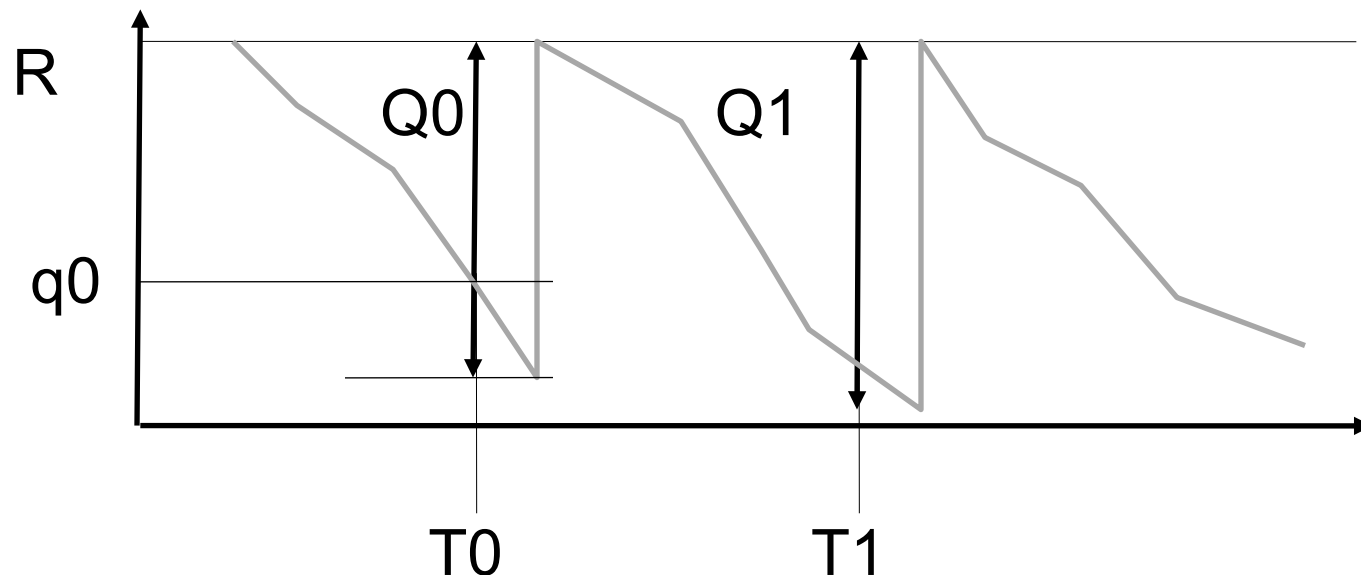
- Quantité fixe, Période variable
- La commande est passée lorsque le stock atteint le point de commande (seuil de déclenchement)



- $P_c = \text{Délai de livraison} \times \text{consommation}$

# Méthode de reemplètement

- Période fixe, quantité variable
- La quantité  $Q_i$  commandée doit être suffisante pour atteindre le niveau de reemplètement
- $Q_i = R - q_i + \text{Délai livraison} \times \text{conso}$



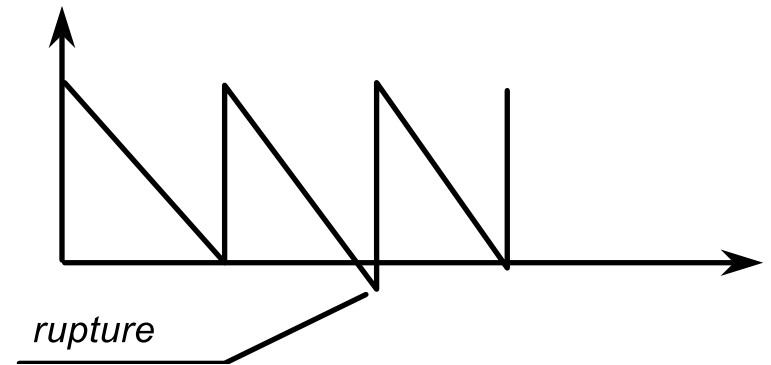
# Comparaison entre les 2 méthodes

- Point de commande (suivi précis du stock)  
demande à forte variabilité  
articles importants (pas de rupture !)  
réapprovisionnement fiable et rapide
- Recomplètement (aveugle entre 2 périodes !)  
demande et délais d'obtentions constants  
articles à coût de détention faible

# Aléas et stock de sécurité

- Aléas

- consommation excessive
  - retards de livraisons
  - problèmes de qualité



- Contradiction

- éviter les ruptures et avoir un stock de sécurité faible

- Objectif de la définition d'un niveau de stock de sécurité (stock dormant)

- compromis coût de rupture / coût de possession



# Calcul du stock de sécurité

- Hypothèse

la demande suit une loi normale (variable)

le taux de service à atteindre est connu

le délai de consommation entraînant un risque de rupture est fixe

- Formule

D : période soumise au risque

- D = délai de livraison en point de commande

- D = période en recomplètement + délai livraison

$$\textit{Stocksécurité} = k \times \sigma \sqrt{D}$$

# K en fonction du taux de service

- Obtenu par une loi normale centrée réduite

Taux de service	k
50%	0
80%	0,84
90%	1,28
95%	1,65
99%	2,23
99,5%	2,58
99,9%	3,09

# Exemple de calcul de stock de sécurité

- Demande suit une loi normale de 100 par semaine avec un écart type de 20
- Le délai d'obtention est fixe : 5 semaines
- La période de révision est de 10 semaines
- Probabilité de rupture souhaitée inférieure à 5%

$$\textit{Stocksécurité} = 1,65 \times 20 \sqrt{10+5}$$

- Stock sécurité = 128 pièces
- Niveau recomplètement = 1500 + 128

# Valorisation du stock

- Objectif
  - pour la comptabilité générale (légale)
  - pour pouvoir identifier les coûts de production (comptabilité analytique)
- Variation des prix
  - entre la commande et la livraison,
  - entre l'entrée en magasin et l'utilisation en production
  - suivant l'avancement de fabrication

# Méthodes de valorisation

- Méthodes classiques
  - CMUP (Coût Moyen Unitaire Pondéré)
  - FIFO (First In First Out)
  - LIFO (Last In First Out)
- CMUP
  - calculé par période
  - il faut attendre la fin de la période pour valoriser les sorties (pas en temps réel)

$$\text{CMUP} = \frac{\sum p_i q_i}{\sum q_i}$$

p le prix unitaire et q la quantité

# Méthodes de valorisation (2)

- FIFO

livraisons par lots.

Les sorties sont valorisées au prix d'achat du **lot arrivé en premier** tant qu'il en reste (épuisement des lots) puis au prix d'achat du lot suivant

Date entrée		Date sortie	
01/02	200 à 50 €		
		06/02	120 à 50 €
11/02	150 à 52 €		
		15/02	170 (80 à 50€ + 90 à 52€)

# Méthodes de valorisation (2)

- LIFO

livraisons par lots.

Les sorties sont valorisées au prix d'achat du **lot arrivé en dernier** tant qu'il en reste (épuisement des lots) puis au prix d'achat du lot suivant

Date entrée		Date sortie	
01/02	200 à 50 €		
		06/02	120 à 50 €
11/02	150 à 52 €		
		15/02	170 (150 à 52 € + 20 à 50€)

# Conclusion sur la gestion des stocks

- Gestion des stocks : besoins indépendants
- Les stocks doivent être limités pour laisser de la trésorerie en entreprise
- La formule de Wilson permet de définir les quantités économiques d'achat et de production. Les hypothèses sont strictes mais comme les résultats sont robustes :-)
- Les méthodes de gestion peuvent être très complexes (coût de gestion ?)





# Prévisions

# Objectif

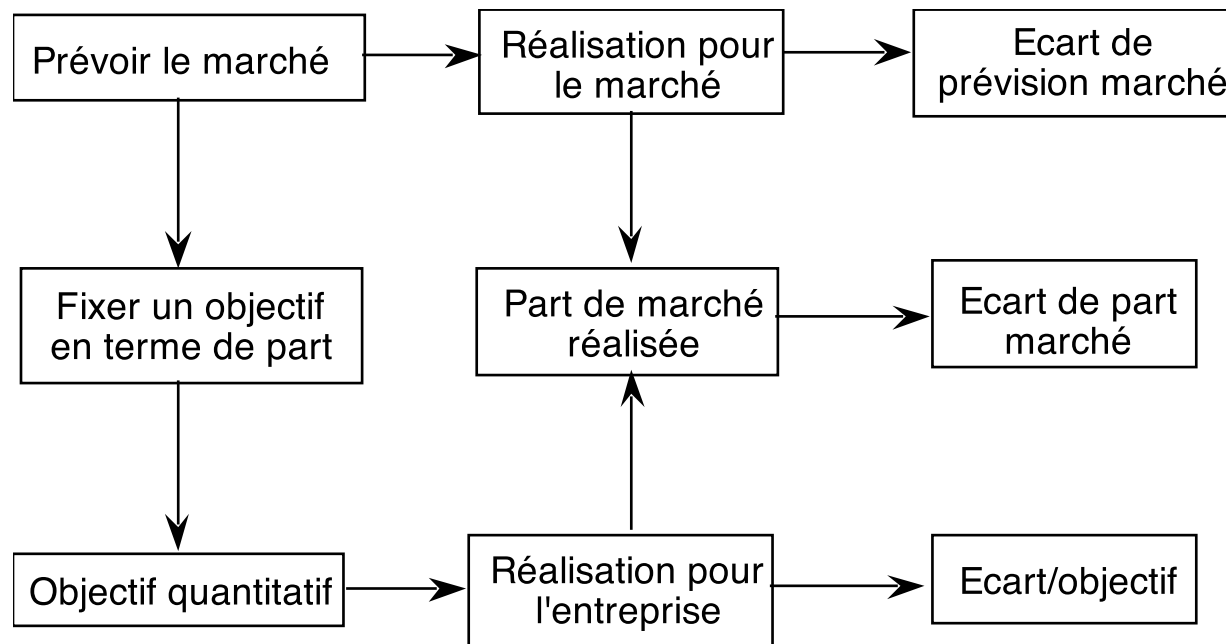
- Permettre une estimation des événements futurs
- En production
  - prévisions commerciales (PIC ou PDP)
  - évolutions du marché et des parts de marché
  - évolutions de la charge
  - évolutions des coûts

# Types de prévisions

- Horizon  
Long terme, Moyen Terme, Court Terme
- Précision  
macro-économie, entreprise, famille produits,  
produits
- Technique  
qualitative, quantitative

# Prévisions et objectifs

- La prévision de l'évolution du marché doit permettre de définir un objectif en terme de part et un objectif quantitatif.



*prévisionnel*

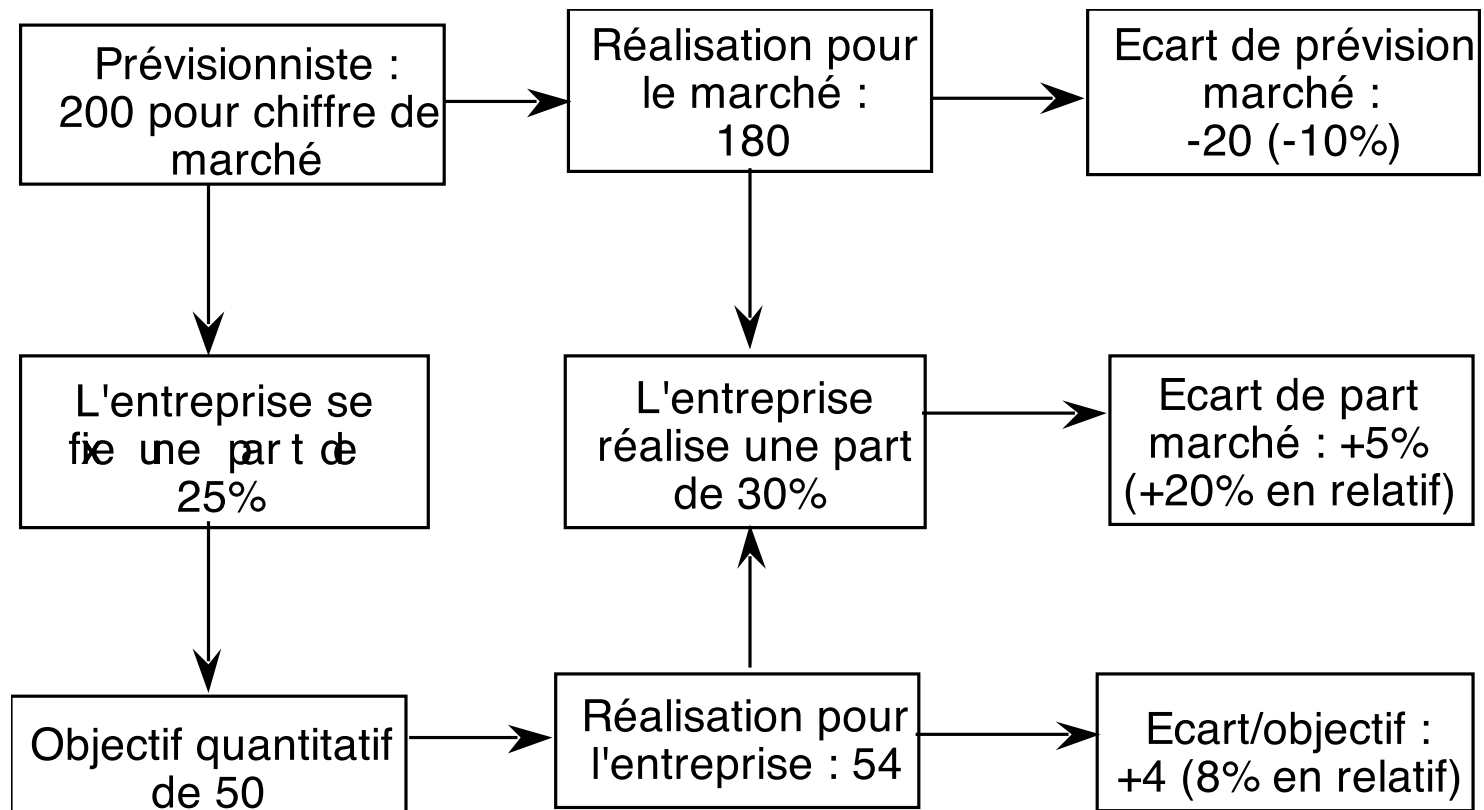
*réel*

*écart*

156

# Prévisions et objectifs (2)

- Exemple



# Qui prévoit ?

	Avantage	Inconvénient
Homme de terrain (vendeur, représentant, ...)	Connaissance du marché, des produits, ... Intéressé directement par les prévisions	Confusion prévision/objectif Prévisions influencées par le dernier client et/ou l'optimisme
Scientifique (approche statistique)	Méthodes quantitatives Informatisation des méthodes	Méconnaissance du marché, des produits, des clients, des concurrents, ...

Nécessité d'une coopération entre les 2 approches !

# Méthode de prévision

- Acquisition des données (externes et internes)
- Représentation des données
- Identification par rapport à un modèle
- Extrapolation
- Correction et adaptation par le décideur
- Mesure des écarts entre la prévision et la réalité
- Correction du modèle

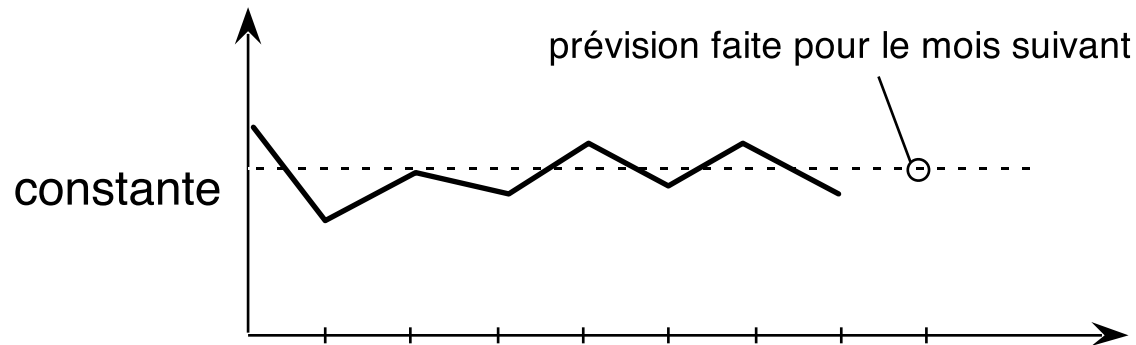
# Données initiales

- Obtenir des informations sur l'historique
- Contraintes
  - valeurs fiables et réelles
  - homogènes dans le temps avec le niveau de granularité adapté à la prévision
  - nombre suffisant de valeurs sur une période suffisante (saisonnalité ?)
- Traitement des données
  - filtrage pour laisser apparaître les tendances
  - représentation graphique (analyse humaine)

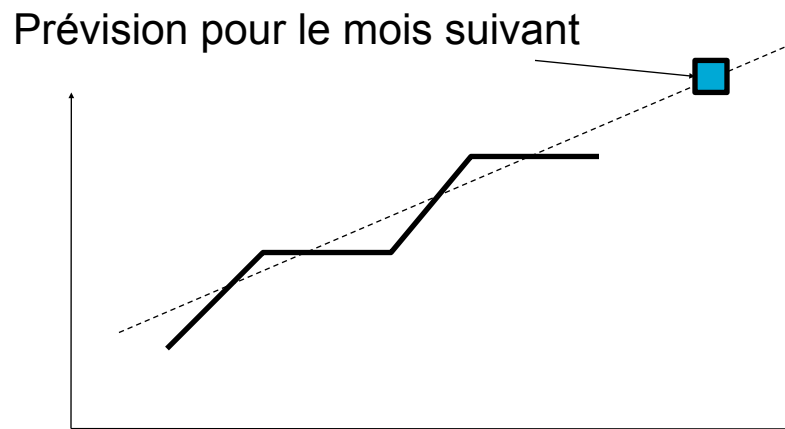


# Evolutions courantes

- Constante

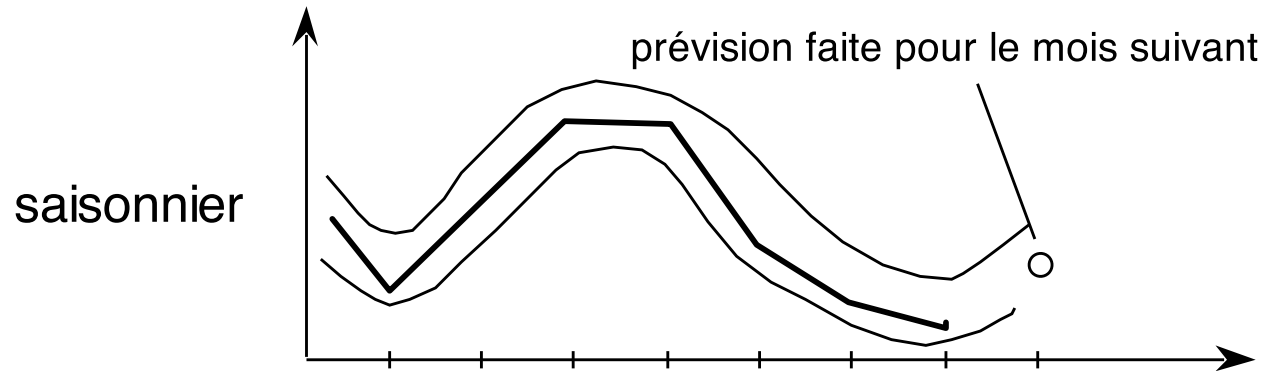


- A tendance

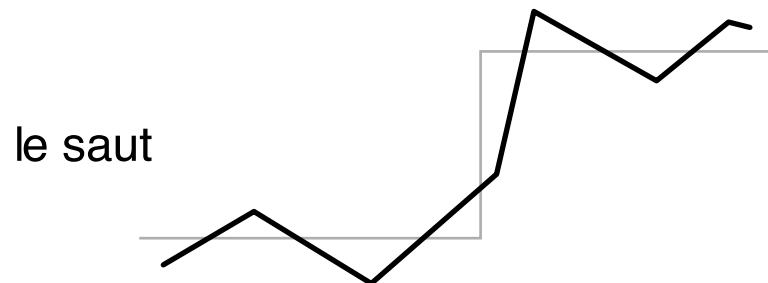


# Evolutions courantes (2)

- Saisonnière



- A Saut



- Les phénomènes peuvent se combiner

# Analyse de séries chronologiques

- Evolution constante et lissage

Moyenne mobile : faire la moyenne sur les  $m$  derniers échantillons et affecter la valeur à l'échantillon du milieu

Moyenne mobile ordre impair ( $2m+1$  valeurs)

$$\tilde{x} = \frac{1}{2m+1} \sum_{i=-m}^{i=+m} x_{t+i}$$

Moyenne mobile ordre pair

$$\tilde{x} = \frac{1}{2m} \left( \frac{1}{2} x_{t-m} + \sum_{i=-(m-1)}^{i=m-1} x_{t+i} + \frac{1}{2} x_{t+m} \right)$$

# Analyse de séries chronologiques (2)

Lissage exponentiel : donner un poids particulier aux informations récentes (plus proches du point estimé)

$$\tilde{x}_t = \alpha x_{t-1} + (1-\alpha) \frac{1}{2m+1} \sum_{i=-2}^{i=-2m-2} x_{t+i}$$

# Analyse de séries chronologiques (3)

- Evolution à tendance

La tendance peut être de type linéaire, exponentiel, puissance, ...

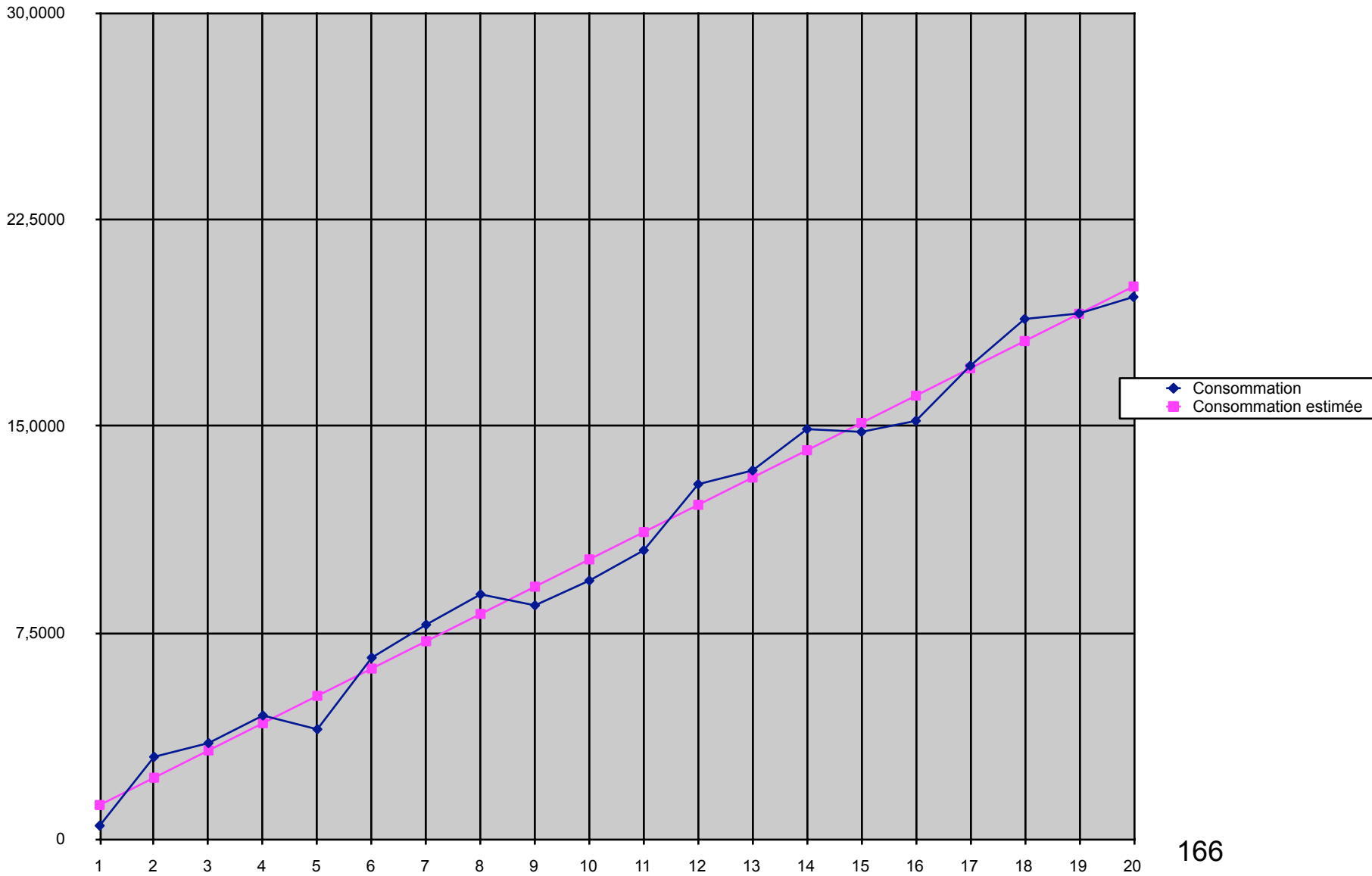
Tendance linéaire : on estime les paramètres de la droite d'équation  $y = ax + b$

La qualité de la régression est exprimée par le coefficient de corrélation  $r$ .

$$\tilde{a} = \frac{\sum_{x=1}^T (y_x - \bar{y})(x - \bar{x})}{\sum_{x=1}^T (x - \bar{x})^2}$$

$$\tilde{b} = \bar{y} - \tilde{a}\bar{x}$$

# Exemple



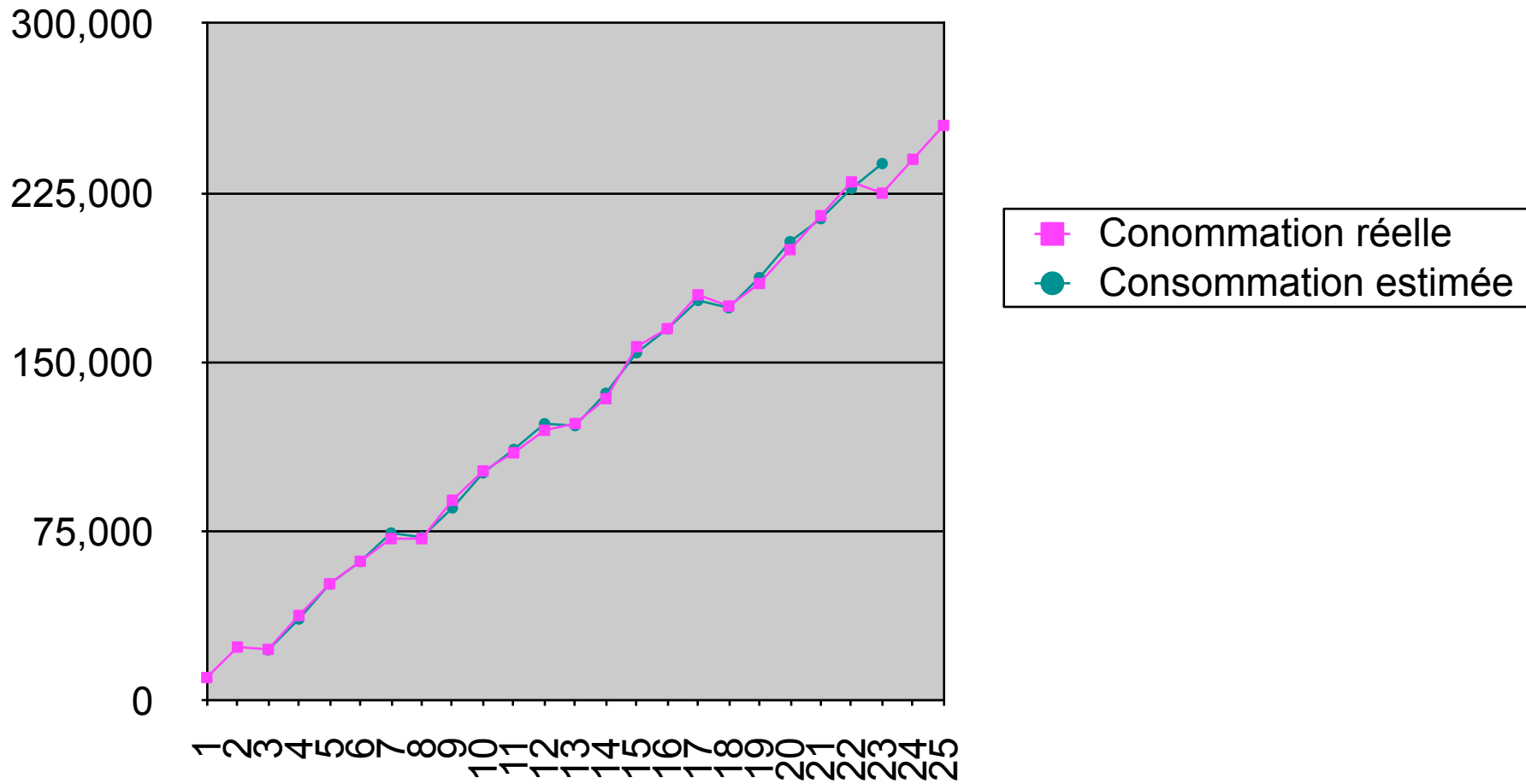
# Analyse de séries chronologiques (4)

- Evolution saisonnière

La valeur estimée peut être calculée par addition de la valeur estimée avec la tendance (droite de régression + valeur de saisonnalité)

1. Filtrer la saisonnalité
2. Calculer les valeurs estimées avec tendance
3. Calculer les écarts entre les valeurs réelles et les valeurs estimées. Pour la même période (février par exemple), calculer la moyenne des écarts (valeurs de saisonnalité)
4. La somme des écarts de saisonnalité doit être nulle (répartition de l'écart)

# Exemple





# Conclusion sur les prévisions

- Les prévisions sont indispensables en gestion de production.
- Les prévisions doivent être menées avec prudence et méthode
- Plus les prévisions sont réalisées à un horizon lointain, plus elles sont entachées d'incertitude !



# Kanban

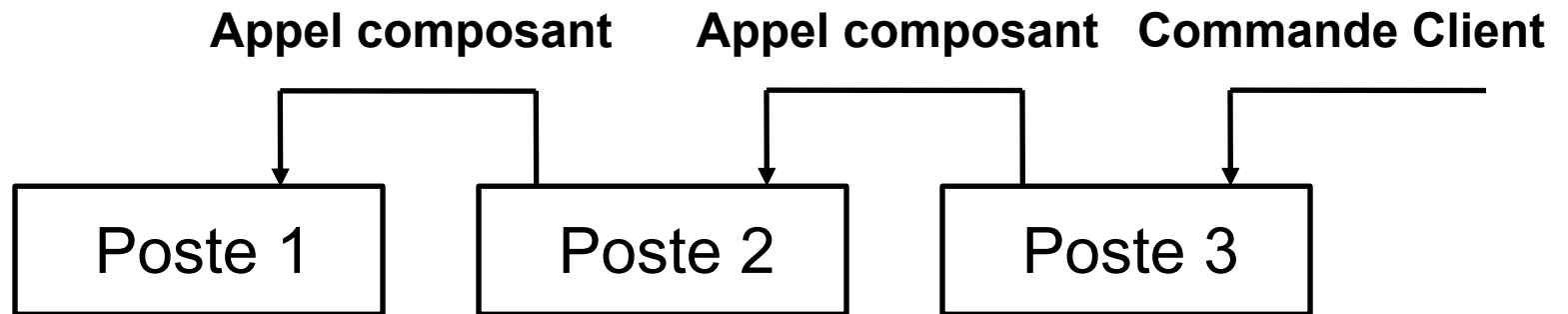
# Historique et objectifs

- 1958 : implantation du Kanban à Toyota (Japon)
- "Kanban" = étiquette en japonais
- Constat : les entreprises avaient tendance à faire de la surproduction
- Objectifs
  - produit demandé
  - date demandée
  - quantité demandée

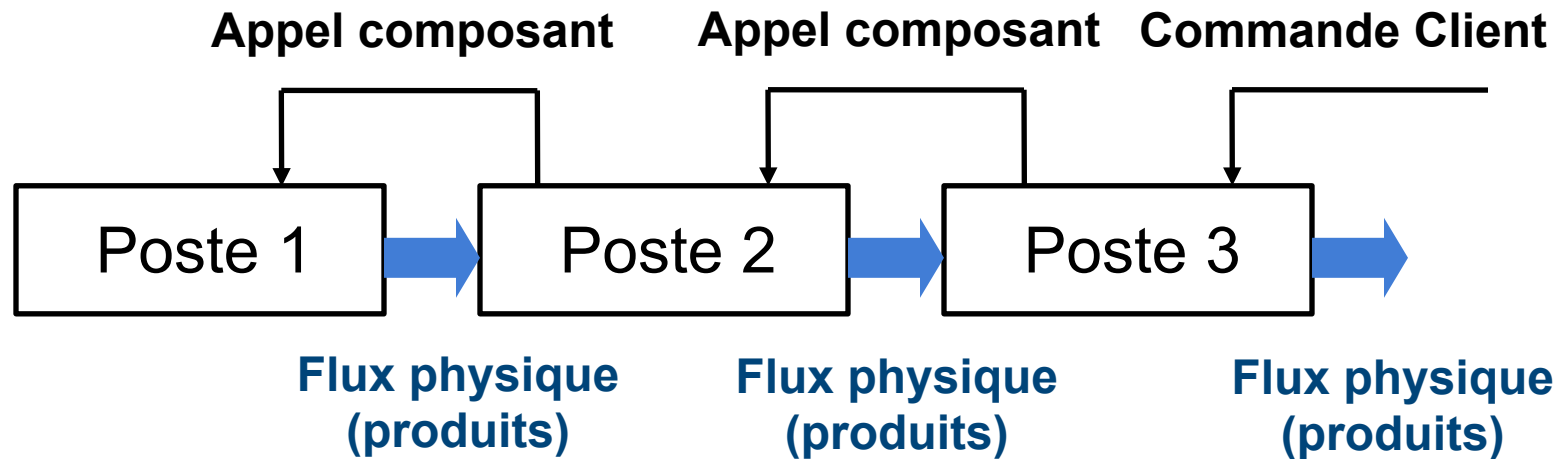
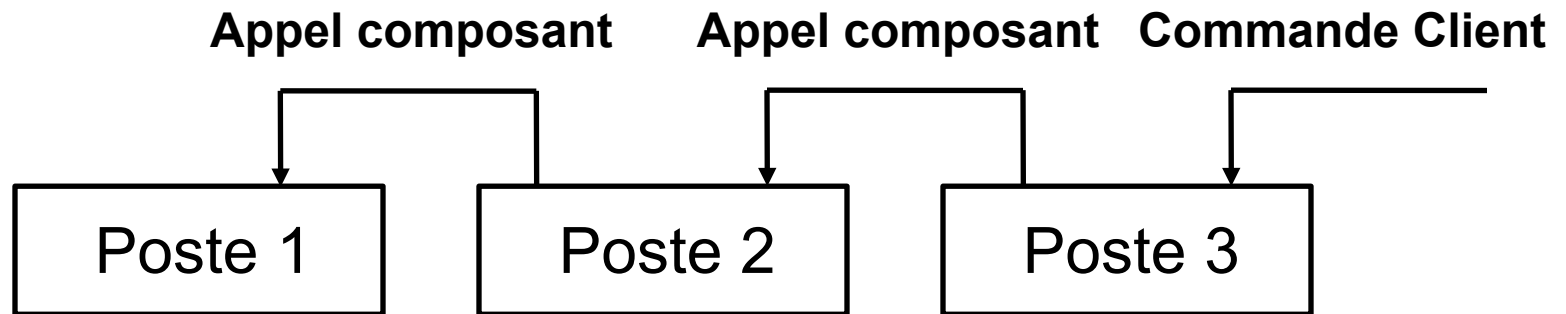
# Principe

- Commande du client = demande au poste de production final (flux d'info)
- Moyen de production appelle composants aux moyens situés en amont = producteur (flux d'info)
- Les composants sont produits et acheminés vers le poste final, assemblés et livrés (flux physique)
- Notion de flux tiré (par opposition au flux poussé en MRP)

# Principe (2)



# Principe (2)

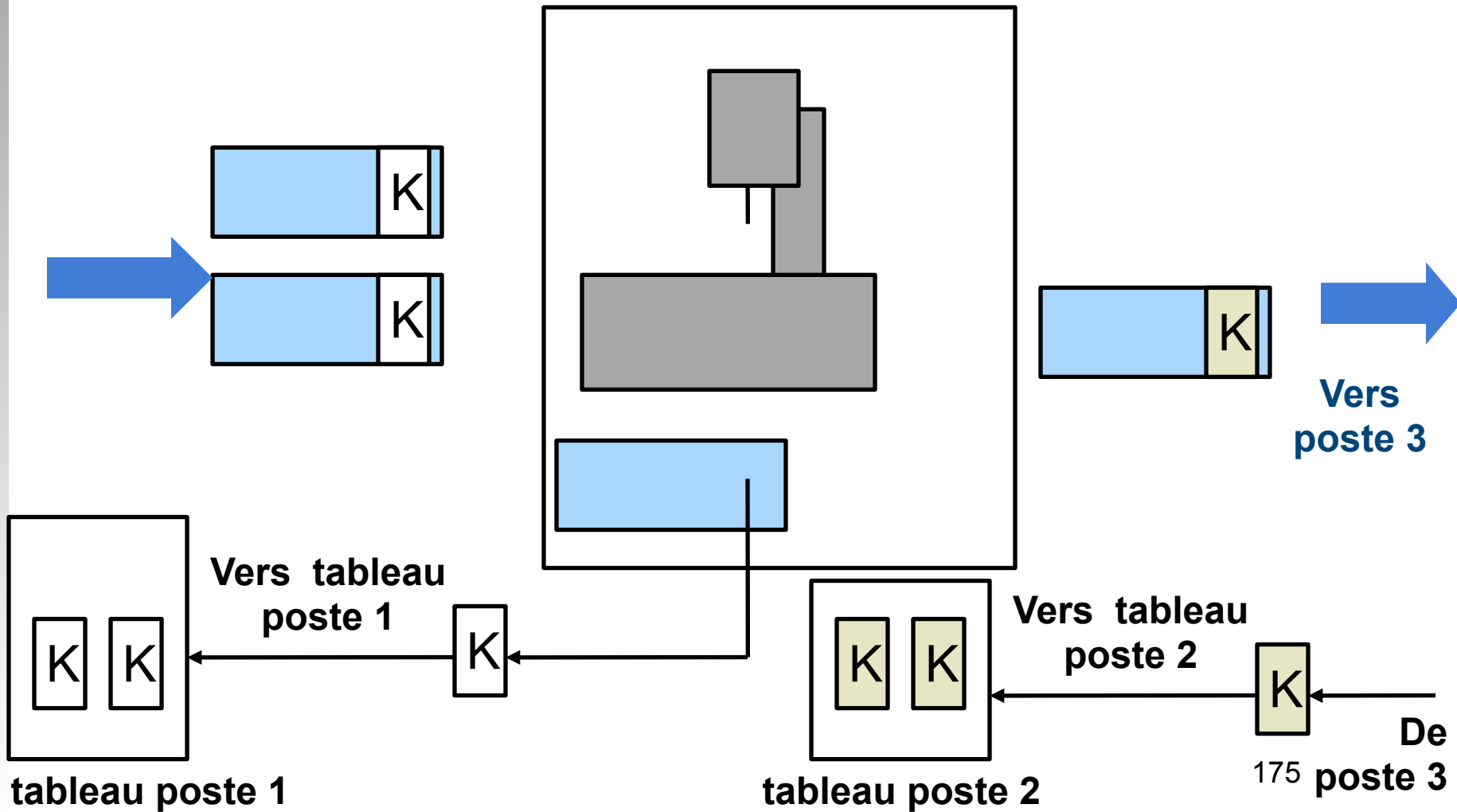


# Fonctionnement

- Poste 2 consomme pièces produites par Poste 1
- Quand Poste 2 reçoit un container de pièces, l'opérateur détache l'étiquette (Kanban) et la renvoie au Poste 1
- Quand Poste 1 a des étiquettes correspondant à un produit, il peut les réaliser et les envoyer au poste concerné
- Kanban = machine producteur, machine utilisateur, type de produit, capacité container

# Fonctionnement (2)

Poste 2



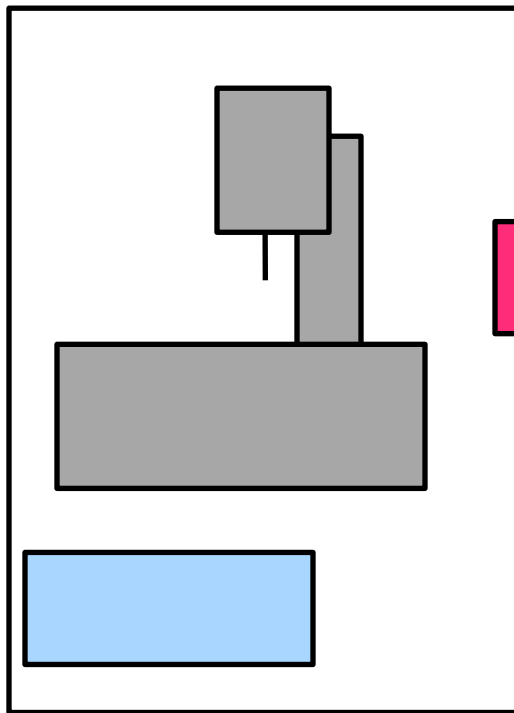


# Fonctionnement (3)

Poste 2

2 kanbans entre 2 et 3

Poste 3



Containers pleins de  
poste 2 vers poste 3

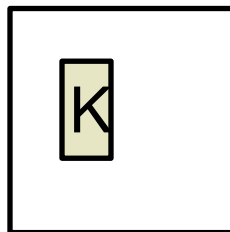
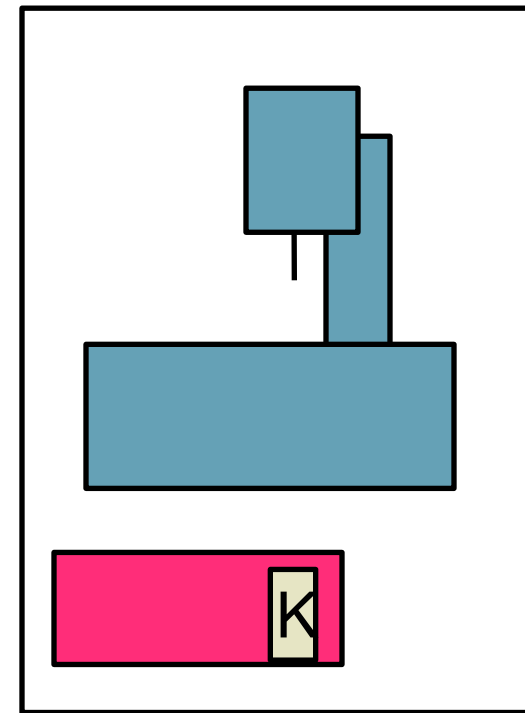
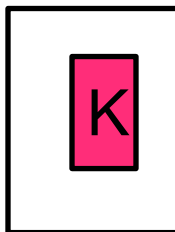


tableau poste 2

Kanbans de poste 3 Vers  
tableau poste 2



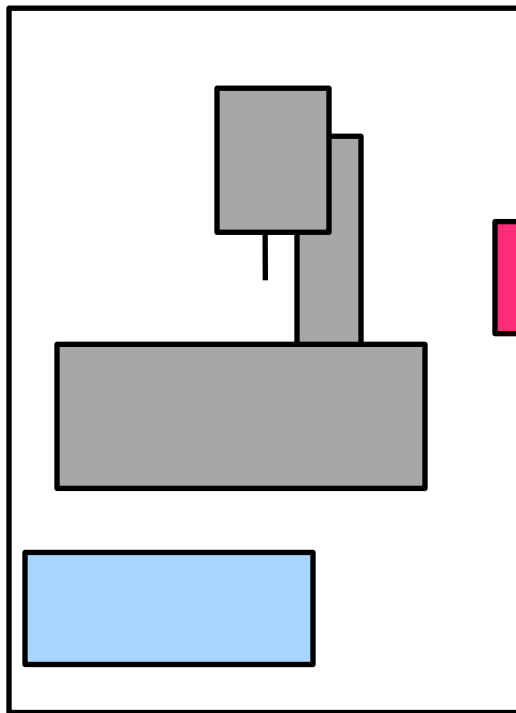
tableau<sup>176</sup> poste 3

# Fonctionnement (3)

Poste 2

2 kanbans entre 2 et 3

Poste 3



Containers pleins de  
poste 2 vers poste 3

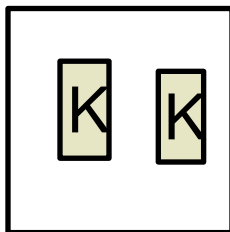
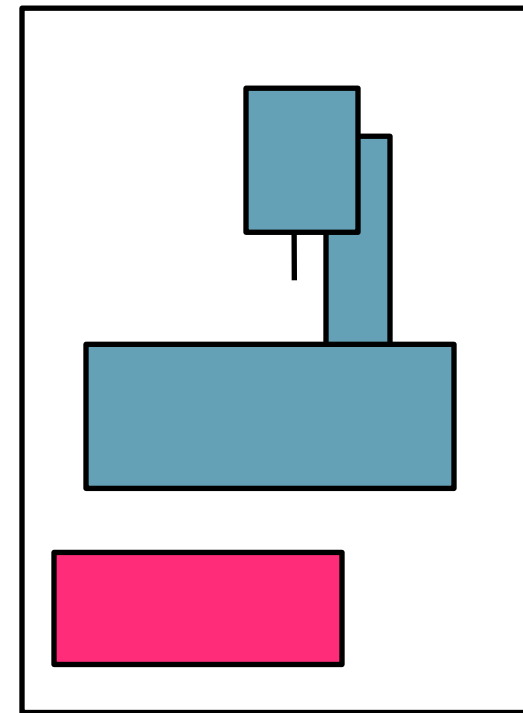
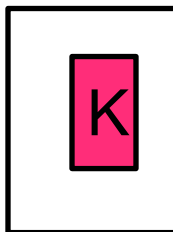


tableau poste 2

Kanbans de poste 3 Vers  
tableau poste 2



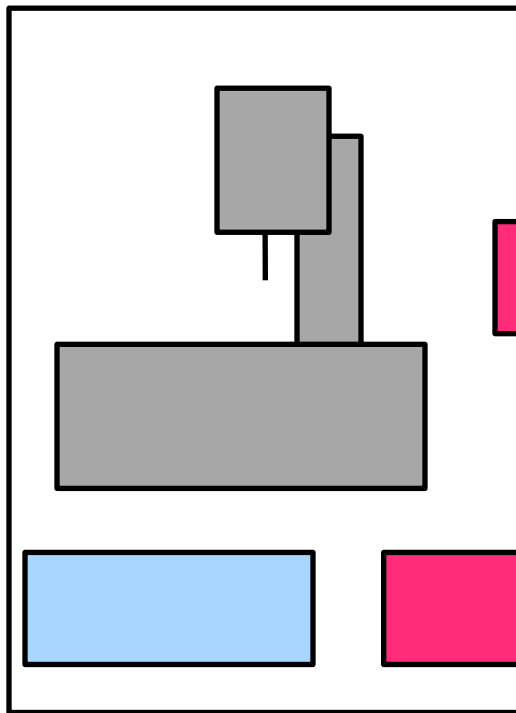
tableau<sup>176</sup> poste 3

# Fonctionnement (3)

Poste 2

2 kanbans entre 2 et 3

Poste 3



Containers pleins de  
poste 2 vers poste 3

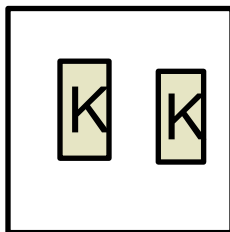
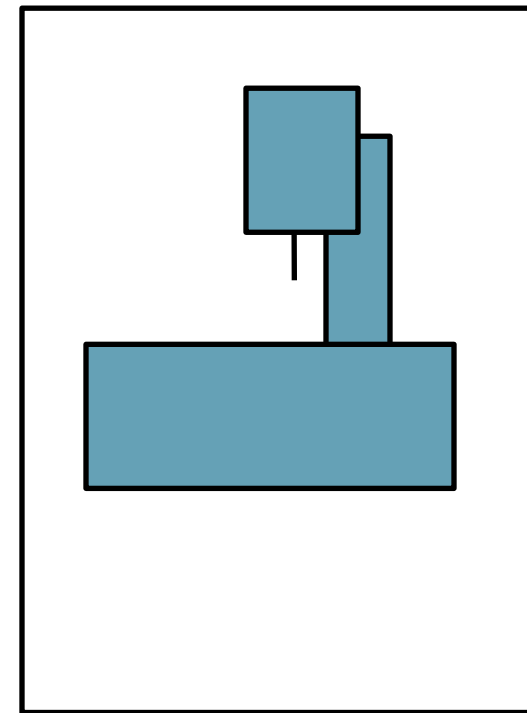
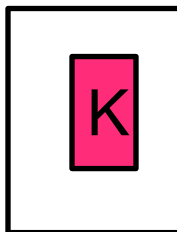


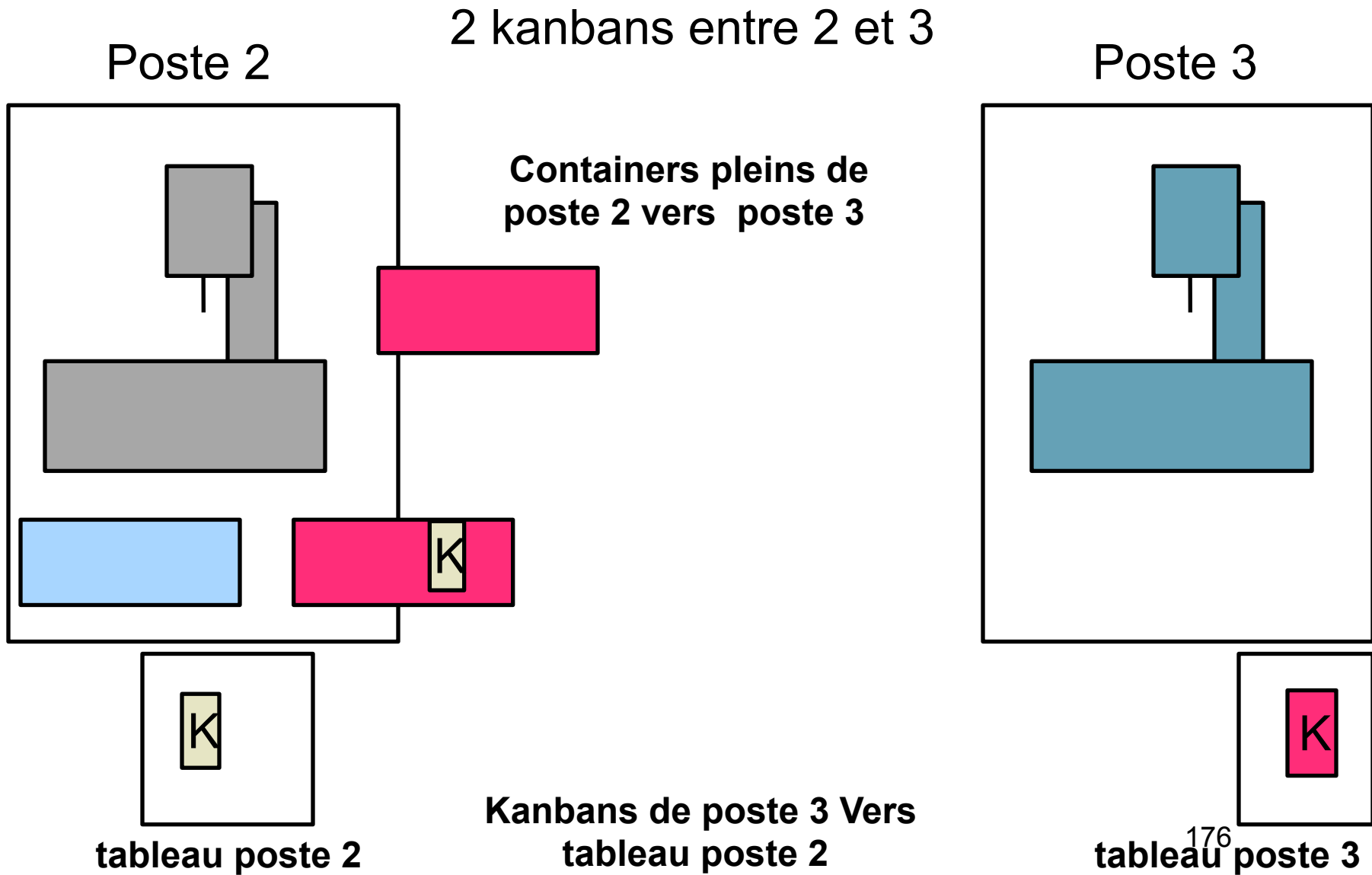
tableau poste 2

Kanbans de poste 3 Vers  
tableau poste 2

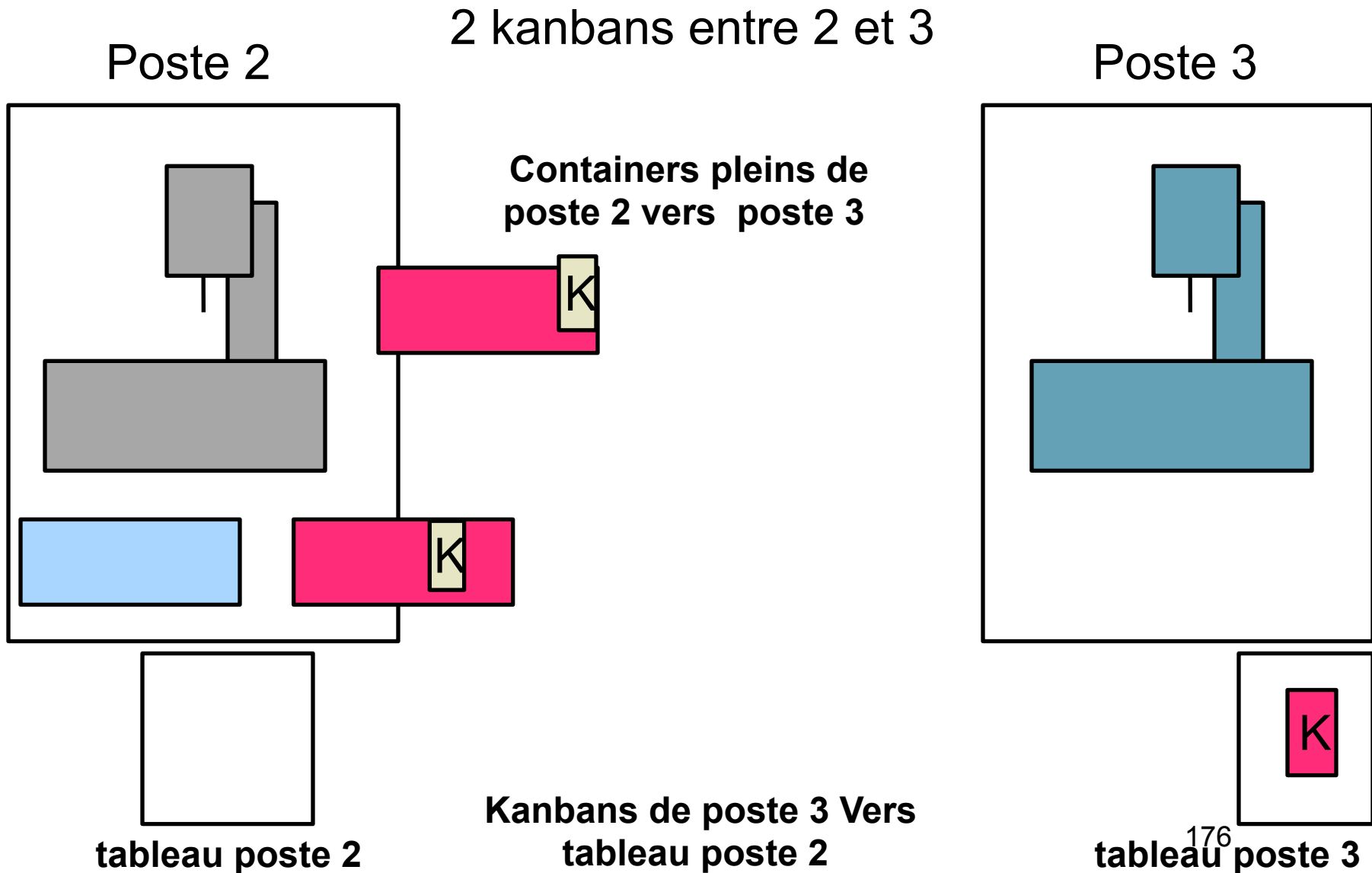


tableau<sup>176</sup> poste 3

# Fonctionnement (3)



# Fonctionnement (3)



# Fonctionnement (3)

Poste 2

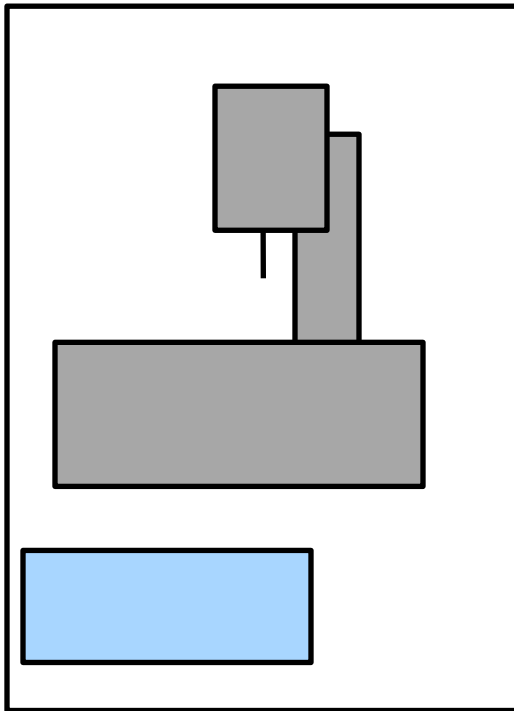


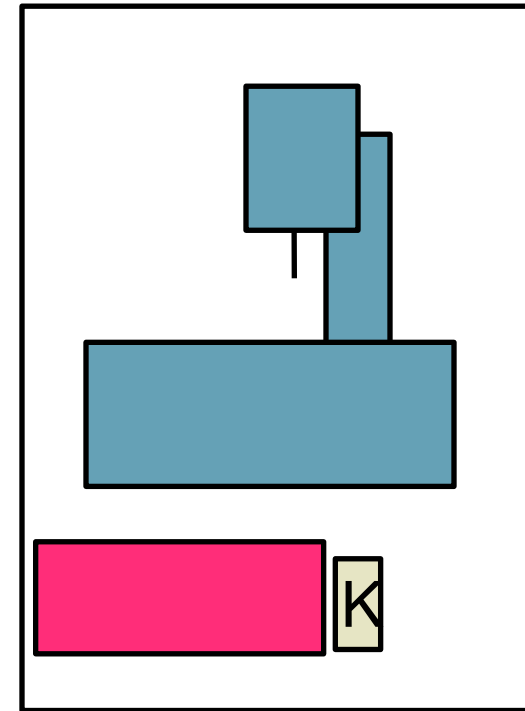
tableau poste 2

2 kanbans entre 2 et 3

Containers pleins de  
poste 2 vers poste 3



Poste 3



tableau<sup>176</sup> poste 3

Kanbans de poste 3 Vers  
tableau poste 2

# Calcul du nombre de Kanbans

- Démarche

Combien de produit par container ?

Combien de containers (nb containers= nb Kanbans)

- Combien de produits par container ?

Nb produits = taille lots (production ou transfert)

Contraintes

- si nb de pièces trop important : encours importants
- si nb pièces trop faible : trop de reconfigurations

# Calcul du nombre de Kanbans (2)

- Combien de Kanbans ?

Le nombre de Kanbans doit être défini puis progressivement diminué pour limiter l'encours.

- Exemple de formule

$$n = (D \times L + G) / C$$

D : demande moyenne de pièces (à l'heure)

L : délai (en heure) de mise à disposition d'un container de pièces

C : capacité d'un container

G : stock sécurité pour intégration des aléas



# Calcul du nombre de Kanbans (3)

- Application

$$n = (D \times L + G) / C$$

D : 500 pièces/ heure

L : 30 minutes

C : 50 pièces

G : 20 pièces

$$n = (500 \times 0,5 + 20) / 50$$

$$n = 6 \text{ Kanbans (= 6 containers)}$$

# Conditions nécessaires

- Demande stable (PDP lissé ?)
- Flux simples (îlots)
- Temps de reconfiguration courts (SMED ?)
- Pannes limitées (maintenance préventive)
- Personnel responsable
- Partenariat avec les fournisseurs

# Conséquences

- Etiquette (Kanban) = Ordre de Fabrication
- Le nombre de Kanbans est limité
  - soit sur un container de pièces réalisées
  - soit sur le tableau des pièces à réaliser
- S'il n'y a pas de Kanban sur le tableau d'un poste, le poste ne travaille pas ! Ce temps peut être utilisé pour l'amélioration du poste :-)

# Conclusion

- Kanban adapté pour une production régulière d'une famille de produits avec une production maîtrisée
- Cohabitation MRP/Kanban possible :  
PDP avec MRP  
pièces standard réalisées avec MRP et  
assemblage personnalisé (configuration) avec  
Kanban



# Lean manufacturing et Juste à Temps

# Objectifs

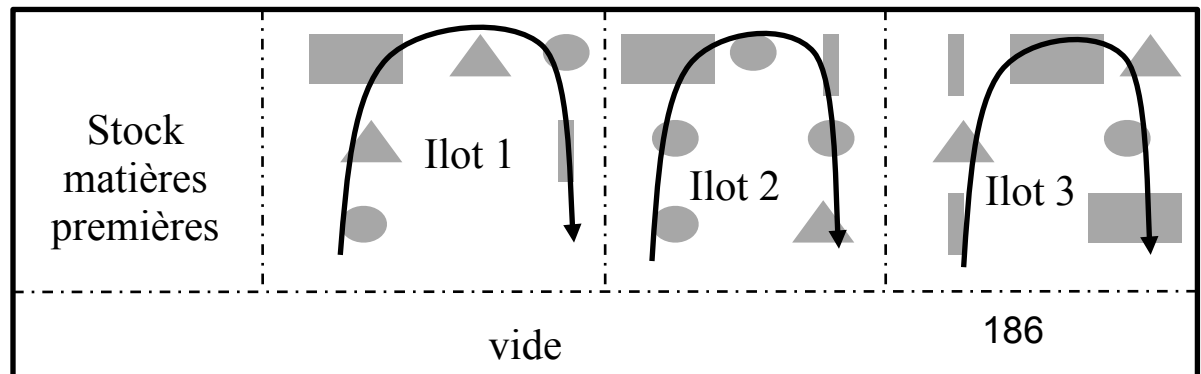
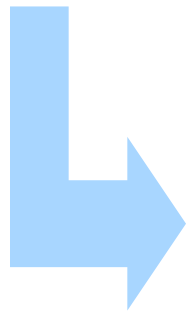
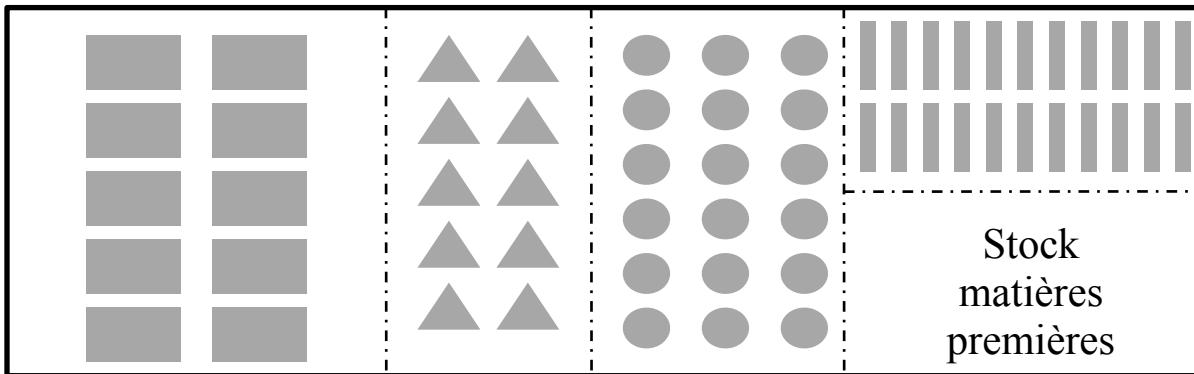
- Historique
  - Principes développés à Toyota fin des années 50
- Ensemble de moyens pour produire ce qui est nécessaire quand c'est nécessaire
- Objectifs
  - zéro défaut, zéro délai, zéro stock, zéro papier, zéro panne (+ zéro accident)
- Démarche d'amélioration continue

# Moyens

- Rationalisation de l'implantation des ressources de production
- Diminution des temps de reconfiguration (SMED)
- Amélioration de la disponibilité des ressources techniques (maintenance)
- Amélioration des approvisionnements (relations avec les fournisseurs)

# Rationalisation de l'implantation des ressources de production

- **Domaine**  
en job-shop modification implantation de sections homogènes vers îlots





# Rationalisation de l'implantation des ressources de production (2)

- Démarche

identification des gammes de fabrication  
(attention aux différences entre la gamme théorique et la gamme réelle)

regroupement des gammes similaires pour créer des familles de produits (production similaire)

identification des contraintes (RT impossibles à déplacer, arrivées de fluides, ...)

définition de la nouvelle implantation

planification des déplacements

déplacement physique des RT

# Diminution des temps de reconfiguration (SMED)

- SMED

Single Minute Exchange of Die : japonaise

- Objectif

diminuer la taille des lots de production (compromis entre temps de reconfiguration et coût de stockage)

- Principe

transférer les opérations réalisées à l'arrêt de la machine pour les réaliser en fonctionnement et limiter celles en fonctionnement

# Diminution des temps de reconfiguration (SMED) 2

- Démarche

Identification des opérations internes (arrêt) et externes (en fonctionnement)

Transformation des opérations internes en opérations externes (ou suppression OI)

Standardisation des fonctions (limiter les réglages)

Adoption des serrages fonctionnels (1 seul pas)

Synchronisation des tâches (1 opérateur pour plusieurs machines)

Suppression des réglages (pré-réglé)

Mécanisation

# Diminution des temps de reconfiguration (SMED) 3

- Exemples

Outillage d'alésage

Temps de reconfiguration avant SMED : 8 heures

Temps après SMED (1 an projet) : 3 minutes

Moulage plastique

Temps de reconfiguration avant SMED : 2 heures

Temps après SMED (10 keuro) : 15 minutes



# Amélioration de la disponibilité des RT (maintenance)

- Disponibilité
  - taux de panne (robustesse, fiabilité)
  - durée des pannes (maintenabilité)
- Types de maintenance
  - Préventive (systématique, conditionnelle)
  - Curative

# Types de maintenance

- Maintenance curative  
La maintenance est réalisée quand il y a une panne
- Maintenance préventive systématique  
Les pièces d'usure sont changées périodiquement (changement de courroie tous les 100.000 km)
- Maintenance préventive conditionnelle  
Les indicateurs anticipants la panne sont mesurés (vibrations, couple). La pièce n'est changée que si la panne semble proche !

# Politique de maintenance

- Objectif  
disponibilité au moindre coût
- Moyens  
maintenance de premier niveau par l'opérateur  
(responsable ? Jusqu'à quel niveau ?)  
optimisation du coût de maintenance par  
compromis entre préventif et curatif  
analyse des pannes pour trouver la cause  
(AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance,  
de leurs Effets et de leur Criticité)

# Amélioration des approvisionnements (relations avec les fournisseurs)

- Assurance qualité
  - Contrôle des produits par le fournisseur
  - Confiance du client (validée par audit fournisseurs)
- Partenariat
  - Accord de longue durée
  - Possibilité pour le fournisseur d'investir (donc de limiter les coûts de production)
  - Application du juste à temps chez le fournisseur
  - Livraisons en faible quantité mais forte fréquence
  - Simplifications administratives



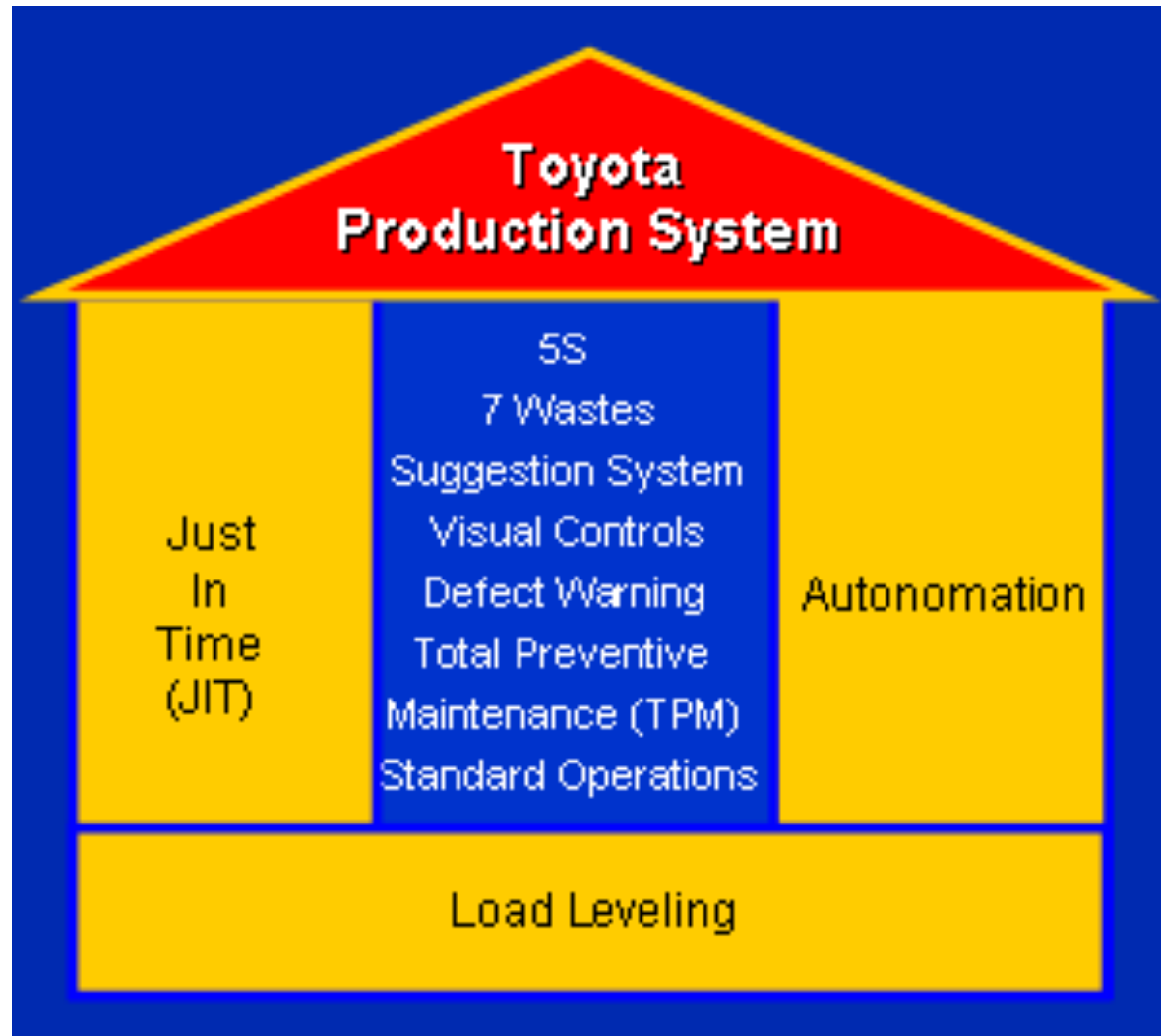
# Conclusion JAT

- Juste à Temps  
Vers l'entreprise idéale (5 zéros) !  
Amélioration continue
- Importance des ressources humaines  
responsabilité, participation à l'amélioration continue  
(QUALITE), paix sociale
- Résultats  
diminution de la taille des lots, diminution des  
encours, réduction du cycle de production  
Réduction des délais de livraison, diminution des  
coûts de production

# Lean manufacturing

- Lean manufacturing = appellation américaine du TPS (Toyota Production System)
- Lors du déploiement du TPS aux états unis formation de Shook et Womack.
- Lean repose sur JAT et «jidoka» (automatisation à visage humain).

# Lean manufacturing



# 7 muda

- Attente : attente de matériel, de la fin d'un cycle d'une machine, d'une décision
- Transport : transport d'information ou de matériel d'une place à l'autre. pas de valeur ajoutée pour le client final
- Processus excessif : toute action dans le processus de fabrication qui n'est pas requise pour satisfaire le besoin du client. (machines trop précises)
- Stock : trop de matière première et de composants que le minimum
- Mouvement : tout mouvement qui ne contribue pas directement à l'ajout de valeur sur le produit fini.
- Non-qualité
- Surproduction : produire plus que le besoin par rapport à la demande.

# Takt time

- Définition

Takt time = temps disponible pour une période /  
nombre de produits demandés par le client  
pour une période

- Exemple

50 minutes disponible par heure

10 produits par heure

Takt time =  $50/10 = 5$  minutes

Un produit doit sortir toutes les 5 minutes.

# Value stream mapping

- Outils d'analyse des flux physiques et informationnels
- Démarche
  - Définir le domaine d'étude (produit, famille de produit, service, ...)
  - Dessiner la carte des activités en indiquant les délais, les informations, les flux physiques pour obtenir le produit
  - Analyser les flux
  - Définir la carte future
  - Réaliser les actions pour améliorer les flux

200

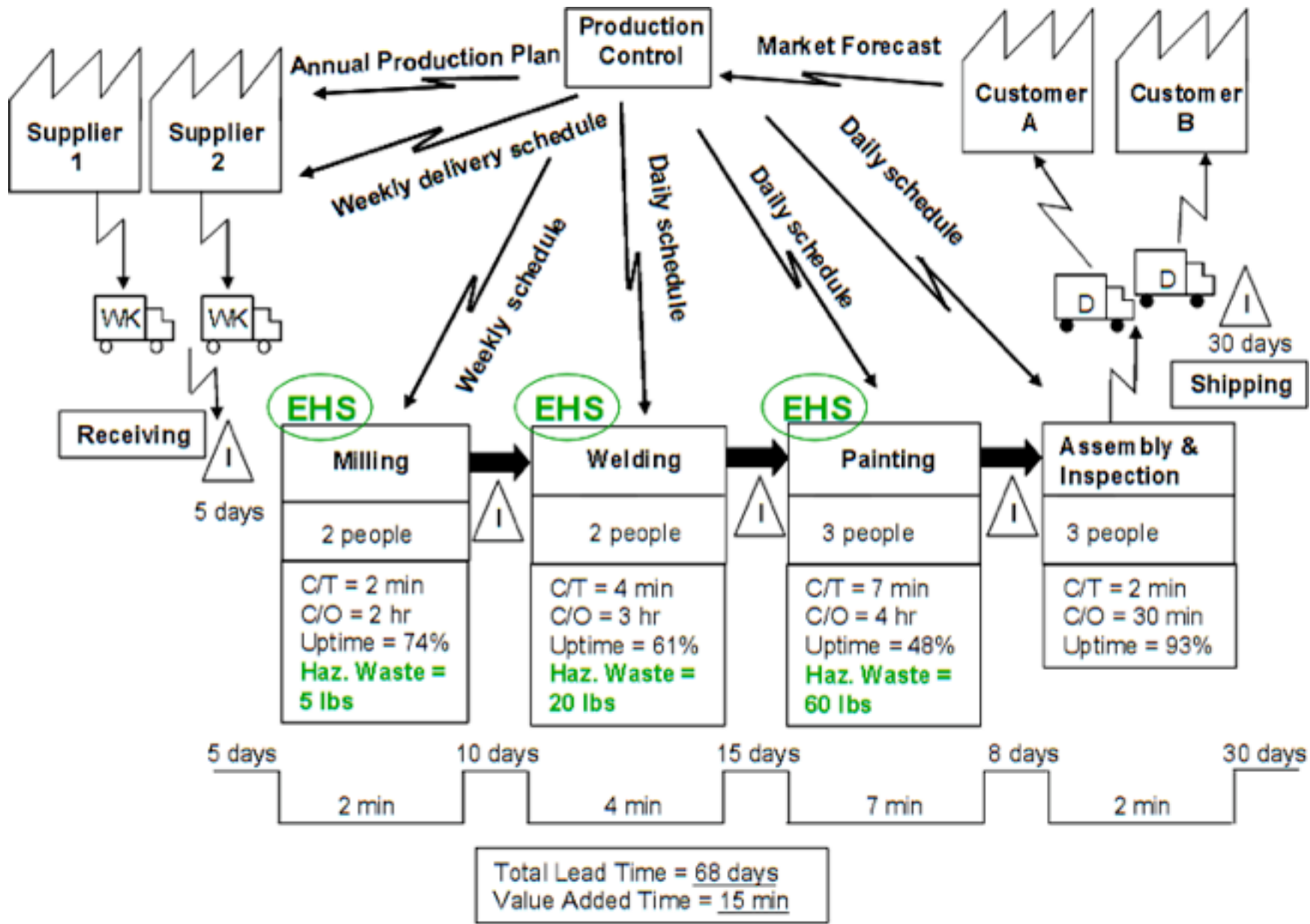
# Inconvénients du Lean ?

- «Faire plus avec moins» : valeur ?
- Sensibilité aux aléas importants (Japon 2011)
- Dimension humaine ?

# Lean and green

- Avenir du lean ?
- Valeurs compatibles ?
- Actions en cours ...







# OPT

## Optimized Production Technology

# Concepts

- Développée par Goldratt et Cox (USA, 1978)
- Méthode de gestion des flux basée sur les goulots
- Goulot : ressource dont la capacité effective est égale ou inférieure à la demande

# Indicateurs

- Indicateurs de l'entreprise

Bénéfice net (indicateur absolu)

Rendement des investissements (indicateur relatif)

Trésorerie (contrainte de survie)

- Indicateurs de production

Throughput (produit des ventes) : rythme auquel le système génère de l'argent par les ventes

Stocks : totalité de l'argent investi par le système pour acheter des choses pour les vendre

Dépenses de fonctionnement : totalité de l'argent que le système dépense pour transformer les stocks en throughput (salaires, amortissement des machines, ...)

# Le but

- « Le but pour une entreprise industrielle est de gagner de l'argent ! »
- « Le but est d'augmenter le throughput tout en baissant simultanément les stocks et les dépenses »

# Constats

- Déséquilibre

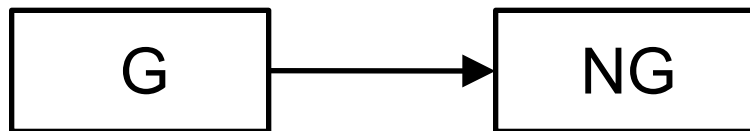
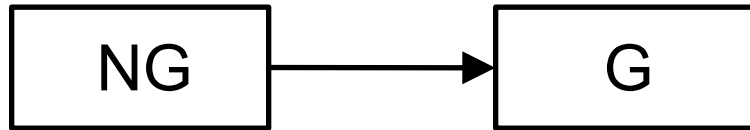
Les entreprises sont conçues pour être équilibrées (capacité = demande)

En réalité : production dynamique et déséquilibre (modes de fonctionnement en urgence courants : « chasseurs de pièces »)

- Événements dépendants avec des fluctuations aléatoires

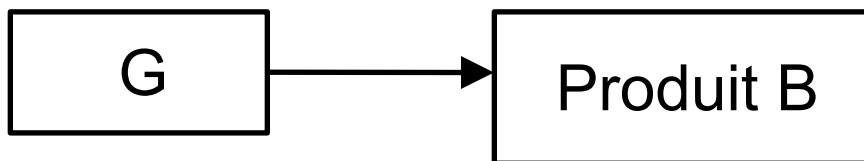
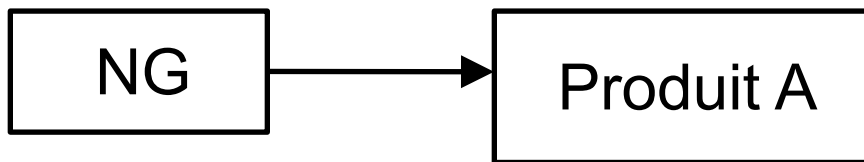
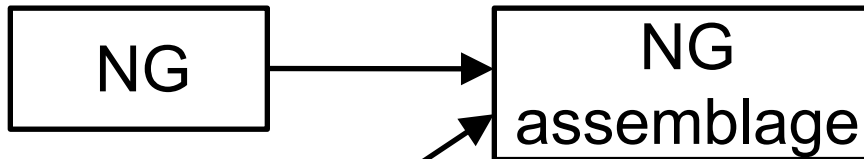
Les écarts ne se compensent pas, ils se cumulent (retard maximum sur les dernières opérations)

# Configurations possibles (1)



- Le Non-Goulot ne doit pas avoir un flux supérieur au Goulot (sinon encours)
- La machine Non-Goulot ne peut pas avoir un flux supérieur à la machine Goulot

# Configurations possibles (2)



- Le Non-Goulot ne doit pas avoir un flux supérieur au Goulot (sinon encours). L'assemblage et le NG doivent suivre le rythme du G
- Même si les 2 lignes sont indépendantes, la production du NG doit être limitée à la demande du marché (pas la capacité !)



# Règles OPT (1)

- Il ne faut pas équilibrer la capacité avec la demande (vision statique) mais il faut équilibrer le flux de produits dans l'usine avec la demande.
  - Le goulot détermine le flux effectif de l'usine.
- Le niveau d'utilisation d'un Non-Goulot n'est pas déterminé par sa capacité mais par d'autres contraintes du système.
  - Un Non-Goulot peut être parfois inutilisé (par définition).

# Règles OPT (2)

- Il faut utiliser les ressources (s'en servir pour se rapprocher du but) et non activer les ressources (s'en servir pour produire sans nécessité).  
Activer un Non-Goulot augmente les encours pour rien.
- Une heure perdue sur un goulot est une heure perdue pour l'ensemble du système.  
Le coût d'arrêt d'un goulot est égal à l'argent non généré par l'usine !

# Règles OPT (3)

- Une heure gagnée sur un Non-Goulot ne sert à rien.
- Les goulots conditionnent le flux et les niveaux de stock.
- Le lot de transfert peut être inférieur au lot de production.  
Le niveau d'encours est plus faible et le cycle de production plus court.

# Règles OPT (4)

- Les lots de production sur les Non-Goulot peuvent être inférieurs aux lots économiques.  
Les NG n'étant pas toujours utilisés, il est possible d'utiliser ce degré de liberté pour diminuer les lots donc les stocks.
- L'objectif est d'optimiser globalement le système de production  
différent de la somme des optima locaux
- L'ordonnancement est le résultat de la prise en compte des capacités et des contraintes matières  
Pas de délai de planification a priori.



# Démarche de mise en œuvre (1)

- Données initiales : Plan Directeur de Production
- Identification des goulots
  - Stocks en amont
  - Utilisation maximale indispensable pour les produits
  - Produits utilisant cette ressource en retard

# Démarche de mise en œuvre (2)

- Utilisation des contraintes

Les goulots doivent toujours travailler

Définition de la date de passage des produits sur les Goulots

Définition des dates d'approvisionnement des produits passant sur les Goulots

Définition des dates d'assemblage

Définition des dates d'approvisionnement sur les NG

Définition des dates de passage sur les NG

# Démarche de mise en œuvre (3)

- Bien utiliser les goulots
  - Les goulots doivent toujours travailler pour la vente (pas pour le stock)
  - Personnel sensibilisé à l'importance du Goulot (il ne doit JAMAIS être arrêté)
  - Diminuer le temps de reconfiguration sur le Goulot
  - Stocks de protection en amont du Goulot
- Élever la capacité des goulots
  - Machines de substitution aux Goulots
  - Contrôle en amont des Goulots
- Si le goulot a disparu, rechercher le nouveau Goulot

# Conclusions

- Les idées d'OPT sont très intéressantes !!!
- Elles peuvent permettre de faire évoluer tout système de production.
- Cette méthode est très peu (pas en France ?) utilisée telle quelle car elle remet complètement en cause la comptabilité analytique et la valorisation des stocks.
- Un logiciel existe mais il fonctionne comme une boîte noire.





# Logistique



# Distribution physique

- Objectif

Mise à disposition des produits fabriqués avec des contraintes de niveau de service, de coût et de délai

- Opérations

traitement des commandes, manutention, emballage, entreposage, gestion des stocks, transport

# Distribution physique (2)

- Niveaux opérationnel et structurel
- Niveau opérationnel
  - gestion des stocks, définition des tournées,  
définition des règles de gestion de l'entrepôt
- Niveau structurel : définition du réseau de distribution
  - nombre de niveaux (entrepôt central, dépôt,  
plate-forme),
  - nombre d'établissements à chaque niveau
  - localisation et capacité des établissements



# Gestion de l'entrepôt : entreposage

- Raisons d'existence d'entrepôts
  - se protéger contre les aléas
  - réduction des délais de livraison
  - regroupement des produits de différents fournisseurs

# Gestion de l'entrepôt : entreposage (2)

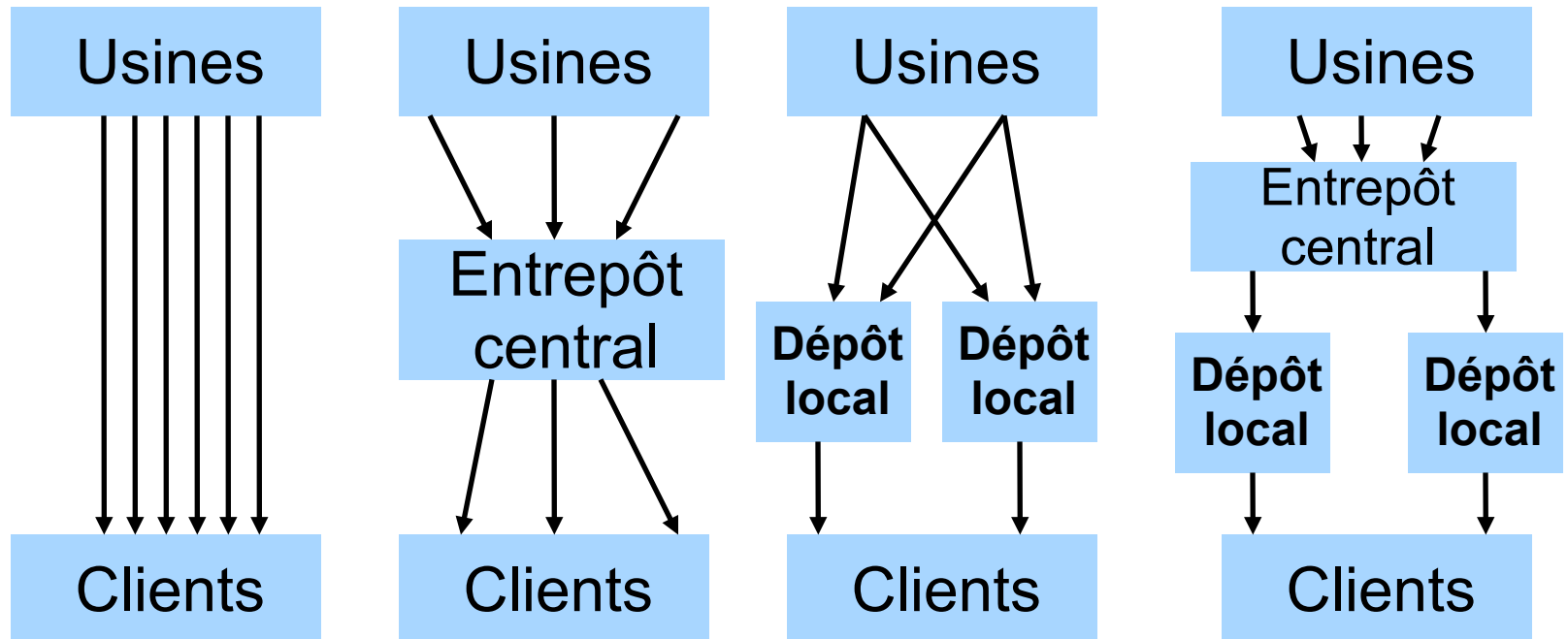
- Circuit des produits
  - déchargement du moyen de transport
  - contrôle quantité (et qualité)
  - transfert jusqu'à l'emplacement défini
  - déclaration d'entrée (informatique)
  - stockage (qqs jours à qqs semaines)
  - préparation des commandes
  - contrôle, emballage
  - transfert jusqu'au moyen de transport

# Gestion de l'entrepôt : entreposage (3)

- Stockage affecté
  - 1 référence occupe toujours le même emplacement
  - facilité de gestion mais risque de surdimensionnement de l'entrepôt (faible taux de remplissage)
- Stockage banalisé (ou aléatoire)
  - une référence est affectée à un emplacement disponible
  - gestion informatisée, fort taux de remplissage
- Stockage mixte

# Réseaux de distribution

- Structure



# Réseaux de distribution (2)

- Livraison directe  
sans rupture de charge de l'usine au client  
lot suffisant pour remplir un camion ou un wagon  
à destination d'un même client
- Système à un étage  
centralise les productions de toutes les usines  
pour les acheminer vers les clients d'une zone  
géographique (pays)
- Système à 2 étages  
avec préparation des commandes au niveau  
central (pas de reconditionnement) ou local



# Evolution des réseaux de distribution (1)

- Juste à Temps : augmentation de la fréquence des commandes, diminution taille des livraisons et réduction délais
- Réduction des coûts de stockage par diminution du nombre de dépôts
  - Besoins supplémentaires satisfaits par sous-traitance
  - Entrepôt central avec plates-formes d'éclatement (sans stock) pour livraison finale

# Evolution des réseaux de distribution

## (2)

- Sociétés de distribution physique pour compte d'autrui  
transport, entreposage, préparation des commandes, gestion des stocks, conditionnement, étiquetage, réapprovisionnement des linéaires des grandes surfaces  
systèmes informatiques spécifiques
- En grande distribution  
plate-formes avec stock produit sec  
plate-formes sans stock pour alimentaire frais

# Distribution Requirements Planning (DRP)

- Calcul des commandes à passer par l'entrepôt central par consolidation des besoins exprimés par les dépôts locaux
- Les dépôts locaux font des prévisions de distribution. En tenant compte du stock initial, des quantités de livraison et des délais de livraison, les dépôts définissent les commandes à passer au magasin central (// Calcul Besoins Nets)

# Affectation des usines aux dépôts

- L'affectation des usines aux dépôts est un problème classique de recherche opérationnelle pouvant être résolu par :
  - la méthode du stepping stone
  - la programmation linéaire (solveur Excel)



# Supply Chain Management (SCM)

- Logistique : origine militaire puis management (Harvard, 1977)
- Supply Chain : concept apparu dans les années 1990
- Nécessité de domination par les prix ET par la différenciation  
coûts, qualité, délai, flexibilité (volume et mix-produit), niveau de service, risques

# Logistique

- "Gestion des flux de produits et d'informations depuis l'achat des matières et composants jusqu'à leur utilisation par le client, visant à satisfaire la demande finale sous contraintes de délai, qualité et coût"
- Planification, gestion des opérations, mesure performance du fournisseur au client
  - achats, approvisionnements, production, distribution physique

# Supply Chain

- La chaîne logistique globale ou Supply Chain est une extension de la logistique à l'amont (fournisseurs des fournisseurs) et à l'aval (clients des clients)  
à d'autres fonctions : **conception**, achat, approvisionnement, production, distribution physique, **soutien logistique**, **recyclage**

# Coût de la supply chain

- Coût de la Supply Chain 10% CA
  - Gestion des stocks : 3%
  - Administration et informatique : 2%
  - Entreposage : 2,5%
  - Transport 3%
  - Calcul ramené à une quantité (euros/tonne)
- Si marge faible (grande consommation)
  - Coût supply chain > marge
  - Organisation logistique performante

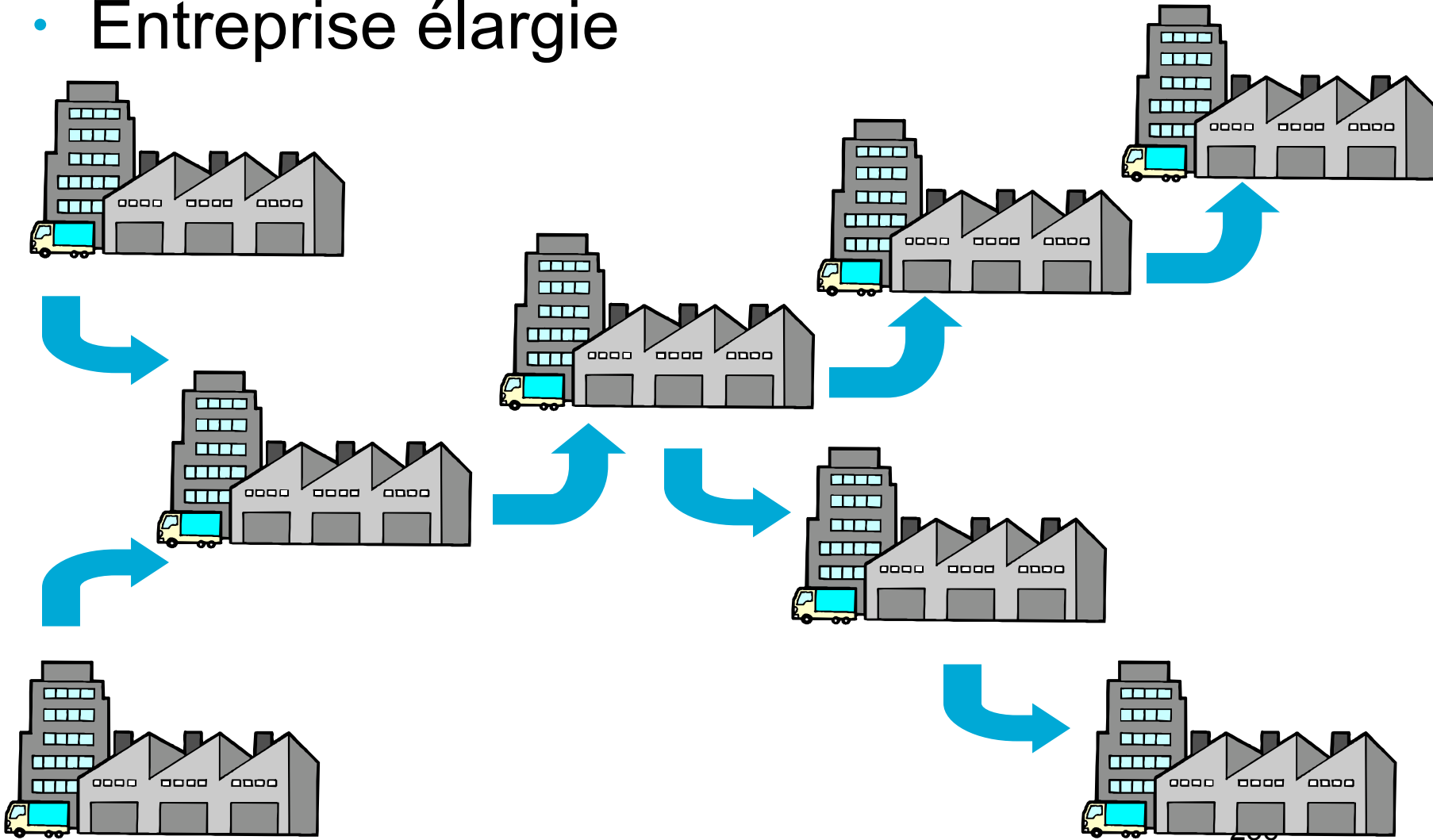


# Concepts de la supply chain

- Vision globale
- Segmentation de la clientèle
- Adaptation au besoin
- Partenariat fournisseurs, producteurs, distributeurs
- Différenciation retardée

# Vision globale

- Entreprise élargie




# Segmentation de la clientèle

- Volume (10.000 T/an, 1kg/mois)
- Délai (1h, 1 mois)
- Régularité (tous les jours, 3 fois par an)
- Eloignement (50m, 8.000 km)
- Niveau de service (99% géré ou 90%)
- Dangereusité des produits
- Accessibilité de lieux de livraison (en ville?)

# Adaptation au besoin

- Préparation de commandes particulières
- Livraisons plusieurs fois par jour par palettes
- Exportation (douanes, transitaires, commissionnaires)
- Produits frais (exemple : SC frais différent SC épicerie Nestlé France)



# Partenariat fournisseurs, producteurs, distributeurs

- Prévisions communes des ventes
- Conception commune des produits
- Conception commune de la chaîne logistique (zones de stockage)
- Amélioration conjointe des coûts
  
- Développement de la fonction ACHATS

# Flux d'informations

- ERP communs ou communicants
- APS

Advanced Planning and Scheduling Systems

Progiciels de SCM apparus vers 1995

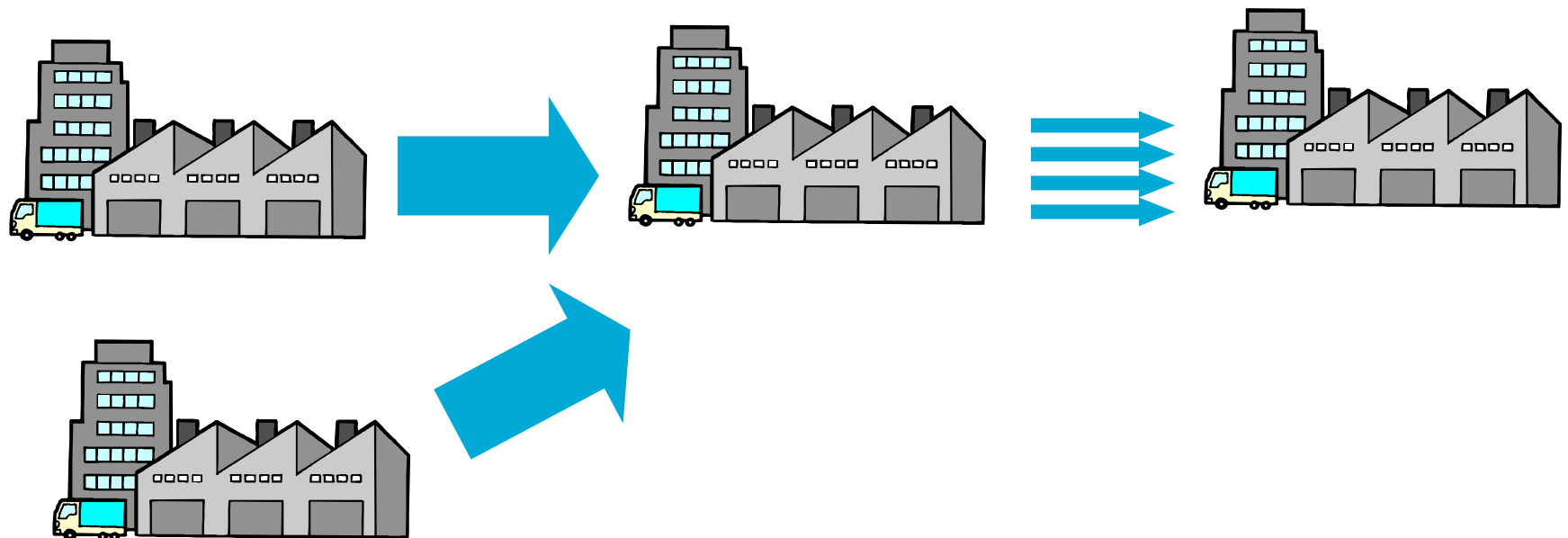
Optimisation de l'ensemble de la chaîne  
logistique (prévision demande, planification  
production, approvisionnement)

Couche supérieure des ERP dont ils utilisent la  
base de données

Principaux : Manugistics, I2, Synquest, Numetrix

# Différenciation retardée

- Différenciation le plus tard possible (le plus près possible du client final)
- Livraison des produits banalisés qui sont personnalisés à la dernière étape



# Transports

- Indispensable pour assurer les flux physiques
  - fournisseurs - usine
  - inter-usines
  - usines-entrepôts
  - entrepôts clients
- Important pour la qualité de service
  - retards, erreurs, pertes, casses, ...



# Modes de transport

- Dans l'Europe  
Modes principaux : route, fer, voies navigables
- Importations et exportations de l'Union Européenne  
Modes principaux : transports aériens et maritimes

# Route

- Première place en France et en Europe
  - 89% des tonnes chargées
  - 75% des tonnes x km
  - 59 % (?) sur moins de 50 km
  - 79 % à moins de 150 km
- Croissance forte
  - développement des messageries express
  - seul moyen pour porte à porte
  - malgré encombrements réseaux
  - taille moyenne des entreprises 7 personnes

# Fer

- Deuxième place en France
  - 9 % des tonnes transportées (144 millions de T)
  - 27% des tonnes x km (52 milliards de T.km)
- Régulière baisse de trafic
  - inadapté au juste à temps
  - malgré wagons adaptés à chaque type de transport et possibilité "rail-route" et embarquement semi-remorques
  - principalement : minerais, produits métallurgiques, produits agricoles, denrées alimentaires, combustibles

# Voie navigable

- Faible part de marché  
2% en France (16% en Allemagne, 50% aux Pays-Bas)  
5 milliards de T.km (1998)
- Trafic en baisse  
faible réseau  
entreprises artisanales  
malgré tarifs faibles et écologique

# Transport maritime

- En progression

5 milliards de T dans le monde (1998)

22.000 milliards de T.miles nautiques dans le monde (1998)

Principalement des matières premières dont les produits pétroliers (39% des T), minerais, charbon, céréales

Les marchandises (plus de valeur ajoutées) sont surtout transportées en containers (20% du trafic total)

# Transport aérien

- Progression

83 milliards de T.km dans le monde (1995)

19% en valeur échanges extra-communautaire  
(0,9% en tonnage)

Rapide (3 jours porte-à-porte entre Paris et  
Denver contre 26 jours par voie maritime)

Cher (2,5 à 4 fois plus cher que le transport  
maritime) sans intégrer les opérations  
terminales

Avions spécialisés (100 T sur plus de 10.000 km)

# Choix du mode de transport

- Choix d'un mode de transport pour un produit et une livraison ?
- Critères sur le mode de transport  
délai, fréquence, coût, fiabilité, risques  
protection environnement ? Quelle société ?
- Critères sur le produit  
fragilité, température de conservation,  
**URGENCE**
- Comparaison sur porte à porte et  
intégration du coût du stock

# Choix du mode de transport (2)

	Caractéristiques	Choix pour national	Choix pour international
Approvisionnement matières premières	Volumes et tonnages importants Trafics réguliers	Fer Voies navigables	Transport maritime (pétroliers, vraquiers)
Transport inter-usines de sous-ensembles	Envois réguliers Lots de 3 à 23 T	Concurrence Fer route	Concurrence Fer route
Livraisons vers le client (ou entrepôt)	Variété d'expéditions Lots de kg à T	Groupage route Groupage fer	Transport aérien