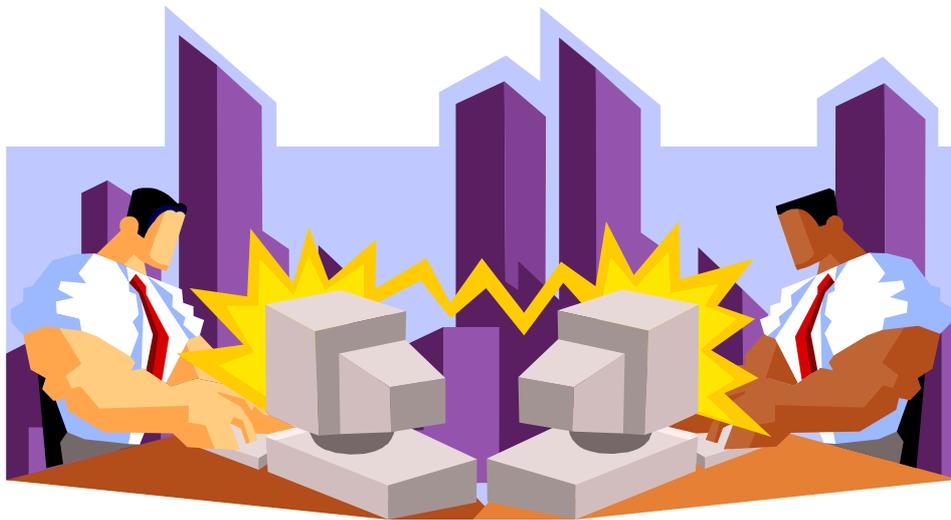


# Gestion de la Production



*Éléments de cours*

E.Presta

# Sommaire

Introduction	3
Principaux systèmes de production	10
Les types de production	11
Nomenclatures	12
Flux de production	15
Analyse de déroulement	18
Algorithme de JONHSON	22
MRP	26
Seuil	34
Coût de production	41
Etude des temps opératoires	52
Planification	64
De la ligne à la cellule flexible	73
Les 7 gaspillages en production	76
Taylor	78

# Gestion de la production

## 1. Introduction

La gestion de production est au cœur de l'entreprise industrielle. En effet, pour fabriquer un ou plusieurs produits en réponse à des besoins, il va falloir combiner entre eux de la manière la plus efficace, plusieurs facteurs de production.

Les plus courants sont le travail (main d'œuvre), le capital (terrains, constructions, machines) et la matière (matières premières et marchandises).

Depuis la fin du XIXe siècle, les entreprises industrielles ont été conduites à s'organiser et à spécialiser les tâches de leur personnel.

On y a ainsi vu naître de grandes fonctions correspondant à des types de travaux bien définis :

- recherche et études,
- production,
- commercialisation,
- fonctions administratives et financières

L'évolution de l'environnement (national et international) et des besoins a entraîné le développement du marketing.

**(Marketing** : analyse, planification, mise en œuvre et contrôle des programmes conçus pour mener à bien les échanges souhaités afin de réaliser un gain personnel ou mutuel.)

Les objectifs de la G.P. sont :

- réduction des coûts
- amélioration de la qualité
- diminution des délais

### **Qualité** :

Les produits fabriqués doivent être conformes aux spécifications définies par le bureau d'étude et donc aux besoins des clients.

La qualité peut être appréciée par référence à des **normes** (par exemple une qualité minimale est fixée par le gouvernement en matière de produits alimentaires ; dans le domaine du bâtiment, des règles relatives aux structures sont publiées par des organismes professionnels et des bureaux de contrôle sont chargés de les faire respecter.

### **Délais** :

- Ils sont liés :
- au cycle de production,
  - à la nature des marchés,
  - à la concurrence

Le délai (et la capacité qu'à la production de le tenir) est une variable de marketing importante, au même titre que le prix ou la distribution.

### **Coûts** :

Les coûts sont en parties fonctions de facteurs techniques.

La production n'est généralement pas responsable de la marge puisqu'elle ne fixe pas le prix de vente, mais elle doit produire aux coûts prévus : elle sera responsable des écarts (par rapport aux devis). La condition de la tenue de l'objectif de coût tient à une utilisation harmonieuse du potentiel de

production, à la fois dans le temps (éviter les périodes de sur- ou sous- capacité) et dans l'espace (équilibre des machines et des lignes).

### Les moyens :

#### - les hommes : motivation du personnel

De nombreuses études ont mis en évidence la divergence qui existe entre les objectifs d'une entreprise et ceux de ses membres.

La motivation et la satisfaction du personnel sont susceptibles d'améliorer la productivité.

#### - la technique :

Le matériel technique doit être adapté à la fabrication des produits dans les meilleures conditions du coût.

Il doit être renouvelé quand il est usé ou dépanné. Un secteur d'activité peut être caractérisé par le ratio « d'intensité capitalistique » = augmentation de la production

Investissements nécessaires

#### -les ressources financières :

Elles permettent de financer les investissements et l'exploitation. La production est à l'origine d'une grande part des besoins en investissements.

Les contraintes financières peuvent obliger à remettre en question les plans de production (limitation de la capacité de production).

#### -les marchés :

Un produit est la solution retenue par une entreprise, pour la satisfaction d'un besoin détecté sur un marché.

#### -les matières et les marchandises :

Elles sont l'objet des transformations effectuées par les machines et par les hommes. Elles doivent être achetées dans les conditions requises par l'entreprise de qualité, délai, coût (rôle du service approvisionnement).

#### -l'organisation :

Il s'agit de l'élaboration des méthodes qui vont avoir une influence sur le travail et sur son résultat. Elle implique l'agencement des postes de travail qui vont influencer les flux de la matière, la mise en place des structures, la conception et l'utilisation des systèmes d'information et de décision. Elle est à l'origine de l'efficacité d'une entreprise.

## 2. L'entreprise

L'entreprise est une unité économique où se combinent divers facteurs en vue de produire des biens ou des services et de les vendre sur un marché afin d'en retirer un revenu monétaire : **le profit**.

La conduite d'une entreprise nécessite la mise en place d'une structure adaptée d'autant plus rigide et contraignante que l'entreprise sera importante.

Quelle que soit cette structure, on retrouvera toujours les différentes fonctions nécessaires, plus ou moins développées selon la vocation propre de l'entreprise :

- direction
- fonctions commerciales
- fonctions comptables et financières
- fonctions administrations
- fonctions sociales
- fonctions techniques

### **2.1. Fonction de direction :**

- détermine la politique de l'entreprise
- fixe les objectifs
- prend les décisions en fonction des évènements (externes/internes, constatés ou prévisionnels)

### **2.2. Fonctions commerciales :**

- étude de marché,
- prospection,
- vente,
- promotion des ventes,
- publicité,
- gestion des commandes,
- après vente

### **2.3. Fonctions comptables et financières :**

- caisse
- comptabilité générale  
analytique  
des matières  
des immobilisations

### **2.4. Fonctions administrations (et gestion) :**

- administration générale,
- programmes – statistiques – documentation,
- études économiques,
- contrôle de gestion,
- préparation des décisions,
- organisation et méthodes générales,
- traitement de l'information,
- marchés,
- services juridiques,
- relations extérieures, relations publiques

### **2.5. Fonctions sociales :**

- recherche, sélection, embauche, accueil du personnel,
- apprentissage, formation, perfectionnement,
- gestion du personnel,
- paye,
- hygiène et sécurité du travail,
- services sociaux – médicaux,
- syndicats

### **2.6. Fonctions techniques :**

- études,
- méthodes, outillages, temps,
- devis,
- investissements,
- ordonnancement – planning – lancement,
- approvisionnements,
- fabrication (ateliers),
- contrôle,

- conditionnement,
- expédition,
- transport,
- qualité,
- normalisation,
- entretien, dépannage
- recherche et essais

Toutes ces fonctions plus au moins complexes sont étroitement liées. Les actions de chacune entraînent forcément des conséquences sur d'autres.

La structure de l'entreprise mise en place permettra d'assurer la cohérence entre chaque fonction avec une efficacité maximum. Cette structure s'articulera selon un réseau de liaison :

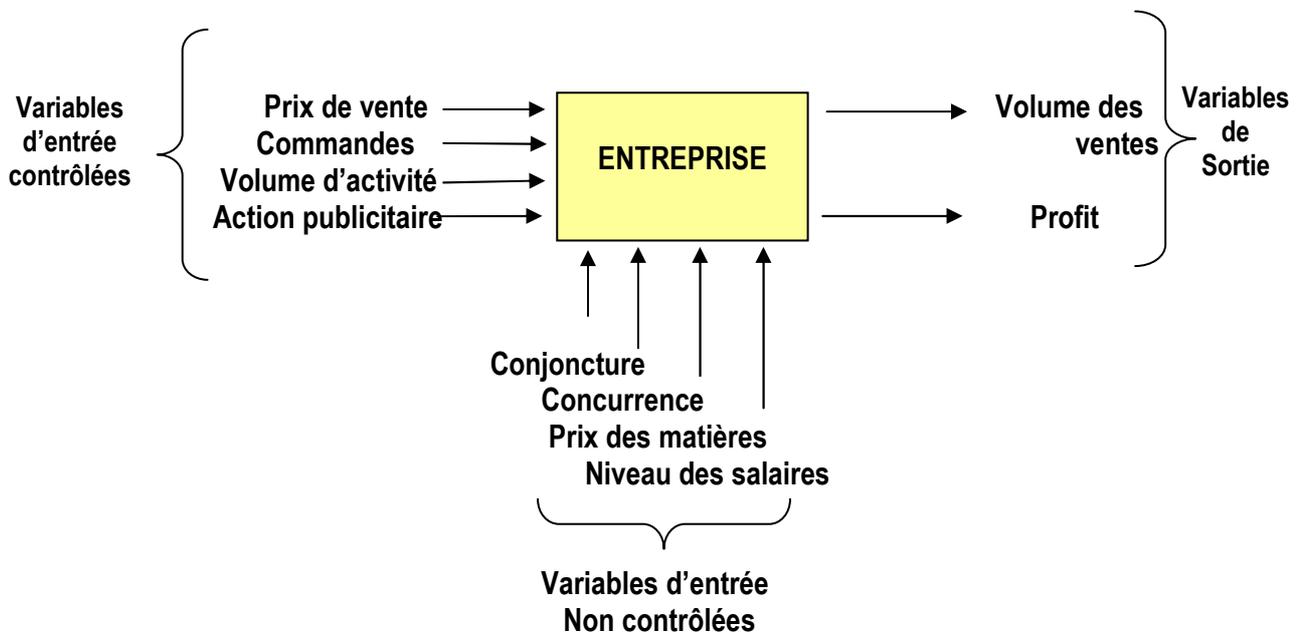
- hiérarchiques
- opérationnels

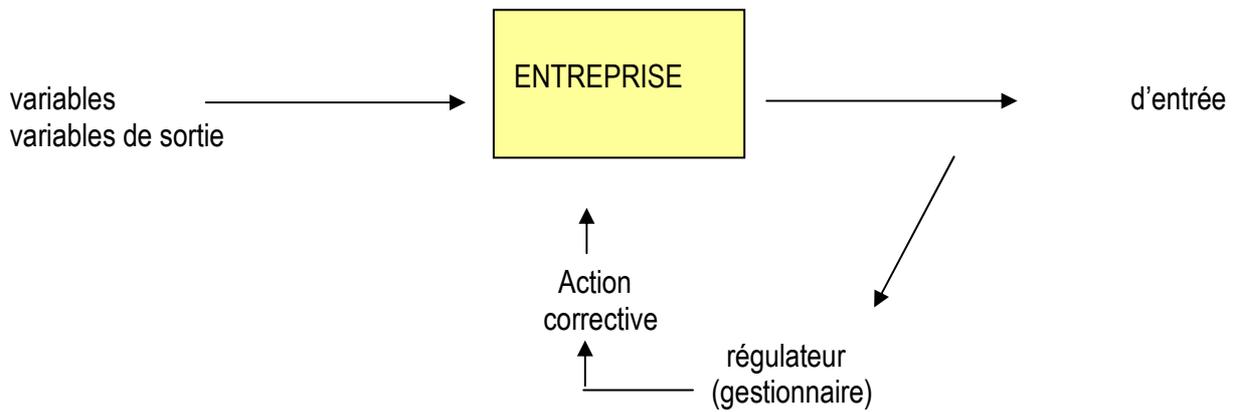
qui tendra à maîtriser les différents flux :

- moyens (hommes, machines, bâtiments)
- commandes (de la prospection à la livraison)
- matières (nécessaires à la réalisation des produits)
- financières (décaissement – rentrées)

La mise en œuvre de cette structure sera assurée par des gestionnaires. Ce sont eux les véritables régulateurs du système qui permettent par leurs interventions correctives d'assurer la bonne marche de l'entreprise vers l'objectif fixé, après avoir mesuré les écart de sortie, ce qui permet ainsi d'assimiler l'entreprise à un véritable système asservi.

L'entreprise fonctionne en permanence avec ces moyens qui peuvent être considérés comme des constantes dans une période donnée. Elle reçoit un certain nombre de véritables contrôlées ou incontrôlées qui modifie l'objectif visé et donc directement les variables de sorties (volume des ventes et profit).





Le gestionnaire agira en fonction de l'analyse des résultats (comparaison / réalisation / prévision) pour corriger la marche de l'entreprise.

L'organisation mise en place dans l'entreprise devra permettre cette comparaison en permanence. Elle devra également permettre la production au meilleur compromis coût, qualité, délai.

2 circuits cohabitent en permanence

- un circuit physique des produits ou moyens,
- un circuit comptable qui sera la chaîne de mesure du gestionnaire.

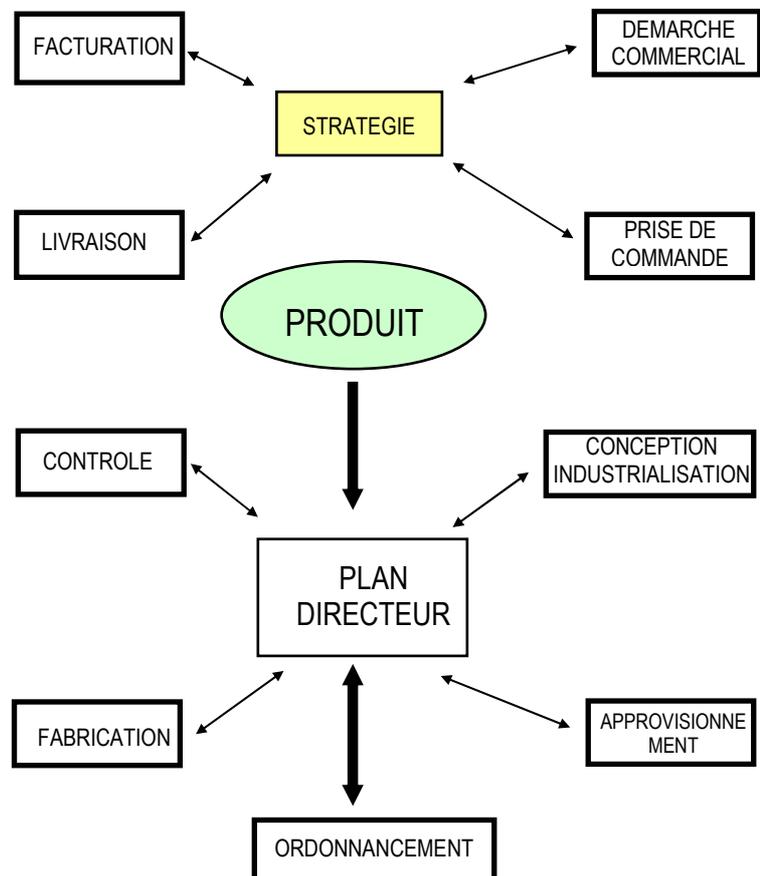
L'informatique permet :

-de fournir des renseignements globaux et spécifiques sur les actions et réalisations provoquées par chaque décision.

**-d'obtenir en temps, qualité et quantité, toutes les informations nécessaires et suffisantes à la prise de décision.**

### 3. Le produit

Vie d'un produit dans l'entreprise



## 4. Le marché

### **Exemple de la Hi-Fi**

Aujourd'hui la fabrication de hi-fi est quasi-exclusivement japonaise. A force d'étouffer leurs concurrents étrangers, les fabricants japonais doivent se battre entre eux pour la conquête des parts de marchés, à armes quasi-égales, les méthodes et ressources étant les mêmes.

Le marché est déjà bien équipé, la chute régulière des prix ayant diffusé largement les appareils dans les ménages. Le disque CD était la dernière innovation qui a donné un grand dynamisme au marché, mais en l'espace de dix ans, la saturation était atteinte.

Des essais de réédition de ce succès avec des médiums (des supports) différents n'ont pas été des succès et cela se comprend facilement;

S'il était possible de faire faire aux consommateurs le deuil des disques en vinyle et des enregistrements sur cassettes, en échange d'un média **inaltérable** et d'une **qualité insurpassable**, le consommateur rechigne à recommencer l'opération avec un nouveau support.

Dans le souci de continuer à se ménager des créneaux porteurs, bien des fabricants ont pris l'habitude d'annoncer, un peu rapidement, l'arrivée de nouveaux supports (et/ou de nouveaux standards), au seul profit de l'hésitation grandissante bien compréhensible et de **l'attentisme** des consommateurs, ceux-ci attendant une plus grande stabilité de l'offre et une certaine pérennité de leurs *investissements*.

Il est apparu un nouveau type de marché, celui du deuxième voire du troisième équipement; les enfants veulent leur propre hi-fi, et il est de plus en plus fréquent d'en équiper plusieurs chambres (idem pour la multiplication des téléviseurs). Ces équipements-là sont en général moins sophistiqués et surtout moins chers que les appareils "de qualité" qui restent en général au salon.

La tendance de l'électronique grand public est de fondre la hi-fi, la vidéo, la micro-informatique dans un magma de plus en plus flou nommé **Multimédia**. Ceci rend parfois délicate la catégorisation de certains produits, mais avant tout amène plus de technicité dans les unités, comme le traitement de la vidéo à travers un amplificateur hi-fi (Home Cinema), par exemple.

De fait, ne pouvant révolutionner l'existant, ce sont par les petites innovations que les concurrents essaient de **se différencier**. La conséquence est que la durée de vie d'un modèle en hi-fi est d'un an en moyenne, souvent moins.

Les changements de "cosmétique" c'est à dire d'apparence et/ou des changements mineurs font qu'un design de base peut durer deux saisons, tout en contentant la demande du marketing et en prenant soin de changer le nom du modèle.

- **Que veut le consommateur ?**
  - De manière générale : des prix plus bas, plus de variétés dans ses choix, et même la possibilité d'une certaine personnalisation.
- **Qu'est-ce que cela implique pour les constructeurs ?**
  - Plus de productivité et plus de flexibilité.

Cela n'est pas propre à l'électronique grand public, car cette mutation du client (du marché) touche progressivement tous les secteurs.

## ***Le changement de concurrents***

A l'époque de la production de masse, et pour la plupart des secteurs manufacturiers, les constructeurs japonais ont d'abord axé leurs efforts sur la qualité de leurs produits. Puis leurs produits ont été plus **variés**, grâce notamment aux efforts des fabricants de composants qui fournissaient des pièces créées sur mesure, ceci même pour des volumes relativement faibles.

Finalement, le **dumping**, consistant à vendre dans son propre pays plus cher qu'à l'export, ou encore à vendre sous le prix du marché et se payer sur la durée, grâce notamment à la disparition des concurrents, a pleinement joué son rôle.

Les clients, *éduqués* par ces pratiques les réclament désormais comme un dû **qualité, variété et petits prix**.

De nouveaux pays émergents font leurs les recettes du succès des entreprises japonaises et certaines entreprises occidentales ayant compris la leçon, se reprennent.

Impossible dès lors de revenir à "l'âge d'or" où le marché absorbait tout ce qui était produit, avec des acheteurs dociles. La tendance du client vraiment **roi** est destinée à durer !

## Les principaux systèmes de GP

<u>Exemples</u>	<u>Typologie de production</u>	<u>Mode de lancement</u>	<u>Objectifs prioritaires</u>	<u>Méthodes de GP</u>	<u>% entreprises</u>
Machines outils, fabrication aéronautique	Produits complexes, stables.  Nomenclature structurée et nombreux composants	Discontinu par périodes fixes (1 à 2 semaines)  Planifié par lots en fonction de prévisions commerciales.	Fabriquer juste à temps en quantité suffisante.  Moyens de production organisés en sections homogènes ou en lignes	M.R.P.  Méthode de régulation de la production	20%
Electroménager, automobile, chaussures	Produits stables, des options  Mais en général peu de variantes	Continu séquencé (plusieurs fois par jour)  Pour petits lots répétitifs à la demande	Fabriquer juste à temps sans stock.  Moyens de production organisés en ligne de fabrication.	KANBAN	(5%)  en hausse 10%
Satellite, ouvrage d'art, construction navale	Produits très complexes à forte valeur ajoutée  Cycle de production long	Unitaire  Lots non répétitifs à la commande	Respect des délais  Longue durée (1 à 2ans)	MULTIPROJET  PERT	5%
Mécanique générale, Imprimerie	Produits plus ou moins complexes	Unitaire ou lots répétitifs à la commande	Plein emploi des moyens et respect des délais.  Ateliers de sous-traitance organisés en section homogènes	GESTION DES MOYENS PAR LA CHARGE	(70%)  65%

# Les types de production

En 1965 WOODWARD a défini quatre types de production :

## 1. Le type processus

Il se caractérise généralement par une matière première unique, par une production en continu d'un ensemble de produits liés. Le rendement est induit par l'investissement initial. Le fonctionnement de l'unité de production est souvent entièrement automatisé. Exemples : chimie, pétrole, ciment, laiterie, sidérurgie...

## 2. Le type projet

Il se caractérise par un produit unique. C'est la réponse originale à un besoin spécifique sans reproduction ultérieure exacte du même modèle. Chaque commande couvre une longue période et conduit à résoudre des difficultés nouvelles. Exemples: travaux publics, construction navale, centrale atomique, usine clés en main...

## 3. Le type masse

Il se caractérise par des produits divers de grande consommation lancés en grandes séries. L'accent est mis sur la haute productivité. Il fait appel à des composants hautement standardisés. Exemples : automobiles, électroménager, confection, restauration rapide, préfabrication (bâtiment)...

## 4. Le type atelier

Il se caractérise par des produits multiples lancés en lots de fabrication. La production est organisée de manière à faire face aux commandes avec une grande souplesse. Les produits comportent de nombreuses options personnalisées. Ils sont néanmoins constitués de composants standardisés ou fabriqués sur commande. Ce sont généralement des produits à haute valeur ajoutée. Exemples : machines-outils, avionique, constructions mécaniques...

Il existe de nombreuses autres manières de classer les types de production. En particulier, on distingue souvent d'une part, la production **continue** (flow shop) effectuée sur des lignes de fabrication spécialisées, d'autre part, la production **discontinue** (job shop), en îlots de production ou en ateliers agencés en sections homogènes.

Un classement selon la relation avec la clientèle est également possible. On distinguera alors la production sur **stock** de la production à la **commande**.

# Nomenclatures

On appelle nomenclature l'inventaire exhaustif et méthodique des éléments d'un ensemble. Dans une entreprise, tous les services utilisent des nomenclatures : le bureau d'étude établit des nomenclatures de définition, les méthodes des nomenclatures de gammes, le service commercial des nomenclatures d'articles.

Le service de gestion de production crée des nomenclatures de fabrication et d'assemblage qui permettent de transformer les données commerciales en données de production.

Toute nomenclature comprend deux parties

1°/ la liste des articles constitutifs avec leurs caractéristiques.

2°/ les liens qui unissent deux articles. Chaque lien est caractérisé par un coefficient de montage, c'est-à-dire, l'indication du nombre d'unités du composant nécessaire pour la création d'une unité du composé.

Les nomenclatures d'assemblage peuvent se présenter sous trois formes :

## 1. Les nomenclatures matricielles

C'est un tableau à deux entrées, par exemple, une colonne par composant et une ligne par composé. Cette représentation est particulièrement pratique lorsque les produits fabriqués comportent un grand nombre de composants communs à de nombreux composés. Ce type de nomenclature se prête bien au calcul matriciel.

Exemple de nomenclature matricielle :

		Composants					
		a	b	c	d	e	f
C o m p o s é s	A		1		1	2	1
	B	1	1	1	3	1	2
	C	2	1	1	1	1	
	D	1		2	1	1	1
	E		1	1	1		2

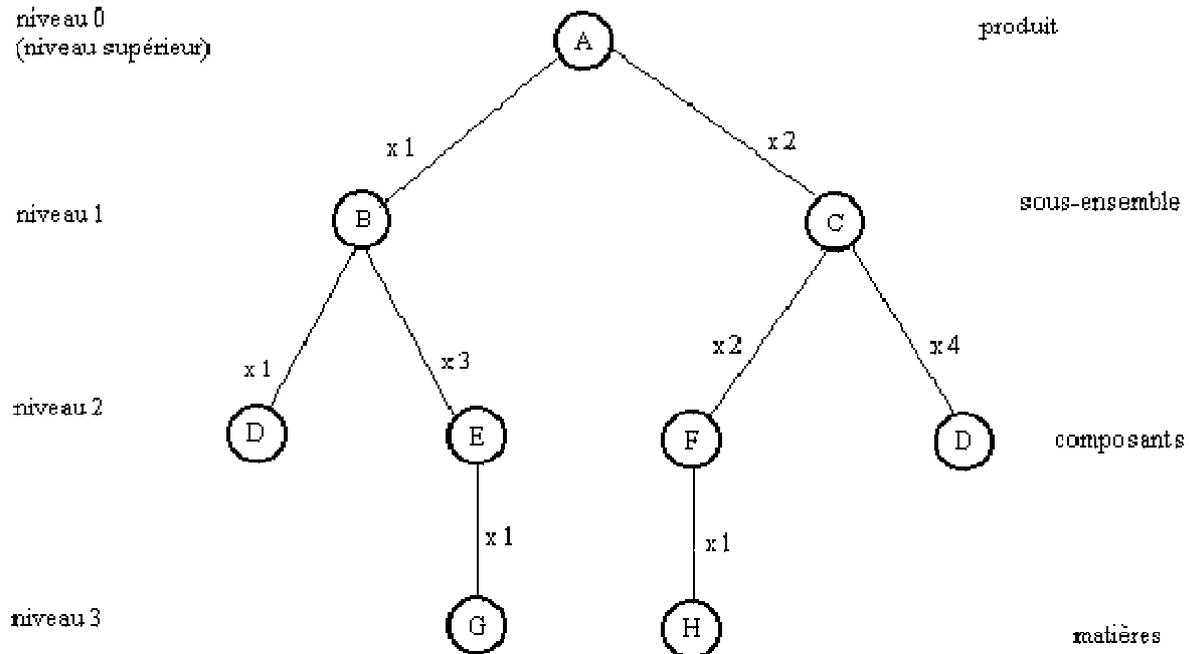
La présence du coefficient de montage dans une case indique qu'un lien de nomenclature existe entre le composé de la ligne et le composant de la colonne de la case. Dans la nomenclature ci-dessus, le coefficient de montage 3 concerne le composé B et le composant d : il faut donc trois composants d pour faire un composé B.

## 2- les nomenclatures arborescentes.

Elles sont dites cascadiées ou multi niveaux. Chaque produit fabriqué y est décrit selon le processus de réalisation et d'assemblage en atelier.

Ces nomenclatures définissent, sous une forme hiérarchisée, les composants de chaque composé. Cette forme de nomenclature est la plus répandue car elle est visuelle et se prête bien à une représentation sous forme de graphe compréhensible par tous et sur lequel le paramètre temps peut figurer.

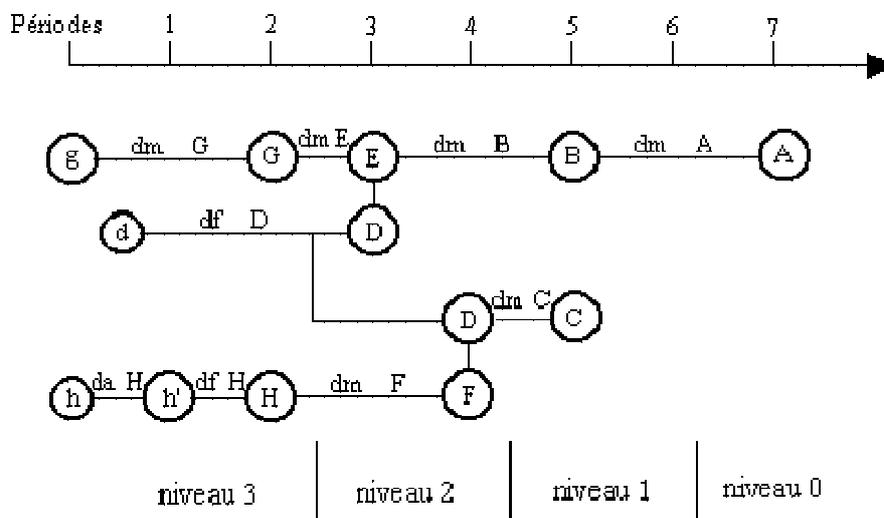
**Exemple de nomenclature arborescente :**



L'arborescence représente les différents niveaux permettant d'obtenir le produit fini (niveau 0 = niveau supérieur) à partir des matières (niveau inférieur).

Les indications X<sub>i</sub> correspondent aux coefficients de montage, c'est-à-dire, au nombre d'articles de niveau inférieur qui entre dans la composition d'un article de niveau supérieur.

Exemple de nomenclature arborescente faisant intervenir le paramètre temps (râteau de fabrication) : représentation de la nomenclature précédente :



**Légende :**

g, d, h, ... : matières

G, D, H, ... : composants

da i : délai d'approvisionnement

df i : délai de fabrication

dm i : délai de montage

Noter que l'article D n'est représenté qu'une fois alors qu'il intervient dans deux sous-ensembles.

**5. Les nomenclatures modulaires**

Elles sont dites par variantes :

Elles concernent les sous-ensembles communs à plusieurs produits. Lorsqu'une famille de produits est constituée d'un grand nombre de versions réalisées à partir de sous-ensembles standardisés, il est préférable de faire uniquement des nomenclatures pour ces sous-ensembles plutôt qu'une nomenclature générale.

**6. Informatisation des nomenclatures**

La méthode la plus répandue a été mise au point chez IBM et est connue sous le nom de BOMP (Bill Of Material Processor) en français : processeur de nomenclature. Elle consiste à créer deux fichiers l'un pour les articles, l'autre pour les liens et, grâce à des pointeurs, établir les renvois d'un fichier à l'autre. Pour le fichier "articles" la saisie portera principalement sur :

- la désignation,
- le code de l'article.

Pour le fichier "liens", il faudra au moins les éléments suivants :

- le code du composé
- le code du composant
- le coefficient de montage
- les adresses informatiques des renvois.

Cette méthode présente deux avantages :

1°) Chaque donnée est mémorisée d'une façon unique (une seule saisie)

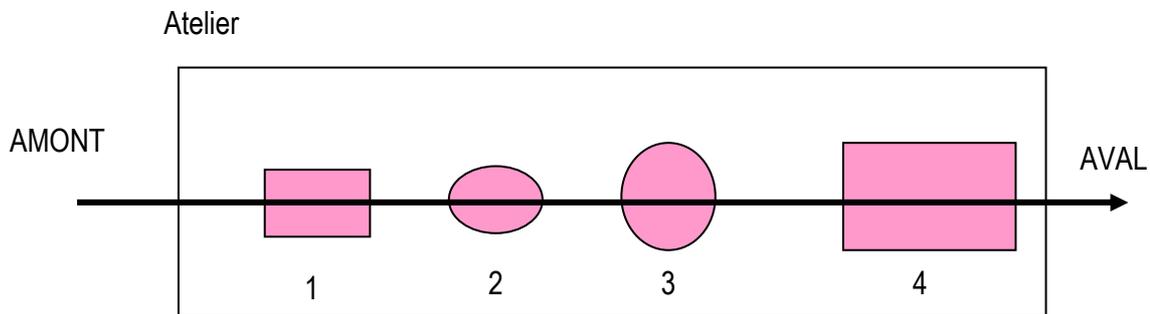
2°) Les données peuvent être visualisées de multiples façons, en particulier

- présentation descendante : indique la décomposition d'un produit,
- présentation ascendante : indique les utilisations d'un composant,
- présentation cumulée : indique la décomposition ou les cas d'emploi d'un article, tous niveaux confondus.

Sans nomenclature fiable, il ne peut y avoir de calcul des besoins précis.

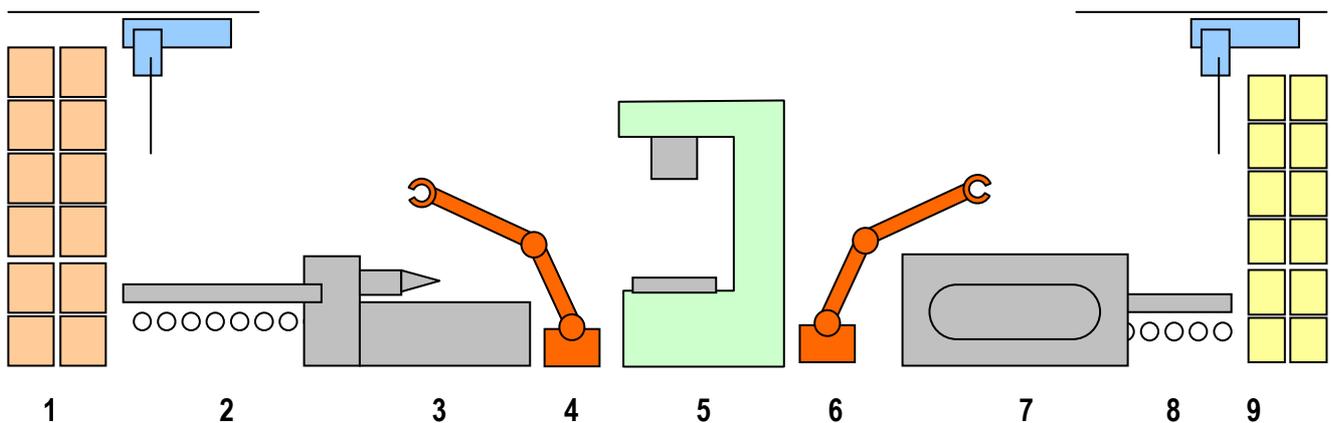
# Flux de production

## 1- Notion de flux



Le flux c'est une circulation des produits à travers l'atelier, du début (amont) jusqu'à la fin..  
Il existe d'autres flux que le flux physique des produits fabriqués : flux d'information, flux d'énergie, flux financier...

## 2- Observation du flux



### Liste des postes de travail

- Poste 1 : magasin des pièces brutes
- Poste 2 : bande transporteuse avec système de chargement amont et aval
- Poste 3 : tour CN
- Poste 4 : manipulateur (robot)
- Poste 5 : fraiseuse CN
- Poste 6 : manipulateur (robot)
- Poste 7 : laveuse
- Poste 8 : bande transporteuse avec système de chargement amont et aval
- Poste 9 : magasin pièces finies

La capacité d'un poste peut être exprimée en nombre de pièces exécutées par unité de temps.

Liste des capacités des postes

C1 = capacité de stockage	T1 = sans valeur
C2 = 120 pièces / heure	T2 = 0,5 min
C3 = 60 pièces / heure	T3 = 1 min
C4 = 600 pièces / heure	T4 = 0,1 min
C5 = 20 pièces / heure	T5 = 3 min
C6 = 600 pièces / heure	T6 = 0,1 min
C7 = 30 pièces / heure	T7 = 2 min
C8 = 120 pièces / heure	T8 = 0,5 min
C9 = capacité de stockage	T1 = sans valeur

Déterminer la durée totale du procédé de fabrication

### Vitesse de flux

C'est la vitesse à laquelle sortent les produits en fin de procédé de production. Elle peut être exprimée en capacité (pièces / heure)

### 3- Goulots d'étranglement

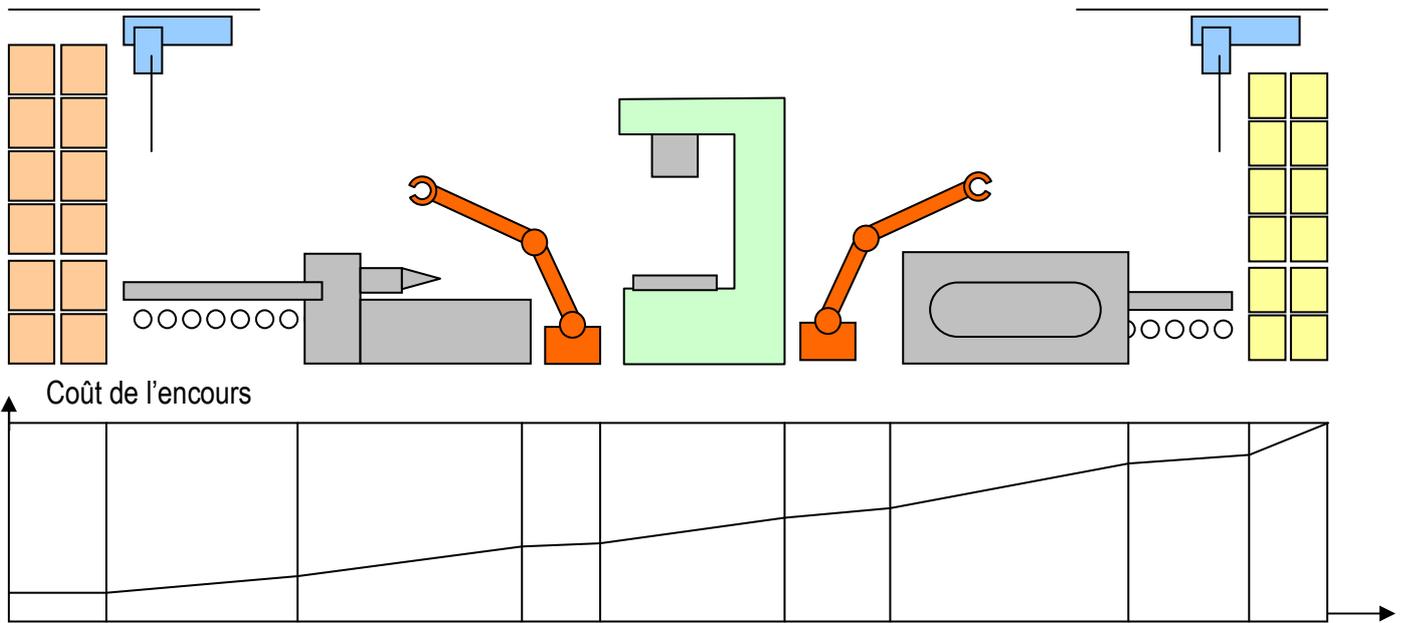
Par définition un poste est identifié comme goulot d'étranglement lorsque sa vitesse (capacité) est inférieure ou égale à la vitesse du flux

### 4- Les encours

De façon simplifiée, on définit comme encours tout produit, service, qui est dans le processus de transformation, mais qui n'est pas vendable car non terminé.

### 5- Coût

Le coût d'un encours croît avec l'état d'avancement du produit dans le processus de transformation.



1                    2                    3                    4                    5                    6                    7                    8                    9

### Calcul de l'encours

Coût horaire des postes

C2 = 300 € / heure

C3 = 450 € / heure

C4 = 350 € / heure

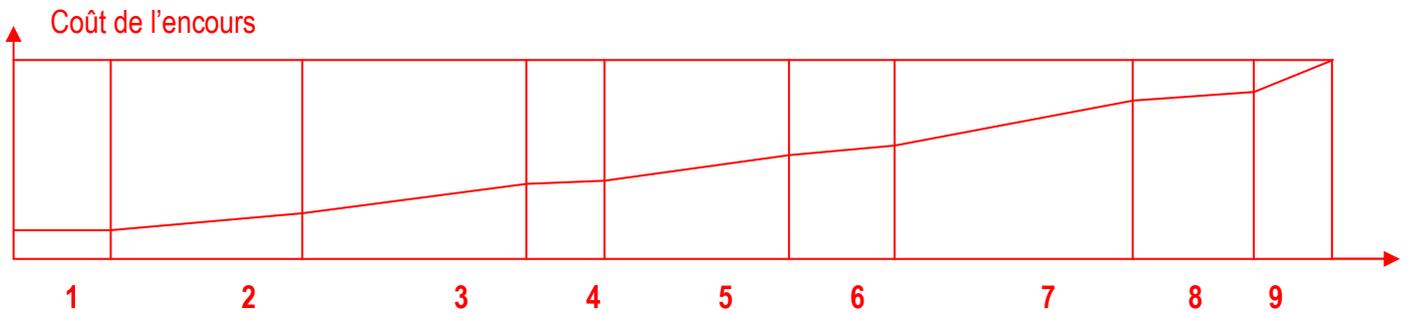
C5 = 500 € / heure

C6 = 350 € / heure

C7 = 280 € / heure

C8 = 300 € / heure

Coût pièce brute : 31 €



# Analyse de déroulement

## 1. Objectif

L'outil appelé "ANALYSE DE DEROULEMENT" est une méthode pour l'étude de l'amélioration des processus de transformation.

## 2. Désignations similaires

- Simplification du travail
- Etude de poste
- Analyse de procédé
- Graphique de procédé

## 3. Origine

Les symboles utilisés par la méthode ont été conçus par A. MOGENSEN. La méthode est standardisée depuis 1947.

## 4. Domaines et contraintes d'utilisation

L'analyse de déroulement permet d'étudier, de critiquer et d'améliorer un processus à partir d'une analyse rapide obtenue à l'aide de symboles descriptifs. Elle s'applique à de nombreux domaines industriels et est utilisée fréquemment dans les industries de transformation comme la mécanique. Enfin, pour une pré-analyse d'automatisation d'une partie ou de tout un process existant, c'est un excellent outil.

## 5. Méthodologie

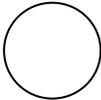
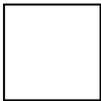
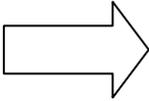
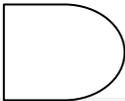
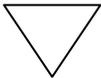
1. **Délimiter la structure étudiée**
2. **Analyser le flux traversant la structure de la solution actuelle**
3. **Critiquer la solution actuelle**
4. **Proposer une nouvelle solution**
5. **Faire le bilan de la solution proposée**

La méthode nécessite l'utilisation de symboles pour l'analyse de la situation existante et l'élaboration de la nouvelle solution. Ces symboles désignent les différentes étapes du processus au cours desquelles s'opèrent les changements d'état. Pour chaque symbole, on distinguera :

- l'état stable pour lequel la modification de caractéristique apportée aux matières se retrouve dans le produit livré au client ou bien est exigée par le contrat d'assurance qualité
- l'état fugace pour lequel la modification n'est conditionnée que par le process.

□ Pour un état **stable**, le symbole est **noirci**.

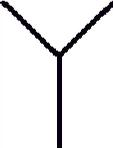
## Symboles d'analyse de déroulement

Désignation de l'étape du processus	Définition	Symboles
<b>1 - OPERATION</b>	Activité contribuant à un changement d'état des produits.	
<b>2 - CONTROLE</b>	Activité permettant d'apprécier le niveau de qualité des produits.	
<b>3 - TRANSFERT</b>	Activité de déplacement des produits d'un poste à un autre.	
<b>4 - ATTENTE</b>	Retenue temporaire aléatoire du flux des produits ayant pour origine des contraintes d'organisation ou de ressources.	
<b>5 - STOCKAGE</b>	Retenue programmée du flux des articles produits. L'arrêt de la retenue est liée à l'émission d'un ordre.	

**Exemples** : Un usinage est une opération; une passe d'ébauche sera considérée comme un état fugace alors qu'une passe de finition caractérise un état stable. De même le transfert de matières d'un atelier à un autre est considéré comme un état fugace alors que la livraison, en juste-à-temps, chez un client pourra être considéré comme un état stable.

On peut y adjoindre d'autres symboles empruntés à l'étude des systèmes :

### Symboles systémiques

Désignation de l'étape du processus	Définition	Symbole
<b>6 - FRONTIERE</b>	Limite d'isolement du système étudié	
<b>7 - SOURCE</b>	Approvisionnement d'un flux	
<b>8 - PUIIS</b>	Destination d'un flux	

<b>9 - ORDRE</b>	Prise de décision; régulation; ordre	
<b>10 - FLUX</b>	Flux physique ; flux d'informations	

Dans l'exemple qui suit, nous utiliserons une grille de travail standard dont on trouvera la trame page 338.

## 6. Applications

### 6.1 Exemple 1

Une P.M.E. spécialisée dans le dépôt de vernis veut rationaliser sa ligne de vernissage de tubes. Voici une partie de l'étude :

#### Etape 1 : Délimiter la structure étudiée

L'étude ne doit pas être limitée aux opérations de vernissage. Pour bien comprendre le contexte, il faut étendre l'étude en amont et en aval du problème posé. Le vernissage des tubes s'intercalant entre la rectification d'une part et le conditionnement d'autre part, nous délimiterons l'étude de la sortie des tubes de rectification jusqu'à leur entrée dans l'atelier de conditionnement.

#### Etape 2 : Analyser le flux traversant la structure de la solution actuelle

Le flux étudié est ici le flux de tubes. Nous remplissons la grille, sur place pour bien vérifier les paramètres relevés. Les symboles concernant les états stables sont noircis. Il faut choisir les unités pour les paramètres quantitatifs tels que temps, distance. (*voir trames pages suivantes*).

#### Etape 3 : Critiquer la solution actuelle

Elle débute par le bilan de la solution existante. Nous faisons le décompte du nombre de symboles de utilisés, des distances parcourues, du temps passé, etc... Ensuite à chaque stade du processus, nous appliquons la méthode interrogative, due au romain QUINTILLIEN (1er siècle), et connue sous le sigle Q.Q.O.Q.C :

- Quoi ? : Que fait-on ? De quoi s'agit-il ? Pour quoi fait-on ce travail ?
- Qui ? : Qui fait ce travail ? Pourquoi lui plutôt q'un autre ?
- Où ? : Où fait-on ce travail ? Pourquoi le fait-on à cet endroit ?
- Quand ? : A quel moment fait-on ce travail ? Pourquoi ce moment là ?
- Comment? : Quel procédé utilise-t-on ? Pourquoi celui-là ? Existe-il d'autres procédés ?

Les justifications sont portées en clair sur la grille d'étude.

La décision concernant chaque stade est codée dans la dernière colonne de la grille : - E : éliminer - C : combiner - P : permuter - A : améliorer.

#### Etape 4 : Proposer une nouvelle solution

La nouvelle solution se déduit des décisions prise à l'étape précédente Il faut s'efforcer d'éliminer les états fugaces, les temps perdus, les déplacements inutiles et les stockages inter opératoires.

### **Etape 5 : Faire le bilan de la solution proposée**

Le bas de la grille comporte un tableau permettant de comparer la situation existante avec la situation proposée. En résumé les changements ont porté :

- A. Sur le rapprochement de la rectifieuse à proximité du monte-charge. Le déplacement des tubes passe ainsi de 30 m à 6 m.
- B. Sur une redistribution des tâches entre opérateurs. Le vernisseur reste à l'étage. C'est un manoeuvre qui est chargé de monter les tubes.
- C. Sur l'utilisation de chariots pour le transport des tubes.
- D. Sur l'utilisation du séchoir pour l'opération de vernissage ce qui permet de supprimer 4 opérations fugaces.

### **7. Conclusion**

La pratique de cette méthode est très répandue dans les bureaux des méthodes pour des études de simplification du travail, pour des améliorations d'implantation afin de limiter la longueur des flux. Elle peut être utile pour des études préliminaires à une automatisation. Succédant à une étude d'analyse de besoin, cette méthode sera un support graphique précieux pour des opérations d'analyse de la valeur de process.

# L'Algorithme de Johnson

Méthode d'ordonnancement

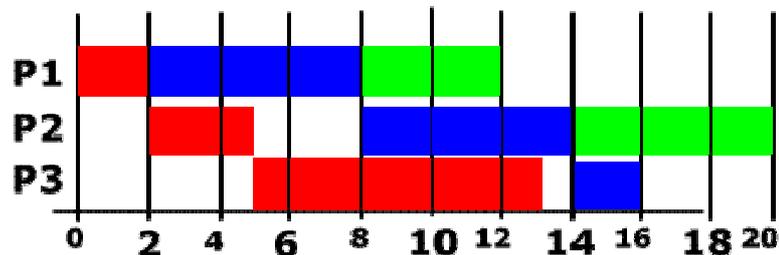
## 1. Le principe expliqué par l'exemple

Trois produits **P1**, **P2**, **P3** sont à passer successivement sur **M1**, **M2** et **M3**. Chaque produit doit être totalement fini sur  $M_i$  avant de passer sur  $M_{i+1}$ . Les temps de cycle sont donnés par le tableau suivant :

	M1	M2	M3	Total $P_i$
P1	2	6	4	12h
P2	3	6	6	15h
P3	8	2	0	10h
total $M_i$	13h	14h	10h	

Quel ordre de passage assure le temps de production **total** le plus court ?

Solution : **P1 P2 P3**, Représentée selon un diagramme de Gantt :



Au moment initial  $t_0$ , P1 commence sur **M1** qui le traitera en 2 unités de temps, avant de traiter P2 puis P3. **M1** aura fini en  $t_{13}$ , comme le tableau le montrait (total M1).

**M2** traite la pièce P1 dès que **M1** la libère, puis P2 et P3.  
Ni **M1** ni **M2** ne subissent d'attente.

**M3** subit une attente de 2 unités de temps, en attendant que P2 soit achevée sur **M2**. P2 et P3 attendent leur tour devant **M1** puis **M2**.  
Cependant, cette combinaison reste la meilleure globalement, tout autre combinaison dépassant  $t_{20}$ .

## 2. Comment arrive-t-on au résultat optimal ?

Vous pouvez essayer une méthode intuitive en vous aidant de barres de LEGO<sup>®</sup> de couleurs et dimensions différentes, par exemple.

Quand vous en aurez assez, essayez ceci :

### 3. Algorithme de Johnson

Déterminer le produit P ayant le temps de process M1 ou M3 le plus court.

- si M1 alors P doit commencer sur ce process,
- si M3 alors P doit finir sur ce process,

Éliminer P de la liste et recommencer la recherche sur les P restants, et ainsi de suite.

### 4. Exemple 2

Six produits P1...P6 sont à produire. Il faut passer dans l'ordre sur M1, M2 et M3.

Chaque produit doit être totalement fini sur Mi avant de passer sur Mi+1.

Les temps de cycle sont donnés par le tableau :

	M1	M2	M3	total Pi
P1	2	6	2	10h
P2	2	6	6	14h
P3	8	2	6	16h
P4	6	2	8	16h
P5	6	6	2	14h
P6	6	3	0	9h
total Mi	30h	25h	24h	

#### Séquencement :

M2 étant un process intermédiaire, il n'est pas considéré

P6 doit terminer sur M3, puis 4 cas possibles:

- P1 doit commencer sur M1 (ou terminer sur M3)
- P2 doit commencer sur M1
- P5 doit terminer sur M3
- P3 doit terminer sur M3 et finalement P4 doit commencer sur M1

Nous obtenons 4 combinaisons possibles, Laquelle est la meilleure ?

- 1) P1 P2 P4 P3 P5 P6 date de fin 36
- 2) P2 P1 P4 P3 P5 P6 date de fin 32
- 3) P2 P4 P3 P5 P1 P6 date de fin 36
- 4) P2 P4 P3 P1 P5 P6 date de fin 32

(Calcul des dates de fin, par diagramme ou calcul)

Les solutions 2) et 4) sont les meilleures.

L'algorithme présente l'inconvénient, en cas de temps opératoires égaux, de devoir explorer toutes les solutions, ou d'en choisir une arbitrairement. Or entre les quatre solutions, équivalentes 2 à 2, il y a une différence de 4 unités de temps, ce qui n'est pas négligeable !

## 5. Algorithme de Johnson généralisé

Cette variante offre la possibilité d'aller au-delà de 3 machines et d'éviter les choix arbitraires en cas d'équivalence

1. Calculer pour chaque produit  $x$  = somme des  $n-1$  premiers process (dernier process exclu)
2. Calculer pour chaque produit  $y$  = somme des  $n-1$  derniers process (premier process exclu)
3. Calculer pour chaque produit  $k = x / y$

Le séquençement sera celui des produits triés selon l'ordre croissant de leur coefficient  $k$ .

### 5.1. En reprenant l'exemple 2 :

	M1	M2	M3	x	y	k
P1	2	6	2	8	8	1.0
P2	2	6	6	8	12	0.66
P3	8	2	6	10	8	1.25
P4	6	2	8	8	10	0.8
P5	6	6	2	12	8	1.5
P6	6	3	0	9	3	3.0

**Solution : P2 P4 P1 P3 P5 P6, date de fin = 32**

La solution trouvée est aussi bonne que les meilleures selon l'autre méthode, avec une économie de temps et une simplification des calculs.

Notons que la **limite pratique** de l'algorithme de Johnson est de 3 Machines, au-delà la qualité des solutions se dégrade

### 5.2. Calculs des dates de début, date de fin et marges

Posons comme origine des temps  $t_0$  le début du cycle P1 sur M1.

Par convention, nous adopterons la notation :

$Td_{\text{produit}}^{\text{process}}$  pour date de début du produit sur le process,

$Tf_{\text{produit}}^{\text{process}}$  pour date de fin du produit sur le process, et étant entendu que l'indice produit est celui après tri.

Occupation de M1 = somme des temps cycle P1 à P6 sur M1, soit 30 unités.  
Les produits peuvent se suivre sans temps mort. Date de fin sur M1 = 30 =  $Tf_6^1$

Occupation de M2 : le travail de P2 sur M2 ne peut commencer que quand P2 est achevée sur M1, soit à t=2, P4 ne peut commencer qu'après la fin de P2, soit à t=8, P1 à t=10 etc...

On peut construire le tableau suivant qui regroupe toutes les informations, en utilisant un algorithme du type : Tant que n

$$Td_n^n = Tf_{n-1}^{c_n} \text{ si } Tf_n^{c_{n-1}} \leq Tf_{n-1}^{c_n}$$

$$Td_n^n = Tf_n^{c_{n-1}} \text{ sinon } n \text{ suivant}$$

	M1				M2				M3			
	d	Td	Tf	c	d	Td	Tf	c	d	Td	Tf	c
P2	2	0	2	0	6	2	8	0	6	8	14	0
P4	6	2	8	0	2	8	10	0	8	14	22	0
P1	2	8	10	0	6	10	16	0	2	22	24	0
P3	8	10	18	0	2	18	20	2	6	24	30	0
P5	6	18	24	0	6	24	30	4	2	30	32	0
P6	6	24	30	0	3	30	33	0	0	32	32	0

d = durée, c = contrainte

Une contrainte est le temps d'attente nécessaire à l'achèvement d'un produit sur un process avant de passer ce produit sur le process suivant (libre), ou de passer le produit suivant déjà prêt sur ce process.

Cette attente forcée peut être considérée comme une marge : on peut retarder un produit de la valeur de la contrainte qu'il subit sans que cela change la date de fin.

## 6. Utilisation possible des marges

**Calcul de la marge :**

$$m_n^p = Td_n^p - Tf_{n-1}^p$$

P3 peut démarrer sur M2 à t=18 au plus tôt et finit à t=20.

Le prochain produit (P5) ne sera disponible pour M2 qu'à t=24.

De plus, sur M3, on ne peut commencer P3 qu'à t=24. Cette attente forcée de P3 peut être convertie en marge, en considérant date de début au plus tôt P3 sur M2 = 18, date de début au plus tard = date de début au plus tôt + marge (18+4=22).

En commençant P3 sur M2 à t=22, on ne modifie en rien à la suite des opérations et aux dates de fin.

**Gains :** l'arrêt de M2 est allongé, cela permet de rationaliser l'emploi de cette machine, de faire des maintenances préventives, économiser l'énergie ou encore de mieux répartir la main d'œuvre, qui peut être affectée rationnellement.



# MRP

## Calcul des besoins

### 1. Objectif

L'outil appelé CALCUL DES BESOINS a pour objectif de définir les besoins en composants pour satisfaire la consommation, sur une période donnée, de produits finis rassemblant ces composants.

### 2. Désignations similaires

- M R P pour Material Requirements Planning
- Programmation des besoins en composants (P B C)
- M R P 2 pour Manufacturing Resource Planning
- Management des ressources de la production
- Gestion des manquants

### 3. Origine

C'est l'américain Joseph ORLIKY qui, en 1965, décrit la première méthode du calcul des besoins qui est la base de tous les logiciels MRP. Il s'agissait du système de gestion des nomenclatures développé par IBM et connu sous l'appellation BOMP pour Bill Of Matériel Processor.

### 4. Domaines et contraintes d'utilisation

Le calcul des besoins est utilisé pour un pilotage de la production en flux poussé (méthodes M.R.P.), pour le pilotage de la production en flux synchronisé (méthode O.P.T) et pour le plan directeur de production d'un flux tiré (méthode KANBAN).

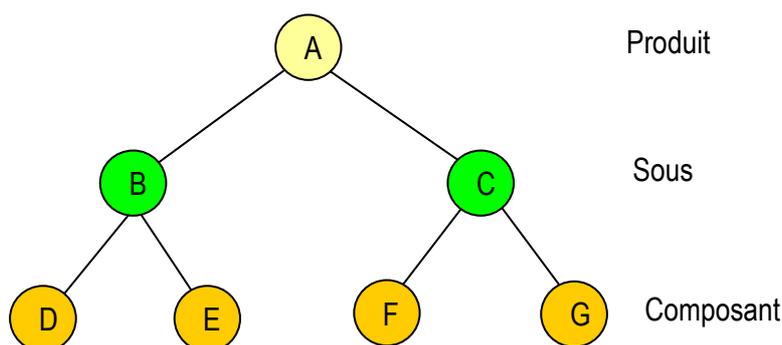
Ce calcul est établi à partir d'une part, des nomenclatures de production listant les composants des articles commercialisés sous forme arborescente ou matricielle et d'autre part de prévisions commerciales ou du plan directeur de production ou encore du carnet de commande exprimant les besoins commerciaux. Il s'applique aux productions de type "masse" et aux productions de type "atelier". Plus généralement on peut l'appliquer à l'ordonnancement de toute production pour laquelle des composants 'standardisés' interviennent dans la confection de plusieurs produits à des niveaux de nomenclature identiques ou différents.

## 5. APPLICATIONS

### 6.1 Exemple Calcul des besoins 1 : calcul des besoins bruts

- **Nomenclature:**

Voici la nomenclature cascadée partielle concernant un des produits de la gamme référencé A :



Avec :

A : module d'impression, B : support, C : chariot, D : bâti, E : pattes de fixation, F : tête d'impression, G : coulisses

- **Prévisions commerciales**

Pour les trois mois à venir les quantités suivantes concernent le produit A :

-	Janvier	Février	Mars
A	100	150	350

Besoin brut

:

Rep.	Niveau	Cm	-	Janvier	Février	Mars
A	0	-	BB			
B	1	A x 1	BB			
C	1	A x 2	BB			
D	2	B x 1	BB			
E	2	B x 3	BB			
F	2	C x 1	BB			
G	2	C x 2	BB			

BB : besoin brut ; Cm : coefficient de montage

## 5.2 Exemple Calcul des besoins 2 : définition des ordres prévisionnels

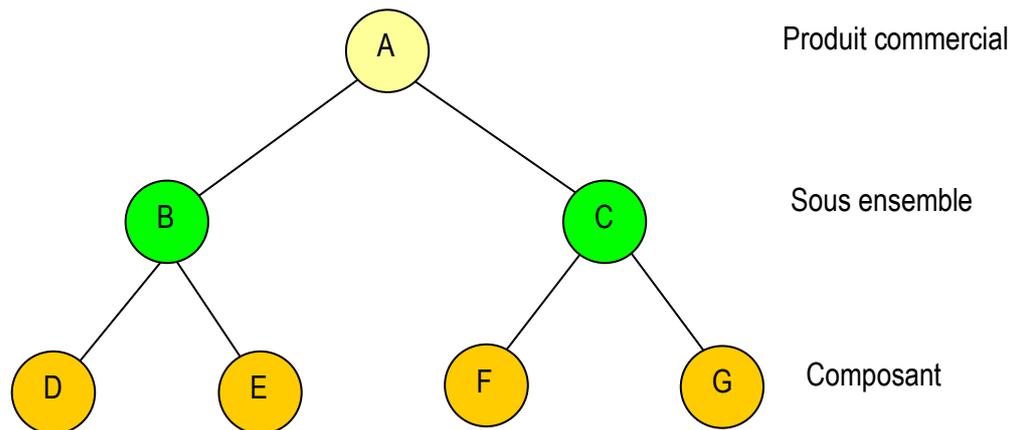
La société VAXEL commercialise des produits informatiques qu'elle assemble à partir de composants de base dont elle s'approvisionne au fur et à mesure de ses besoins. Elle ne gère donc aucun stock de composants.

En fonction du carnet de commande, on va chercher à établir une planification des ordres d'approvisionnements des composants de base.

- **Nomenclature**

Nous ne nous intéresserons qu'à un seul produit. Il s'agit de mini-réseaux pour lesquels le code des articles et la nomenclature, limitée aux composants principaux, sont les suivants :

Désignation des articles	Code
Mini-réseau	A
Console	B
Serveur	C
Floppy 1444 KO	D
Microprocesseur	E
Disque dur 30 GO	F



### **Carnet de commandes**

Pour le mois à venir les commandes hebdomadaires relatives au produit A sont les suivantes :

N° semaine	1	2	3	4
Demande produit A	100	50	150	200

### **Articles disponibles et en-cours**

Ayant des fournisseurs fiables, l'entreprise ne gère pas de stocks et travaille exclusivement sur commande. Tous les en-cours sont attribués.

### **Délais d'obtention**

Le délai d'assemblage d'un ensemble à partir des sous-ensembles est de 5' (donc négligeable à notre niveau d'analyse). Pour des ordres inférieurs ou égaux à 600, les délais d'assemblage des sous-ensembles à partir des composants sont de deux semaines pour le sous-ensemble B et d'une semaine pour le sous-ensemble C. Les délais d'approvisionnement de tous les composants de niveau 2 sont d'une semaine.

- **Besoin brut**

Les besoins bruts du niveau 0 de la nomenclature proviennent soit des prévisions commerciales, soit du plan directeur de production, soit du carnet de commande.

Pour notre exemple, le besoin brut de l'article A est, pour chaque période, identique à celui exprimé par le carnet de commande.

### **Besoin net**

Les besoins nets sont liés aux besoins bruts par la relation :

$$\text{Besoins Nets} = \text{Besoins Bruts} - \text{Articles Disponibles}$$

L'entreprise ne gérant pas de stock, les besoins nets sont identiques aux besoins bruts. Pour l'article A, le besoin net est donc, pour chaque période, identique au besoin exprimé par le carnet de commande.

BB : Besoin Brut ; BN : Besoin Net ; OP : Ordre Prévisionnel

L'ensemble de cette démarche peut être présentée sur un seul document. Nous proposons le tableau suivant :

N° semaine			50	51	52	1	2	3	4
A	-	BB	-	-	-				
		AD							
		BN							
		OP	-	-	-				
B	(A x 3)	BB	-	-	-				
		AD							
		BN							
		OP	-						
C	(A x 1)	BB	-						
		AD							
		BN							
		OP	-						
D	(B x 2)	BB	-						
		AD							
		BN							
		OP							-
E	(B x 1) (C x 1)	BB							-
		AD							
		BN							
		OP							
F	(C x 1)	BB							
		AD							
		BN							
		OP							

BB : Besoin Brut ; AD : Article Disponible ; BN : Besoin Net ; OP : Ordre Prévisionnel

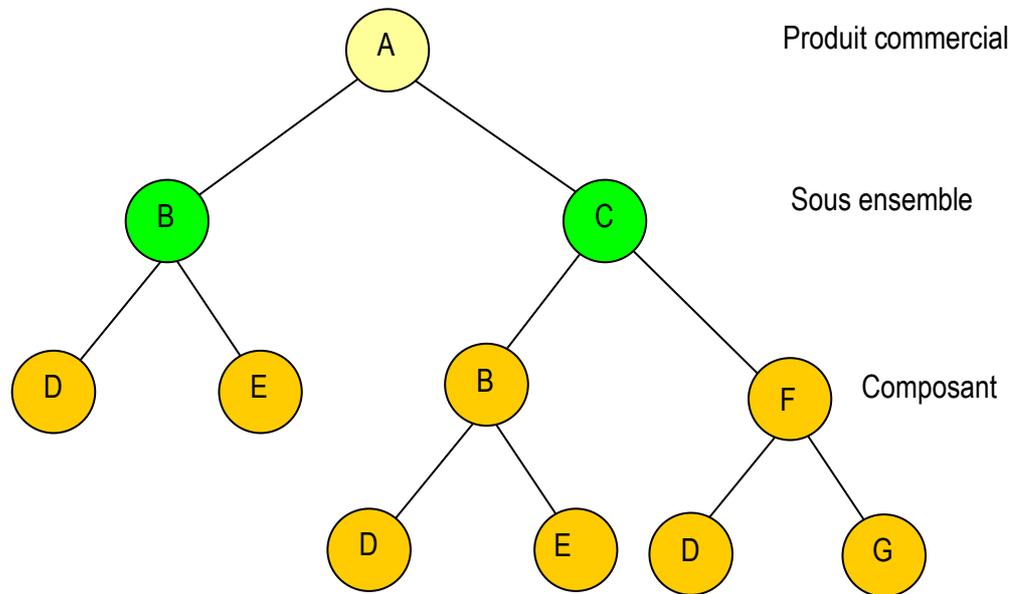
### 5.3 Exemple Calcul des besoins 3

L'exemple vient d'un constructeur de robots. Pour la simplicité de l'exposé, la nomenclature présentée a été volontairement épurée de nombreux articles, ne maintenant que les plus caractéristiques pour l'exposé.

*Etape 1 : Collecter les données*

**Nomenclature**

La nomenclature simplifiée relative à un robot d'assemblage de conception modulaire est la suivante :



Avec :

A : Robot RX5A

B : Module de rotation

C : Poignet

D : Bras

E : Vérin électromécanique

F : main

G : préhenseur

**Carnet de commande**

Les commandes fermes à ce jour pour les machines A et le sous-ensemble B sont les suivantes (exigible à la fin de la période) :

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
A	0	3	1	6	10	7
B	0	0	0	0	50	0

### Articles disponibles

Pour chaque article de la nomenclature, les disponibilités en fin de mois de décembre sont les suivantes :

A	B	C	D	E	F	G
5	25	20	110	17	0	40

### Décal d'obtention des articles

Ils figurent entre parenthèses sur la nomenclature. L'unité utilisée est le mois. Les quantités sont limitées à 60 unités par mois, excepté pour l'article D pour lequel la capacité en place permet 100 unités par mois.

### Lot économique d'approvisionnement

Les ordres prévisionnels issus du calcul des besoins sont égaux aux besoins nets exprimés pour tous les articles excepté l'article G pour lequel le fournisseur conditionne dans des emballages de 100 unités.

Voici le tableau final de l'ensemble du calcul des besoins relatifs au carnet de commande et à la nomenclature du robot A:

Rp	Ni	Cm	D1	-	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
A	0	-	(1)	BB							
				AD							
				BN							
				OP							
C	1	A X 3	(1)	BB							
				AD							
				BN							
				OP							
B	1 2	A X 1 C X 2	(2)	BB							
				AD							
				BN							
				OP							
F	2	C X 1	(1)	BB							
				AD							
				BN							
				OP							
E	2 3	B X 1	(1)	BB							
				AD							
				BN							

				OP							
D	2 3 2	B X 2 F X 1	(1)	BB							
				AD							
				BN							
				OP							
G	3	F X 2	(2)	BB							
				AD							
				BN							
				OP							

Légendes :

Rp : repère de l'article

Ni : niveau de nomenclature

Cm : Coefficient de montage avec indication de l'article générateur du besoin

DI : Délai d'obtention de l'article

BB : Besoin Brut (période d'exigibilité et quantité)

AD : Article Disponible pour la période (quantité)

BN : Besoin Net (période d'exigibilité et quantité)

OP : Ordre Prévisionnel (période de lancement et quantité)

## 7. CONCLUSION

Nous avons montré les principaux aspects du calcul des besoins au travers des quatre exemples présentés.

Le premier a permis d'établir la correspondance entre les prévisions commerciales et le volume de composants à produire pour satisfaire ces prévisions.

Avec le second nous avons distingué les dates d'exigibilité et les dates de lancement par la création des ordres prévisionnels (O.P.).

Le troisième a mis en évidence que les ordres prévisionnels pouvaient être différents des besoins exprimés du fait des approvisionnements ou des contraintes de capacité de l'unité de production et donc, qu'il fallait gérer des articles disponibles (A.D.).

Enfin le dernier nous a permis d'introduire le calcul matriciel pour la détermination des besoins bruts (B.B.) et des plans de charge.

Le calcul des besoins définit pour les sous-ensembles, composants et matières qui doivent être fabriqués, approvisionnés ou sous-traités, les quantités nécessaires et les dates d'exigibilité.

Il propose en outre des ordres prévisionnels qui peuvent être des ordres de fabrication (OF), d'approvisionnements ou de sous-traitances avec leur date de lancement au plus tard. La fiabilité des résultats dépend de la validité des données.

C'est là une difficulté majeure, car la mise à jour des nomenclatures par suite de modifications inévitables et surtout la gestion des reliquats nécessitent une extrême rigueur. Les calculs seront simplifiés si l'on agit dans deux directions principales.

D'abord il faut réduire les niveaux de nomenclature pour limiter les cascades de calculs. Les niveaux représentent des étapes autonomes dans la fabrication des produits. La limitation de ces étapes peut être obtenue par une mise en ligne de la fabrication qui ne hache pas le flux des matières.

Ensuite il faut limiter la gestion des reliquats, par une maîtrise accrue de la qualité des process, par un lissage des commandes au niveau commercial, et par une politique d'approvisionnement évitant tout stockage.

Le calcul des besoins est la première étape de l'ordonnancement des flux de matières. On peut l'effectuer simplement sans outils informatiques onéreux. Tous les logiciels de type MRP présents sur le marché comportent des modules de saisie des données et de calcul des besoins, mais à des prix très variables.

# Le Kanban

## 1. Introduction

Pour concrétiser leur stratégie et atteindre les objectifs de qualité et de productivité les entreprises japonaises qui obtiennent un succès international - telles SONY et TOYOTA adoptent certains principes régis par un certain nombre de concepts. Citant l'exemple de la méthode " **juste à temps** " qui est mieux adaptée à leur production respective

Ce type de " juste à temps " est basé sur le fait que le stockage de matières premières, d'en-cours et de produits finis entraîne des coûts, affecte la qualité et allonge les délais de fabrication, et cela n'est qu'un flagrant gaspillage.

Le Japon est un archipel pauvre en ressources naturelles qui importe 100% de son aluminium, 99.8% de son pétrole et 66% de son bois. Malgré ces insuffisances, après la deuxième guerre mondiale sa progression fut telle qu'il s'éleva au deuxième rang parmi les grandes puissances économiques mondiales.

Cette réussite des industries japonaises est attribuable à l'accroissement de leur taux annuel de productivité qui était dans les années 50 et 60 de 9, 2% contrairement à un taux d'accroissement de 2,8% aux U.S.A et en Europe

Les entreprises japonaises se sont efforcées de réduire les coûts de commande en allégeant les procédures administratives et en demandant la coopération des fournisseurs.

Les auteurs célèbres de cette approche " juste à temps " s'appellent Taichi Ohno et Shigeo Shingo et portent "l'esprit Toyota " dans toutes les grandes manifestations traitant de la production.

Les approches zéro-stock et gestion intégrale de la qualité font partie de philosophies globales d'orientations générales.

Le système kanban est un moyen concret d'application de ces philosophies. Le système Kanban est en fait un système d'information manuel qui permet une production " juste à temps ", avec lequel il est d'ailleurs confondu. En fait, la production " juste à temps " est une approche globale et le système Kanban en constitue un outil.

Le concept zéro-stock permet donc de réduire les coûts, mais il permet aussi de réduire les délais de fabrication puisque les produits sont fabriqués juste au moment où ils sont requis par le client ; de plus, le stockage encourage la non-qualité.

Une entreprise moyenne canadienne, la société Omark qui compte 500 employés et qui est localisée à Guelph en Ontario, spécialisée dans la fabrication de pièces pour tronçonneuses, a décidé d'implanter dans son usine le système zéro-stock qu'elle a baptisé ZIPS (zéro inventory production system). La première amélioration fut la réduction du temps de mise en route ainsi que de la taille du lot économique à fabriquer.

Chez Chrysler, l'envoi de pare chocs de la Géorgie à Windsor (USA) prends 9 jours par train alors qu'il prend 17 heures par camion. Avec l'installation du zéro-stock, cette compagnie utilise dorénavant le transport par camions pour la livraison de ses pare- chocs.

### 1.1. Elements modifiés par une organisation J.A.T.

- 1- **Le niveau de charge** de l'appareil de production (charge des machines, niveau d'occupation des personnes)
- 2- **Le niveau des stocks et les en-cours**. Il constitue un excédent organisationnel posant des problèmes de trésorerie
- 3- **Le coût de revient** qui conditionnera la marge lorsque le prix du marché est une variable exogène non maîtrisée par l'entreprise
- 4- **Les coûts de non-qualité**
- 5- **Les coûts de contrôle** ou d'obtention de la qualité

### 1.2. Calcul des lots économiques de production économiques de production

Il est intéressant d'effectuer des regroupements de ces besoins nets afin de provoquer des économies d'échelle par rapport à certaines charges fixes (réglage des machines), ou par rapport à une politique de remise des fournisseurs. Ces regroupements ont pour but de minimiser les coûts de production d'un article, donnant lieu à la constitution des lots économiques de production ou quantités économiques flottantes.

### 1.3. Définition de la quantité économique flottante

La quantité économique flottante est la valeur **Qe** qui rend minimal le coût global de gestion par unité achetée soit :

$$Q_e = \sqrt{\frac{2 \cdot N \cdot CL}{t \cdot Pu}}$$

Où : CL est le coût de lancement d'une commande ou le coût de réglage d'une machine.

N est la consommation annuelle

t : taux de possession exprimé en pourcentage

pu : prix unitaire

## 2. Le kanban

### 2.1. Définition :

Ce mot serait apparu dans les chantiers navals japonais qui, dans les années 60, demandaient aux aciéries des livraisons tous les 3 jours au lieu d'une fois par mois. La méthode industrielle a été mise au point plus récemment chez Toyota avec le concours de Taichi Ohno, qui avait observé dans les supermarchés les employés renouveler sur les présentoirs, les denrées périssables au fur et à mesure de la demande.

En japonais Kanban signifie étiquette, fiche, carte.

L'outil appelé « Kanban » a pour but de définir les modalités de mise en route d'une production en flux tiré, c'est à dire dans laquelle ce sont les commandes-clients qui déclenchent automatiquement la fabrication par remontée des ordres depuis la sortie des produits.

### 2.2. Domaine et contraintes d'utilisation :

La méthode Kanban est applicable à des productions de type « masse » pour lesquelles le

nombre de références n'est pas trop élevé et la demande régulière ou à faibles variations.

Elle implique, des temps opératoires sur tous les postes de travail, une maintenance préventive efficace des équipements, un contrôle qualité performant et des opérateurs responsables et polyvalents. C'est dire que l'implantation d'un système Kanban est pour l'entreprise l'aboutissement d'une réforme des méthodes de travail, réforme inspirée par la philosophie du juste à temps.

### 2.3. Méthodologie :

Pour chaque référence travaillée et pour chaque chaînon concerné du processus, la mise en route d'un enchaînement Kanban s'établit de la manière suivante :

#### 1-Collecter les données relatives au flux à organiser :

- caractéristiques du flux.
- caractéristiques du poste amont (fournisseur).
- caractéristiques du poste aval (client).
- caractéristiques de la liaison poste amont-poste aval.

#### 2-Definir les paramètres de fonctionnement :

- capacité et nombre de machines par poste.
- capacité des conteneurs (lot mini de transfert).
- taille du lot mini de fabrication autorisant un lancement (position de l'index vert).
- taille de l'en-cours mini (position de l'index rouge).
- taille du tampon de régulation.

#### 3-Mettre en œuvre :

- confectionner le planning d'ordonnancement.
- définir le contenu des kanbans.
- définir les règles de circulation des kanbans et de fonctionnement du planning.

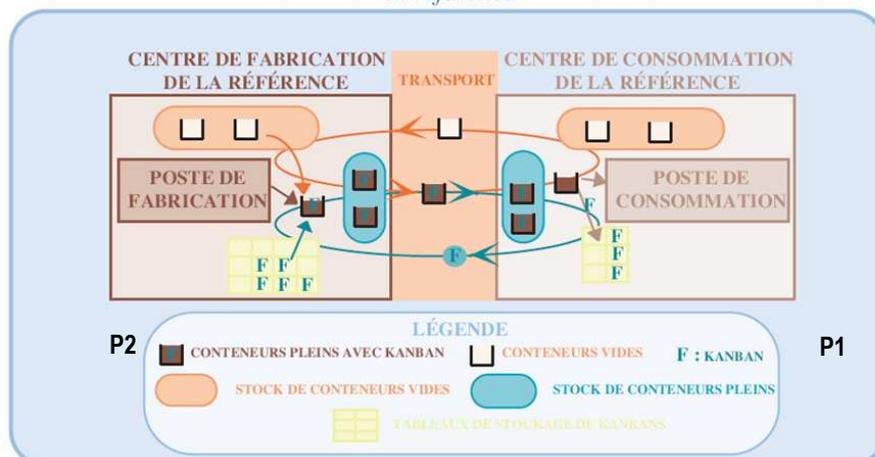
#### 4-Affiner le planning :

- régler les index en fonction de l'évolution du système.
- améliorer l'écoulement du flux.

### 3. Le fonctionnement du système kanban

Kanban signifie étiquette (ou carte visible). A cette étiquette indiquant la référence du produit et un nombre d'unités fabriquées est associé un conteneur standard de manutention servant à transporter les pièces de l'unité de production (P2) à l'unité consommatrice du produit (P1).

*Schéma de principe du système kanban avec un seul centre de consommation de la référence*



Le Kanban sert à transmettre les ordres de fabrication d'un centre (P1) à l'autre (P2) les articles fabriqués dans le centre (P2), avant d'être stockés, sont alors rangés dans les conteneurs auxquels on a attaché un Kanban

Le fonctionnement du système est le suivant :

Lorsque le centre consommateur P1 souhaite utiliser la production d'un article fabriqué au centre P2, il enlève, de la zone de stockage, un conteneur étiqueté. Si le centre P1 a encore besoin d'unités fabriquées dans le centre P2, il renvoie le kanban qui, accroché sur un tableau en P2, déclenche la production de l'article souhaité. Dans le cas contraire, le kanban n'est pas envoyé au centre P2 qui ne lance pas la production de l'article considéré.

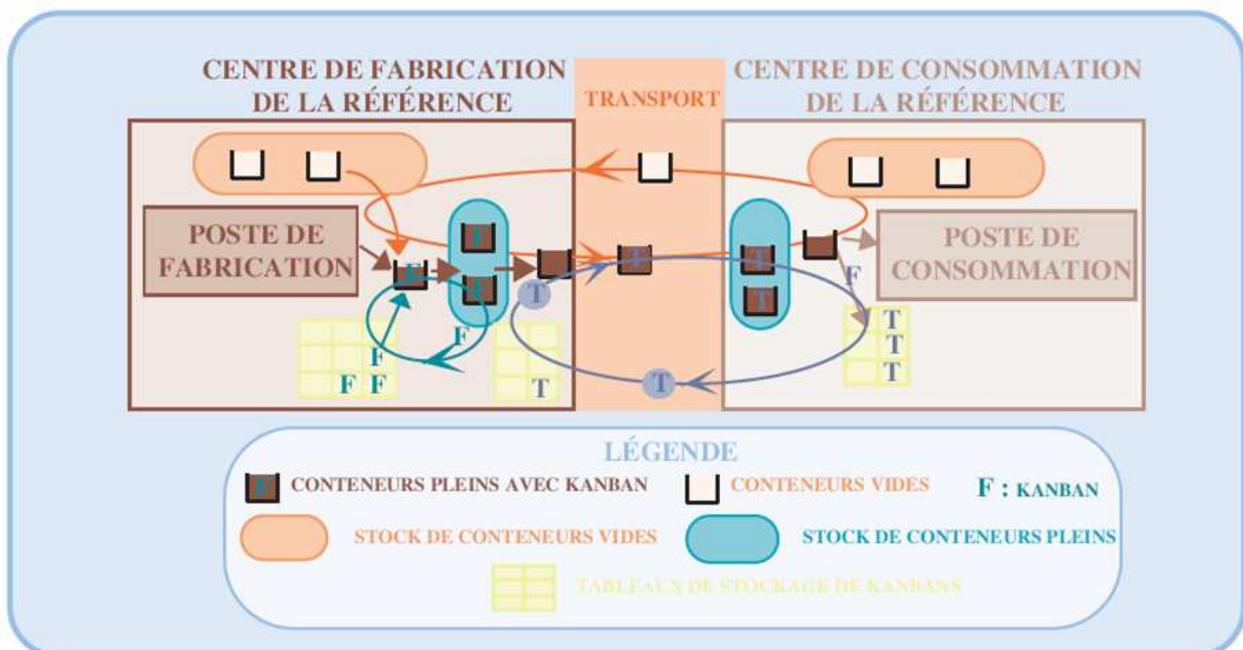
Grâce à ce système de planification décentralisée en temps réel, le centre de production aval tire le centre de production amont en fonction de ses stricts besoins de fabrication, et au moment souhaité. Il y a parfaite synchronisation, par la circulation des kanbans, entre l'offre et la demande de production. Les stocks tampons sont alors réduits au minimum.

### 3.1. Remarques sur le système Kanban

#### 3.1.1. Le kanban de transfert et le kanban de transport :

Le système kanban de fabrication présenté précédemment peut être adapté lorsque le centre de production alimente plusieurs centres de consommation ou lorsqu'il s'agit d'une source d'approvisionnement. Le dispositif est alors complété soit par des kanbans de transfert, soit par des kanbans de transport.

*Schéma de principe du système kanban avec plusieurs centres de consommation de la référence*



### 3.2. Le système kanban est porteur de progrès :

Le comptage rapide des compteurs (par exemple à l'aide des codes à barre) facilite l'inventaire physique des stocks.

Le nombre de conteneur détermine le niveau des stocks et encours, et permet donc une maîtrise assez aisée.

Le jeu sur le nombre de kanbans en circulation permet de tester la flexibilité de l'organisation, voire de remettre en cause certaines contraintes qui nuisent à la flexibilité de la production

### 3.3. Le calcul du nombre de Kanban

L'objectif est de chercher le nombre minimum de kanbans à créer sans provoquer de rupture de production. Cet optimum (N) est obtenu en appliquant la formule ci- après :

$$N = Dd(1+K)/C$$

Où :

**D** : la demande journalière du poste P1

**d** : la durée d'un cycle correspondant au retour au point de départ du kanban (d est la somme de plusieurs délais :

- Temps de fabrication sur P2,
- Temps d'attente dans la zone de stockage,
- Temps de transport vers P1,
- Temps de récupération P1 vers le tableau des kanbans en P2.

**K** : coefficient de sécurité

**C** : la capacité du conteneur (généralement égale à 10% de la valeur de la production journalière)

A titre d'illustration, si D = 500 pièces par jour, d = ½ journée, K= 0.05

C = 50 pièces alors

$$N = 500 \times 0.5 \times (1 + 0,05) / 50 = 5,25$$

Soit 6 étiquettes.

## 4. Exemple

Pour chaque pièce ou composants, on conçoit un type de contenant spécifique, prévu pour contenir un nombre prédéterminé d'ensemble d'unités. Pour chaque contenant on dispose deux cartes ou kanbans, sur lesquels on inscrit les numéros de la pièce, la capacité du contenant et certaines autres informations. L'une des cartes, appelé carte de production (P), sert au service qui produit le composant ou la pièce. L'autre appelé carte de transfert (T), sert au service qui utilise le composant ou la pièce en question.

**a- Kanban de production P**

Etage n° <i>B-8</i> Pièce n° <i>KJ-188 508</i> Non de la pièce : <i>fixation</i> Produit n° <i>KEI-7066</i>	Procédé précédent									
	<i>Usinage des pièces</i>									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Contenant</th> </tr> <tr> <th>Capacité</th> <th>type</th> <th>numéro</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>14</td> <td><i>M-1</i></td> <td><i>113412</i></td> </tr> </tbody> </table>	Contenant			Capacité	type	numéro	14	<i>M-1</i>	<i>113412</i>	Procédé subséquent  <i>Assemblage des sous-ensembles E</i>
Contenant										
Capacité	type	numéro								
14	<i>M-1</i>	<i>113412</i>								

**b- Kanban de transfert T**

Etage n° : <u><i>A-14</i></u> Etage n° : <u><i>nk-200 406</i></u> Non de la pièce : <u><i>support</i></u> Produit n° <u><i>KE-1066</i></u>	procède  <i>Assemblage des sous-ensembles F</i>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------

**Le système fonctionne comme suit :**

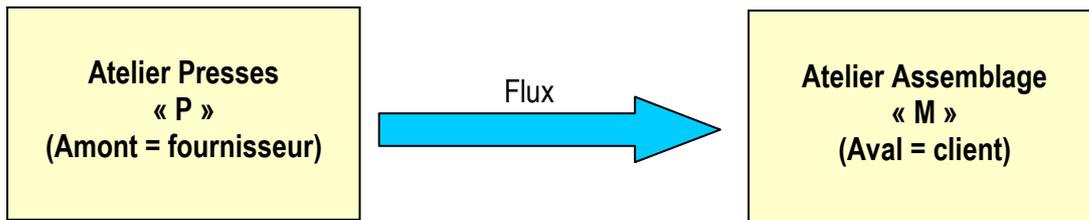
**Etape 1 :** le système de l'assemblage a utilisé l'ensemble alternateur E, qui fait partie du moteur assemblé dans ce service. On dispose d'un nombre fixé de contenants spécifiquement conçus a cet effet, comprenant chacun un nombre donné d'ensemble E dans chaque contenant se trouve une carte de transfert.

**Etape 2 :** dès que le service reçoit une commande - interne ou externe- pour un moteur requérant un ensemble alternateur, en retire l'un de ces ensembles du contenant approprié

**5. Applications :**

**Exemple 1 :**

Un constructeur d'appareillages électriques met en place une gestion d'atelier décentralisée basée sur la méthode Kanban. L'exemple suivant concerne l'enchaînement Kanban monocarte entre un atelier de presses à injecter et un atelier d'assemblage. Le terme Kanban monocarte signifie qu'un seul type d'étiquettes est utilisé par référence travaillée et sert à la fois à la production et au transfert.



## 5.1. Étape 1 : Collecter les données relatives au flux à organiser

### 5.1.1. Caractéristiques au flux

Pour la référence « R » étudiée, nous avons :

- une demande journalière moyenne de **18 200 pièces** ;
- une variation de la demande : **+ ou - 12%**

### 5.1.2. Caractéristiques du poste amont (fournisseur)

Le poste amont P est un atelier comportant **3 presses** à injecter dont la cadence moyenne de chacune est de **500 pièces par heure**. L'atelier travaille en **2 × 8h, 5 jours** par semaine. Le **temps de changement** d'outillages est de **20 minutes**. De ce fait deux changements d'outillage ne peuvent être simultanés. Les **taux d'aléas** de l'ensemble des presses est de **8%** du temps d'ouverture. Par ailleurs, l'atelier traite d'autres références que celles que nous étudions.

### 5.1.3. Caractéristiques du poste aval (client)

Le poste aval M est un atelier d'assemblage. Il fonctionne **13 heures par jour en deux équipes, 5 jours par semaine**. Sa cadence moyenne est de **1 400 unités par heure**.

Caractéristiques de la liaison poste amont, poste aval

- **Délai** d'obtention d'un convoyage pour un nombre de conteneurs compris entre 1 et 5 : **12 minutes**. Ce délai comprend le temps de réaction du cariste et la durée du transport.
- **Collecte des kanbans** : chaque Kanban est recyclé dès que le poste aval entame le conteneur sur lequel il était fixé. On estimera la durée de l'opération à **5 minutes max**.

## 5.2. Étape 2 : Définir les paramètres de fonctionnement

### 5.2.1. Capacités des conteneurs

La taille du conteneur définit la vitesse du flux de matières.

Le conteneur est le plus petit lot de transfert entre deux ateliers. Plus sa capacité est petite plus le délai d'obtention des pièces est faible. Il faut essayer de tendre vers le « pièce à pièce » qui donne la vitesse maximale au flux. Mais l'état du système, surtout dans la phase d'installation des kanbans, ne le permet pas.

La règle donnée par Toyota est la suivante : La capacité des conteneurs doit correspondre au 10ème de la demande journalière. C'est approximativement l'équivalent d'une heure de consommation au poste aval. Pour des productions à cadence faible, la capacité du conteneur n'excédera pas une quantité correspondant à une durée d'écoulement au poste aval de l'ordre d'une journée.

Ici la demande journalière est de 18 200 pièces en moyenne et la capacité du poste aval est de 1400 unités à l'heure. Une fourchette de 1500 à 2500 est acceptable. Nous retiendrons le nombre de 2000 pièces correspondant à une durée d'écoulement, jugée correcte par les opérateurs, de 1h 26' au poste aval.

### 5.2.2. Taille du lot mini de fabrication

Le lot mini de fabrication pour un lancement est le nombre minimal de kanbans présents sur le planning d'un poste qui autorise l'activation de celui-ci alors qu'il est désactivé.

**Nous admettrons comme règle de base que le temps de transformation du lot de fabrication égale de préférence 10 fois le temps de préparation  $T_r$  du poste.**

Le changement d'outillage, nécessitant l'immobilisation de la presse pendant 20 min, ne peut être trop répétitif sous peine de restreindre d'une manière inconsidérée la capacité des postes.

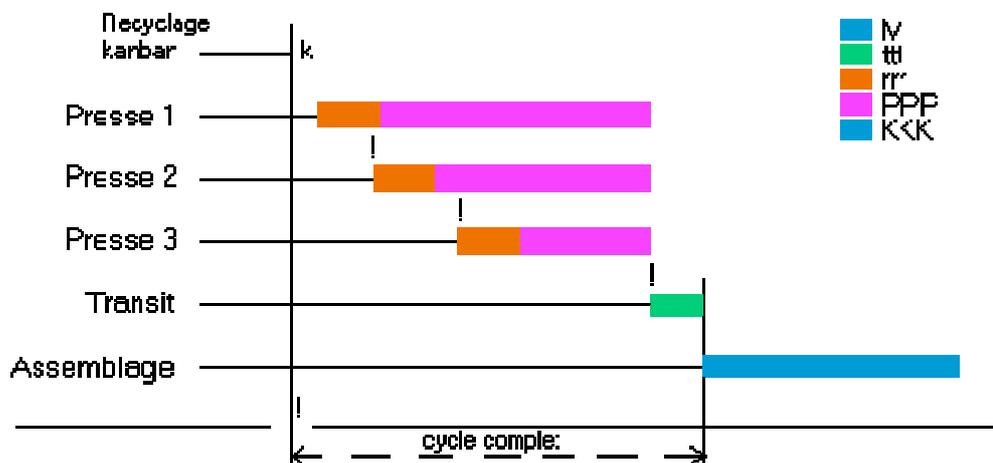
Avec la règle précédente nous obtenons lot de fabrication de 200min. le poste amont produisant à la cadence de 1500 pièces à l'heure, le lot de fabrication sera de  $(1\ 500/60) \times 200 = 5\ 000$  pièces, ce qui représente  $5000/2\ 000$  soit 3 conteneurs, soit **6 000 pièces**, soit encore, **4 heures de production** au poste amont P.

### 5.2.3. Taille de l'en-cours mini

L'en-cours mini doit permettre d'éviter la rupture d'approvisionnement au poste aval M. c'est l'anti-aléa mini du flux. Il est déterminé par le temps de réponse. « En catastrophe » du poste amont P. si le poste M a un besoin urgent de pièces, le temps de réponse « en catastrophe » du poste P est la durée mini d'une rotation complète d'un Kanban C, tenant compte des aléas de ce poste.

Elle comprend :

- le temps de préparation
- le temps d'usinage d'un conteneur au poste amont
- le temps de transit de ce conteneur vers le poste aval
- le temps de recyclage du Kanban



Le déroulement de ce cycle pour notre exemple :

- k : recyclage d'un Kanban = 0h05 min
- r : temps de préparation d'une presse = 0h20 min
- p : injection des presses = 1h40 min
- t : livraison du conteneur au poste aval = 0h12 min

**C = 2 h 17 min soit 137min**

Il s'agit de 137 minutes pendant lesquelles l'atelier d'assemblages M produit. Cela représente  $1400 \times (137/60) = 3\ 196$  unités ou  $3\ 196/2\ 000 = 1,6$  conteneurs. Nous prendrons 2 conteneurs pour tenir compte des aléas possibles au poste P (8 %).

Le poste amont P disposera donc du délai d'écoulement de deux conteneurs au poste aval M soit  $1\text{h } 26\text{ min} \times 2 = 2\text{h } 52\text{min}$ . La marge dont dispose ce poste amont pour réagir est donc de  $2\text{h } 52\text{min} - 2\text{h } 17\text{min} = 35\text{ min}$

**Remarque 1 :** un seul temps de préparation est à décomposer car les autres changements d'outillage se font en temps masqués par l'opérateur pendant le fonctionnement automatique de la première presse.

**Remarque 2 :** le premier conteneur sera transféré dès la finition du remplissage par les trois presses.

**Remarque 3 :** nous ne prendrons pas en compte l'attente du conteneur au poste aval, puisqu'en cas de « catastrophe » le besoin d'alimenter le poste aval est crucial pour éviter l'arrêt du flux.

### 5.2.4. Taille du tampon de régulation

Le tampon de régulation sert à donner de la souplesse au système et à limiter les demandes en « catastrophe ». Le besoin de souplesse est particulièrement nécessaire lorsque le poste amont travaille plusieurs références de pièces, ce qui est le cas dans notre exemple. Nous estimerons le tampon nécessaire à une demi-journée, soit 6h 30min, ce qui correspond à  $1\ 400 \times 6,5 = 9\ 100$  unités produites au poste aval ou  $9\ 100/2\ 000 = 5$  conteneurs. Il n'y pas de contre indication à prendre un tampon important. Si dans la pratique il s'avère excessif, il suffira d'éliminer les kanbans superflus.

## 5.3. Etape 3 : Mettre œuvre

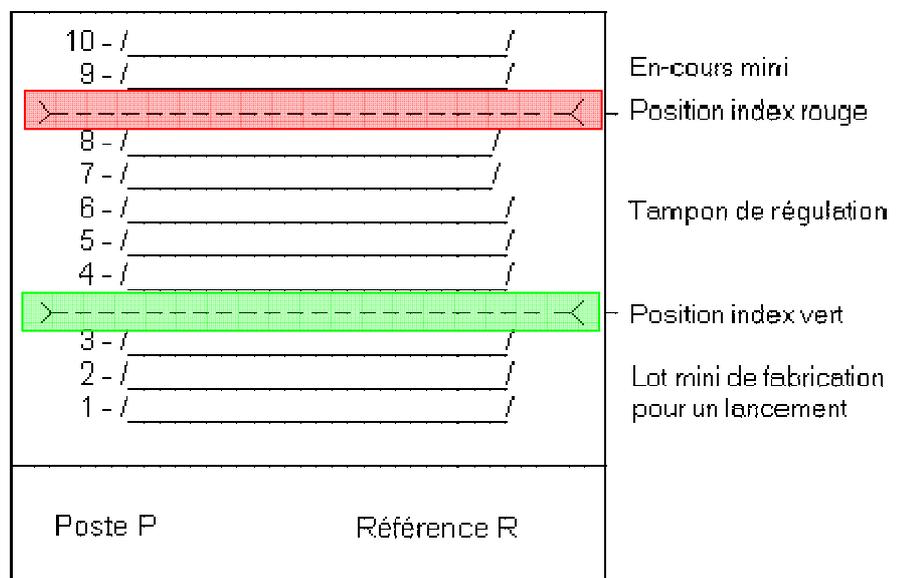
### 5.3.1. Définir le planning d'ordonnancement

Il s'agit d'un tableau mural, qui sera placé au poste amont et sur lequel seront rangés les kanbans quand ils ne seront pas sur les conteneurs. Les résultats de l'étape deux nous donnent :

- lot minimal de fabrication : 3 kanbans
- en-cours mini : 2 kanbans
- tampon de régulation : 5 kanbans

**Total = 10 kanbans**

Le planning comportera donc 10 emplacements. L'empilement des kanbans se fera à partir du bas. Les emplacements 1, 2 et 3 concernent le lot mini de fabrication. L'index vert sera situé juste au dessus de l'emplacement 3. Les emplacements 4 à 8 concernent le tampon de régulation. Ensuite viennent les emplacements 9 et 10 de l'en-cours mini. L'index rouge sépare le tampon de régulation de l'en-cours mini. Voici l'allure du planning vide :



Les 10 kanbans représentent l'en-cours maximum entre les deux postes. Il sera ici de  $2000 \times 10 = 20\ 000$  pièces. Il ne pourra jamais être supérieur à cette valeur.  
L'en-cours moyen sera de 10 000 pièces et l'anti-aléa moyen de 10 000 pièces également.

### **5.3.2. Définir le contenu des kanbans**

Le Kanban est à la fois le support et le véhicule des informations échangées entre deux postes de travail consécutifs. Ces informations sont données d'une part par les renseignements inscrits sur le Kanban, d'autre part ; par la circulation des kanbans entre les postes de travail.

La liste minimale des informations à porter sur chaque Kanban est la suivante :

- 1 La référence de l'article
- 2 L'état de la matière
- 3 La quantité d'articles dans le conteneur
- 4 La destination du conteneur (machine aval ou stockage).

D'autres indications peuvent être jointes comme :

- la destination en clair de la pièce
- le nombre de conteneurs du lot traité
- l'emplacement sur le lieu de stockage
- des renseignements concernant le trajet de la pièce dans l'unité de production
- des renseignements sur le conditionnement des pièces, les traitements, etc.

pour notre exemple qui est relatif à des plaques d'interrupteur, le contenu du Kanban est celui-ci :

### **5.3.3. Définir les règles de fonctionnement**

Règles de circulation des kanbans :

Les kanbans accompagnent toujours les matières du poste amont appelé « fournisseur » au poste aval appelé « client ». voici une liste de règles parmi les plus couramment édictées :

- 1 Un conteneur plein doit toujours être muni de son kanban.
- 2 Dès qu'un conteneur est entamé au poste aval, son kanban doit être détaché et recyclé vers le planning du poste amont auquel il appartient.
- 3 Chaque kanban recyclé demeurera sur le planning du poste amont jusqu'à la fin du remplissage du conteneur sur lequel il sera fixé.

Il existe d'autres règles : on peut décider que le retrait du Kanban du conteneur se fasse après la sortie au poste aval de la dernière pièce qu'il contenait. Au poste amont, la règle peut être de fixer le Kanban avec la première pièce travaillée.

### **5.3.4. Règles de fonctionnement du planning**

- 1- Le lancement devient obligatoire lorsque la pile atteint l'index rouge car on risque une rupture d'approvisionnement au poste aval.

- 2- Le lancement est autorisé lorsque la pile s'arrête entre deux index.
- 3- Le lancement est interdit lorsque la pile de kanbans rangés sur le planning n'atteint pas l'index vert.

Plus il y a de kanbans présents au planning moins il y a de matière en circulation (en-cours ) entre le poste amont et le poste aval.

La modulation du flux s'opère donc par le contrôle du nombre de kanbans sur le planning.

Attention, il faut bien comprendre la signification de l'index vert. Cela ne veut pas dire, pour notre exemple, que le lot de fabrication doit obligatoirement être de 3 conteneurs. Cela signifie simplement que l'autorisation de lancer un lot en fabrication ne peut avoir lieu qu'à partir du moment où le nombre minimal de kanbans au planning est au moins de 3.

## 6. Exemple 2

Détermination des capacités nécessaires pour des postes traitant un flux tendu. Le flux est tendu lorsque l'encours entre deux postes est limité à un lot de transfert.

Un sous-traitant partenaire de constructeurs d'automobiles veut implanter une ligne de fabrication pour des moyeux de volants de direction standards . Le processus comprendra deux phases : décolletage puis brochage. Quelle doit être le nombre de machines pour chacun des deux postes ?

Nous limiterons cet exemple à l'application de la première et d'une partie de la deuxième étape de la méthodologie proposée.

### Etape 1 : Collecter les données existantes

#### Caractéristiques du flux

Il est prévu une demande journalière constante de 3800 moyeux standards avec variation possible de plus ou moins 400.

#### Caractéristique du poste amont

Le temps opératoire unitaire est de 1,2 minute.

#### Caractéristique du poste aval

Le temps opératoire unitaire est de 0,4 minute.

Pour les deux postes, le temps d'ouverture normal est de 16 heures par jour en deux équipes avec un temps effectif de production de 90% du temps d'ouverture.

### Etape 2 : Définir les paramètres de fonctionnement

#### Capacité et nombre de machines par poste

Avec la méthode kanban, les variations de la demande ne sont pas encaissées par une variation des capacités mis à disposition mais par une variation du flux. Aussi :

#### Chaque poste doit pouvoir absorber le flux maximum.

Le flux maximum est dans notre cas de :  $3800 + 400 = 4200$  moyeux /jour

##### ○ Poste amont : Décolletage

La charge journalière maxi est de :  $1,2 \times 4200 = 5040$  min

Temps effectif de production :  $16 \times 60 \times 0,9 = 864$  min

La charge étant de 5040' et le temps disponible de 864', il faut  $5040/864$  soit 6 tours monobroche à décoller ou un tour à 6 broches.

○ **Poste aval : Brochage :**

La charge journalière est de  $0,4 \times 4200 = 1680'$  pour un temps disponible de 864 min. Il faut donc deux machines à brocher.

**Capacité des conteneurs**

Nous prendrons des conteneurs de 400 pièces représentant environ le 10ème de la demande journalière.

La mise en place d'un enchaînement kanban nécessite l'équilibrage des postes amont et aval pour avoir un flux continu. Les temps opératoires unitaires à chaque poste n'étant pas identiques, il faut un nombre de machines différents à chaque poste pour qu'ils aient des capacités identiques : ici la capacité du décolletage est  $(60/1,2) \times 6 = 300$  moyeux /h. De même, la capacité retenue pour le brochage est  $(60/0,4) \times 2 = 300$  moyeux/h.

**La demande horaire maxi est de  $4200 / (16 \times 0,9) = 292$  moyeux/h.**

**7. Exemple 3**

Détermination des capacités des ressources nécessaires pour un enchaînement kanban traitant plusieurs flux.

Le développement de l'exemple se fera comme précédemment sur les deux premières étapes de la méthodologie.

Il s'agit de la mise en flux de quatre références de carters de **pompe à eau repérées POA, POB, POC et POD** pour engins de travaux publics qui nécessitent, pour leur transformation, trois "prises" mises en œuvre sur trois postes d'usinages constitués de MOCN.

**Etape 1 : Collecter les données existantes**

**Caractéristiques des flux**

Les flux maximums prévus sont les suivants :

POA	POB	POC	POD
500	700	600	800

**Caractéristiques du premier poste**

Les temps opératoires unitaires  $T_u$  et les temps de réglage  $T_r$ , exprimés en minutes, sont les suivants :

-	POA	POB	POC	POD
$T_u$	0,3	0,2	0,2	0,4
$T_r$	10	5	8	6

**Caractéristiques du deuxième poste**

Les temps opératoires unitaires  $T_u$  et les temps de réglage  $T_r$ , exprimés en minutes, sont les suivants :

-	POA	POB	POC	POD
$T_u$	1	1,2	0,8	0,7
$T_r$	15	10	12	8

### Caractéristiques du troisième poste

Les temps opératoires unitaires  $T_u$  et les temps de réglage  $T_r$ , exprimés en minutes, sont les suivants :

-	POA	POB	POC	POD
<b>Tu</b>	0,4	0,8	0,6	0,5
<b>Tr</b>	6	8	11	7

Les temps effectifs de production à chaque poste est de 14,4 heures soit 860 minutes par jour. Ce temps disponible tient compte des aléas de chaque poste.

### Etape 2 : Définir les paramètres de fonctionnement

#### Capacité et nombre de machines par poste

Nous allons déterminer la charge journalière maximale pour chaque poste en retenant arbitrairement deux changements d'outillage par référence et nous en déduisons le nombre de machines nécessaires compte tenu du temps effectif de production qui est de 860 min.

Pour chaque poste, la charge est la somme des temps opératoires pour chaque référence et pour la demande journalière augmentée des temps affectés aux réglages qui immobilisent les machines.

Exemple pour le poste 1

Charge provenant de l'usinage de la référence POA :  $0,3 \times 500 = 150$

Charge provenant de l'usinage de la référence POB :  $0,2 \times 700 = 140$

Charge provenant de l'usinage de la référence POC :  $0,2 \times 600 = 120$

Charge provenant de l'usinage de la référence POD :  $0,4 \times 800 = 320$

<b>Total</b>	<b>730</b>
Immobilisation pour réglage : $(10 + 5 + 8 + 6) \times 2 =$	<b>58</b>
	<b>788</b>

Le nombre de machines nécessaires est obtenu en faisant le rapport entre la charge du poste exprimée en minutes et le temps de production disponible.

Pour le poste 1 nous avons :

Nombre de machines :  $788/860 = 0,92$  soit une machine.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau suivant :

	Tu					Tr					Charge Maxi	Nbre MOCN
	POA	POB	POC	POD	$\Sigma Tu$	POA	POB	POC	POD	$\Sigma Tr$		
<b>Poste 1</b>	150	140	120	320	730	20	10	16	12	58	788	1
<b>Poste 2</b>	500	840	480	560	2 380	30	20	24	16	90	2 470	3
<b>Poste 3</b>	200	560	360	400	1 520	12	16	22	14	64	1 584	2

## Capacité des conteneurs

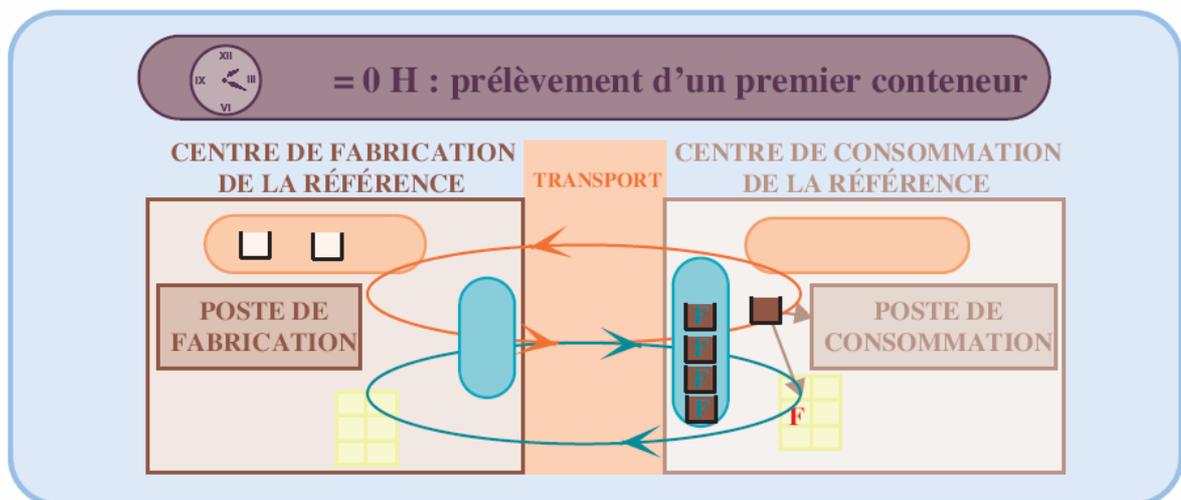
Par application de la règle Toyota nous prendrons pour chaque référence :

- Référence POA 50
- Référence POB 70
- Référence POC 60
- Référence POD 80 pièces par conteneur

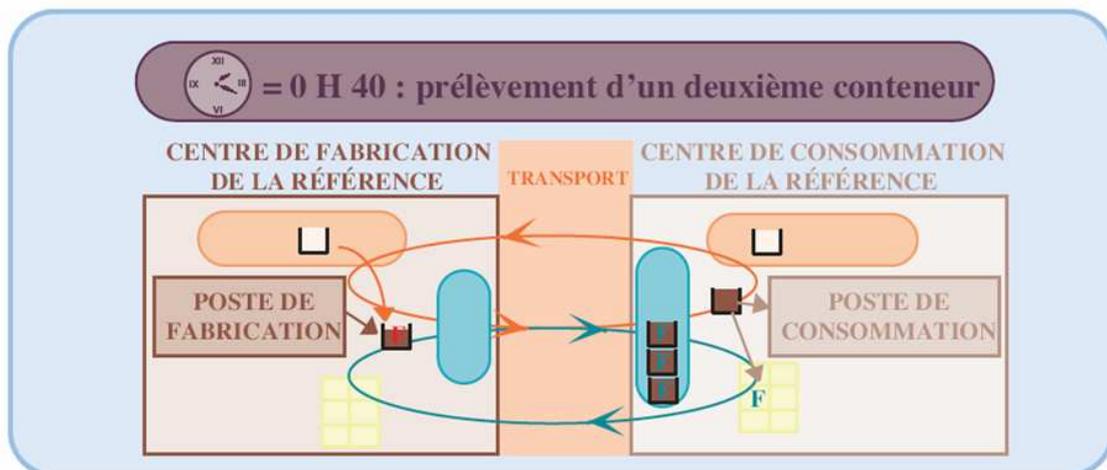
## 8. Simulation cas général

Simulons des situations particulières afin de bien comprendre le fonctionnement du système.

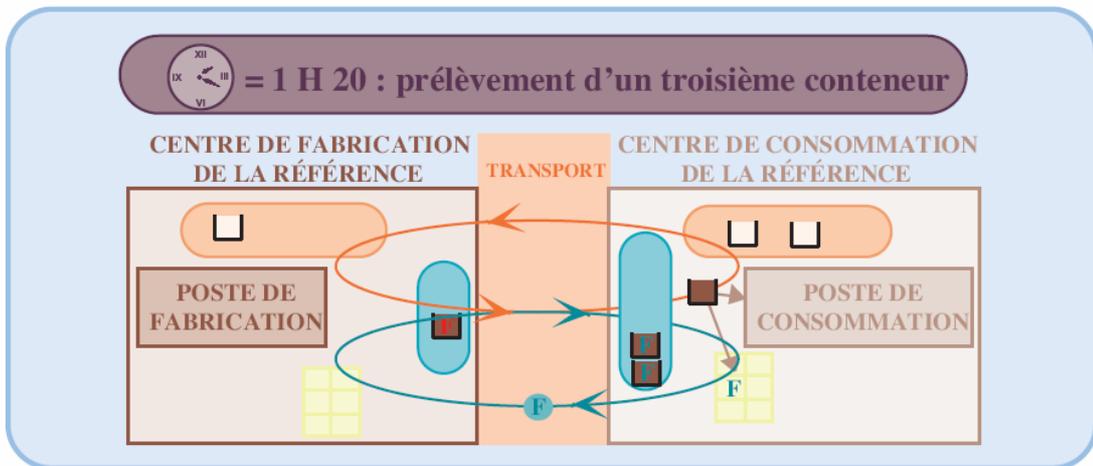
### *Initialisation* *Prélèvement d'un premier conteneur*



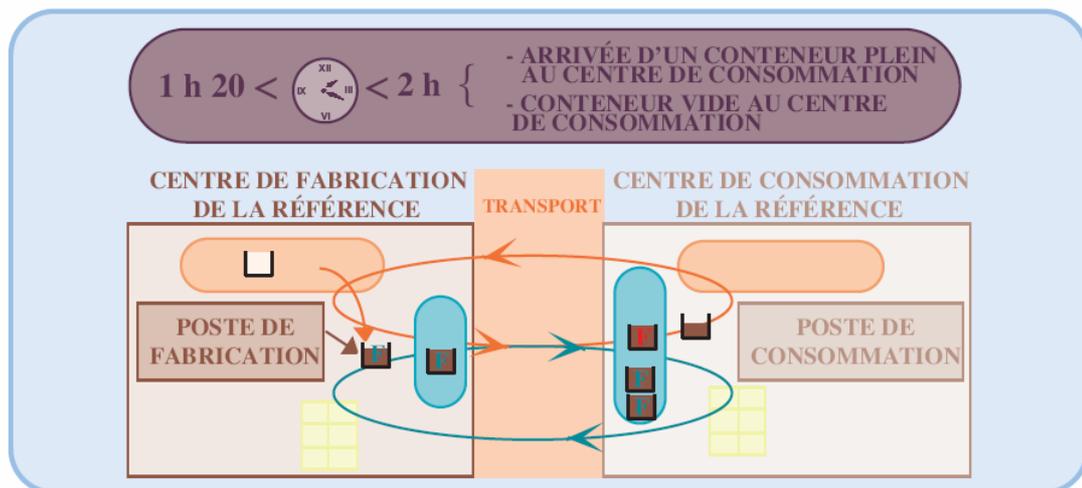
### *Prélèvement d'un deuxième conteneur à 0 heure 40*



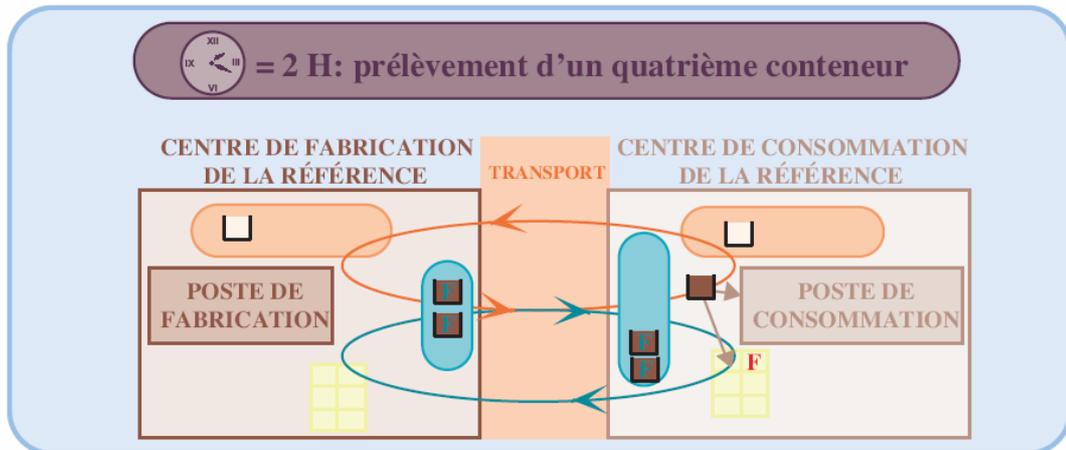
*Prélèvement d'un troisième conteneur à 1 heure 20*



*Événements se produisant entre 1 heure 20 et 2 heures*



### Prélèvement d'un quatrième conteneur à 2 heures



## 9. Remarques et comparaisons

Le calcul des besoins (ou MRP) permet la planification centralisée, à moyen ou à long terme. Le développement de programmes informatiques lourds a permis un calcul rapide de la planification et a favorisé la mise en œuvre d'une planification glissante.

En environnement perturbé, la très grande volatilité des informations contenues dans le carnet des commandes fait perdre au MRP une partie de ses qualités.

La philosophie juste à temps opère d'une manière très différente. Premièrement, elle va réorganiser l'appareil de production vers la recherche de la flexibilité et le rejet du gaspillage, dans le second temps, le Kanban va être mis en place pour effectuer une planification décentralisée de poste de fabrication en poste de fabrication, sur une base d'informations mises à jour en temps réel : alors que le cas de la planification glissante ne peut raisonnablement descendre en dessous d'une semaine, l'adéquation offre- demande s'effectue instantanément dans le juste à temps.

En conclusion une question se pose : faut-il en conclure qu'un système surpasse l'autre ? La réponse est non. Les systèmes possédant des qualités complémentaires. Le MRP1 permet d'effectuer des prévisions à moyen et à long terme, ce que n'autorise le JAT et le MRP2 permet d'effectuer des simulations au niveau des ressources dont l'entreprise aura besoin à moyen et long terme.

Le JAT fonctionne correctement dans un environnement stable et possède aussi ses détracteurs qui donnent les conséquences néfastes sur l'individu.

## 10. Conclusions :

Le système kanban intervient en second lieu dans la philosophie juste à temps, le système va être donc mis en place pour effectuer une planification décentralisée, de poste de fabrication en poste de fabrication, sur une base d'informations mise à jour en temps réel, alors que le pas de la planification glissante ne peut raisonnablement descendre en dessous d'une semaine, l'adéquation offre-demande s'effectue instantanément dans le juste à temps.

Le système kanban ne permet pas d'effectuer des prévisions à moyen ou long terme. Il fonctionne correctement dans un environnement stable et possède aussi ses détracteurs qui dénoncent les conséquences néfastes sur l'individu.

# SEUIL

## 1. Objectif

L'outil "SEUIL" a pour but de définir:

- soit les conditions de validité de différentes solutions en compétition,
- soit leur seuil de rentabilité temporel ou économique

## 2. Désignations similaires

- analyse du point mort,
- seuil de rentabilité.
- en anglais : break-even-point.

## 3. Origine

Très utilisé en gestion financière, l'outil SEUIL trouve son origine dans l'étude des fonctions appelée analyse en mathématiques.

## 4. Domaines et contraintes d'utilisation

En gestion de production SEUIL peut être utilisé pour :

- sélectionner un moyen de production
- choisir entre plusieurs gammes possibles,
- déterminer un retour sur investissement,
- déterminer l'impact d'un nouvel équipement sur la rentabilité d'une unité de production, etc...

Le traitement se fait graphiquement ou analytiquement. Dans le cas d'un traitement graphique, il est conseillé de limiter le nombre de solutions à trois ou quatre

Les données traitées doivent pouvoir être converties dans la même unité de mesure.

Les unités de temps sont les plus utilisées en gestion de production. Toutefois, elles sont souvent affectées d'un taux pour les traduire en coût.

## 5. Méthodologie

1. **Collecter les données relatives au problème posé**
2. **Etablir, pour chaque solution l'expression du coût ou de la durée en fonction des quantités traitées**
3. **Rechercher les points morts**
4. **Interpréter.**

## 6. Applications

### 6.1. Exemple Seuil 1

Afin de simplifier et de rendre plus flexible la planification de la production, le préparateur d'une petite entreprise de mécanique se fixe un type de machines et non pas une machine bien précise pour chaque phase des gammes opératoires.

De son côté le chef d'atelier établit les règles de priorité d'utilisation des machines disponibles de chaque type pour l'îlot de production dont il a la responsabilité. Il veut pouvoir sélectionner la machine la plus "rapide" en regard de la taille du lot à travailler afin d'augmenter la disponibilité des machines pour la production de produits complémentaires et pour la maintenance des machines.

Parmi les fraiseuses, il dispose d'une fraiseuse universelle (fu), d'une fraiseuse C.N. paraxiale (fp) et d'une fraiseuse à cycles cubiques (fc), toutes les trois de même classe de précision et de même capacité.

#### Etape 1 : Collecter les données

Les données relatives à chaque machine sont regroupées dans le tableau ci-dessous : cadence de production Cp en pièces / heure, temps réglage Tr en min / lot:

	Cadence de production Cp pièces / heure	Temps de réglage Tr en min / lot
Fraiseuse Universelle (fu)	2,4	100
Fraiseuse C.N. Parax. (fp)	6	500
Fraiseuse à Cycles cu.(fc)	12	1000

#### Etape 2 : Exprimer la durée ou le coût de chaque solution

Pour un lot de fabrication de X pièces, le temps opératoire s'exprime de la manière suivante:

$$T = (X / Cp) + Tr$$

Avec:

T = temps opératoire

Cp = cadence de production

Tr = temps de réglage pour un lot de fabrication

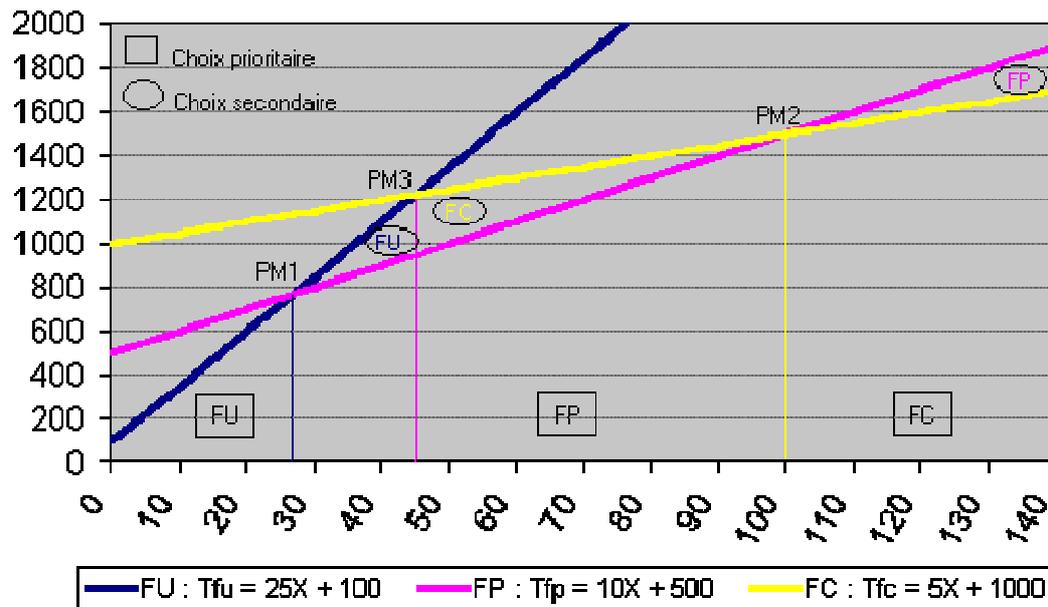
Les calculs d'application de notre exemple, *exprimés en minutes*, donnent :

- Fraiseuse universelle :  $T_{fu} = (60/2,4)X + 100 \Rightarrow T_{fu} = 25X + 100$
- Fraiseuse C.N. :  $T_{fp} = (60/6)X + 500 \Rightarrow T_{fp} = 10X + 500$
- Fraiseuse à cycles :  $T_{fc} = (60/12)X + 1000 \Rightarrow T_{fc} = 5X + 1000$

### Etape 3 : Rechercher les points morts

#### a) Graphiquement

Sur un repère plan porter en abscisse les quantités X, en ordonnée les temps T et tracer les droites représentatives de chacune des solutions. Elles sont de la forme  $y = ax + b$ . Pour les tracer, il suffit de reporter deux de leurs points, l'un pouvant être l'ordonnée à l'origine obtenue pour  $x = 0$ , l'autre en calculant son ordonnée à partir du choix de l'abscisse, par exemple  $x = 100$ , si 100 est une taille de lot fréquente de l'entreprise.



Les intersections des droites entre elles constituent les points d'équilibre entre deux solutions. On les nomme "points morts". Le point PM1 est le point mort entre la fraiseuse universelle fu et la fraiseuse paraxiale fp. Sur le graphique l'abscisse de ce point est environ de 25. Il correspond au lot critique entre les deux solutions. De même le point PM2 est le point mort entre la fraiseuse paraxiale fp et la fraiseuse à cycle fc. Son abscisse correspond à un lot de 100 pièces.

#### b) Analytiquement

Supposons deux droites (D1) :  $y = ax + b$  et (D2) :  $y = cx + d$ . Le point d'intersection I de ces deux droites est par définition le point commun aux deux droites c'est-à-dire que ses coordonnées XI et YI ont même valeur qu'elles soient exprimées dans l'une ou l'autre des fonctions.

Pour (D1) :  $YI = a(XI) + b$  et pour (D2) :  $YI = c(XI) + d$

En écrivant l'égalité de ces deux expressions, appelée équation aux abscisses, nous allons pouvoir déterminer l'abscisse du point I :

$$a(XI) + b = c(XI) + d ; \text{ soit } a(XI) - c(XI) = d - b \text{ donc } (XI) = (d - b) / (a - c)$$

#### Application :

Point PM1 :  $25x + 100 = 10x + 500 \implies x = 25$  pièces

Point PM2 :  $10x + 500 = 5x + 1000 \implies x = 100$  pièces

#### Étape 4 : Interpréter

La machine sélectionnée sera toujours celle du moindre temps, si elle est disponible. Sur le graphique précédemment tracé, les domaines de validité de chaque solution sont donnés par les portions de droites dont les ordonnées des points constitutifs ont les valeurs les plus faibles. Ainsi pour les valeurs d'abscisses comprises entre 0 et environ 25, les valeurs les plus faibles des ordonnées sont celles qui correspondent à la droite de la fraiseuse universelle (fu).

Le polygone 0-PM1-PM2 correspond à l'enveloppe des solutions de moindre temps. D'où les conclusions suivantes :

Pour des lots inférieurs ou égaux à environ 25 pièces, l'utilisation de la fraiseuse universelle (fu) est préférable.

Pour des lots supérieurs à 25 et inférieurs à 100 pièces, l'utilisation de la fraiseuse paraxiale (fp) est préférable.

Pour des lots supérieurs à 100 pièces, l'utilisation de la fraiseuse à cycles (fc) est préférable. Il existe un troisième point mort PM3. Il détermine le seuil entre les solutions fraiseuse universelle (fu) et fraiseuse à cycle (fc). Il permet d'opérer un choix entre ces deux possibilités dans le cas où, par exemple, la fraiseuse paraxiale est indisponible. La taille du lot critique est dans ce cas de 45 (voir graphique). Pour un lot inférieur à 45 on retiendra (fu) et pour un lot supérieur à 45 on retiendra (fc). L'attribution de la machine pour un lot de fabrication donné sera faite, par le chef d'atelier, conformément à la règle suivante :

	Taille du lot de fabrication			
	0-25	25-45	45-100	>100
Choix prioritaire	fu	fp	fp	fc
Choix secondaire	fp	fu	fc	fp

Ainsi, c'est le chef d'atelier qui, d'une façon très souple, choisira la solution optimale du moment. La démarche ne présente de l'intérêt que dans la mesure où l'entreprise peut utiliser le temps dégagé de façon économiquement efficace.

#### Exemple d'application

Usinage de 4 lots

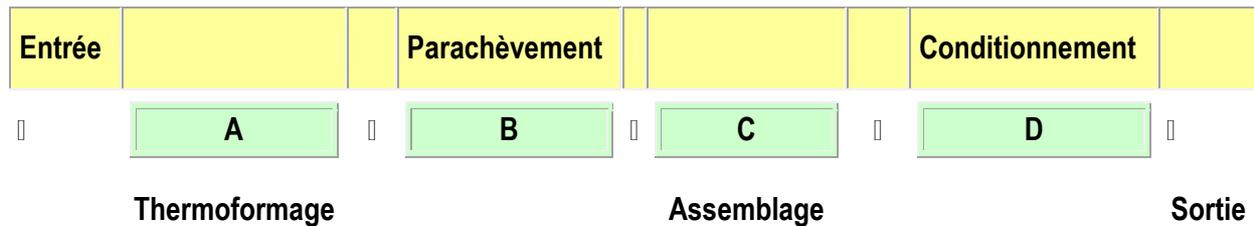
- lot 1: 128 pièces
- Lot 2: 53 pièces
- Lot 3: 28 pièces
- Lot 4: 77 pièces

Machines	Cadence (pièces/h)	Temps de réglage (en min)
M1	25	45
M2	14	18
M3	52	135
M4	31	62

## 6.2 Exemple Seuil 2

Une entreprise de sous-traitance automobile produit, en juste à temps, des tableaux de bord. Chaque soir elle reçoit, par télex, la référence et la quantité exacte à livrer le lendemain soir. Les réglages, pour le changement de série sont faits par une équipe de nuit en même temps que la maintenance des installations.

L'unité de production est une ligne de fabrication qui fonctionne en flux tendu : lorsque le remplissage d'un conteneur est terminé à un poste, celui-ci est transféré immédiatement au poste suivant. Il n'y a pas de stockage de conteneur entre les postes. Voici le synoptique de la ligne :



Combien de tableaux de bord doit-on mettre dans chaque conteneur pour que la commande de chaque jour soit terminée le soir même ? En déduire le délai de sortie du premier conteneur.

### Etape 1: Collecter les données

La durée journalière d'ouverture de la ligne de fabrication est de deux équipes de 7 heures soit 14 heures ou 840 minutes.

La moyenne journalière de la demande  $Co = 100$  tableaux de bord

Des relevés ont permis d'établir la grille suivante donnant les temps opératoires unitaires moyens ( $Tu$ ) par tableau de bord:

Phase	Désignation	Repère Poste	Tu en min
10	Thermoformage	A	6
20	Parachèvement	B	3
30	Assemblage	C	4
40	Conditionnement	D	2

Le temps de transfert  $TT$  d'un conteneur d'un poste à l'autre est de 4'.

### Etape 2 : Exprimer la durée ou le coût de chaque solution

Soit  $n$  le nombre de conteneurs d'une commande  $Co$ . Le délai d'obtention  $D$  de cette commande se décompose en délai d'obtention  $D1$  du premier conteneur augmenté des  $(n-1)$  conteneurs restants en prenant comme délai d'obtention  $D2$ , la durée opératoire unitaire la plus longue.

$$D = D1 + (n-1)D2$$

Nous allons exprimer successivement  $D1$ ,  $D2$  et  $D$ .

### a) Délai d'obtention D1 du premier conteneur de la commande du jour

Il est égal à la somme des temps opératoires à chaque poste augmenté des temps de transfert du conteneur d'un poste à l'autre :

$$D1 = (\sum Tu \times X) + (\sum TT)$$

Avec :

X = nombre de tableaux de bord par conteneur

Tu = temps opératoire unitaire moyen par poste

TT = temps de transfert d'un conteneur

L'application à notre exemple donne en comptant 3 transferts de conteneur :

$$D1 = (6 + 3 + 4 + 2)X + (4 \times 3)$$

$$D1 = 15X + 12$$

### b) Délai d'obtention des autres conteneurs de la commande du jour

La ligne de fabrication proposée est analogue à une chaîne transfert dont la cadence est donnée par le poste le plus lent. Dans notre exemple le poste le plus long est le poste A avec un temps opératoire unitaire de 6min. Le délai d'obtention D2 des autres conteneurs est pour chacun d'eux :

$$D2 = 6X \text{ avec } X : \text{ nombre de tableaux de bord par conteneur}$$

### c) Délai d'obtention D de la totalité de la commande du jour

Soit :

Co, le nombre de tableaux de bord d'une commande

X, le nombre de tableaux de bord d'un conteneur

Le nombre de conteneurs n correspondant à la commande journalière est :

$$n = Co / X$$

L'expression du délai D est :

$$D = D1 + (Co/X - 1) \times D2$$

L'application de cette formule à notre exemple donne :

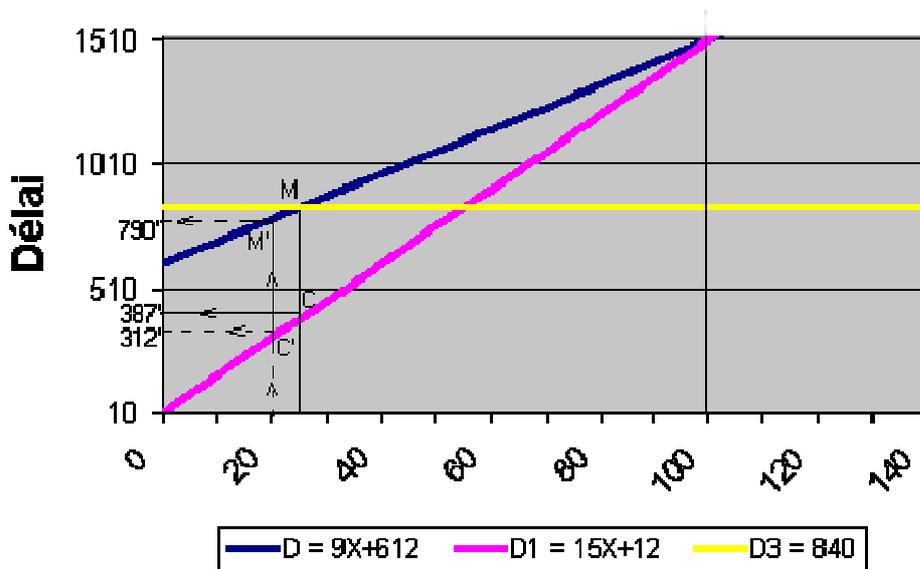
$$D = 15X + 12 + (100/X - 1)(6X)$$

$$D = 9X + 612$$

### Etape 3 : Rechercher les points morts

D est l'équation d'une droite représentant l'ensemble des solutions possibles. Elle indique le délai d'obtention de la commande journalière en fonction du nombre de tableaux de bord d'un conteneur.

Nous allons construire graphiquement cette droite et chercher son intersection avec la droite horizontale  $D3 = 840$  représentant la durée du temps d'ouverture de la ligne de fabrication. De même D1 indique le délai d'obtention d'un conteneur de X tableaux de bord.



Les deux droites se coupent au point M. La perpendiculaire à D3 issue de M a pour abscisse 25,33. Cette perpendiculaire coupe la droite D1 en C. L'ordonnée de C donne le délai d'obtention d'un conteneur de 25 tableaux de bord soit 387 minutes.

#### Etape 4 : Interpréter

C'est un conteneur de 25 pièces qu'il faudra utiliser pour pouvoir réaliser la commande journalière dans les 14 heures disponibles.

Ce résultat théorique dépend, en grande partie, de la fiabilité des postes de travail. Si ces postes ont un certain taux d'aléas de fonctionnement, nous pourrions nous en protéger en réduisant le nombre de tableaux de bord par conteneur.

Le délai théorique d'obtention de la commande en sera réduit d'autant dégageant une marge de manœuvre qui tiendra compte des aléas

Avec des conteneurs de 25 tableaux de bord, la commande journalière consommera 837' des 840 disponibles. Si on ramène la capacité des conteneurs à 20, le graphique donne un délai d'environ 790' dégageant une marge de  $840 - 790 = 50'$

De cette analyse, nous pouvons tirer la conclusion suivante : *Plus on fragmente une commande en petits lots, plus le délai d'obtention de cette commande diminue*

Le pont mort C obtenu avec la droite D1 donne le délai à partir duquel nous pouvons livrer le premier conteneur.

## 7. CONCLUSION

L'étude du seuil permet d'obtenir une réponse rapide mais approximative. En effet on utilise des hypothèses simplificatrices, ce qui permet de tracer des droites, mais qui nous éloigne de la réalité. Cet outil manque donc de précision que compense largement une rapidité d'utilisation.

La représentation graphique doit pouvoir être élaborée au cours d'une réunion, sur le coin de la table pourrait-on dire ou bien être programmée sur une calculette disposant de la sortie graphique. Un rapide calcul d'erreurs indiquera la validité de la réponse.

# COÛT

## 1. Le coût de fabrication ou de production

**Note importante :** Il ne faut pas confondre le coût et le prix.

D'après la norme NF X50-150 :

**COÛT :** "charge ou dépense supportée par un intervenant économique par suite de la production et/ou de l'utilisation d'un produit". Le coût est en général ramené à l'unité d'un produit.

**PRIX :** "équivalent monétaire d'un produit lors d'une transaction commerciale". Le prix est le même pour l'acheteur et le vendeur. Il devient un élément du coût pour l'acheteur. En effet dans le cas d'un achat le coût d'acquisition englobe d'autres frais supportés par l'acheteur tels que : frais administratifs, douane, réception, installation, etc...

## 2. Situation relative du coût de production.

Le coût de production fait partie de l'ensemble des coûts supportés par l'entreprise qui produit et/ou distribue des marchandises : cet ensemble est le **COÛT DE REVIENT**.

La connaissance du coût de revient est indispensable pour fixer le prix de vente.

Elements du coût de revient :

<b>Coût de production ou de fabrication</b>
+
<b>Coût de commercialisation</b>
+
<b>Coût de distribution</b>
+
<b>Coût d'administration</b>
=
<b>COÛT DE REVIENT</b>

Chacun de ces coûts est composé des :

-charges directes (les frais fixes)

-charges indirectes (les frais variables en fonction de la quantité de produits fabriqués).

## 3. Le coût de production (ou de fabrication)

### 3.1. Le coût matière = le coût d'achat.

Un COÛT MATIERE se détermine toujours à partir de 2 données :

- les prix unitaires des matières et des composants utilisés pour la fabrication
- les quantités respectivement utilisées.

**Coût matière = prix unitaire x quantité**

Pour une matière donnée, le prix unitaire est le prix de son unité de comptage, exemples :

- Prix unitaire du tube métallique : l'unité de comptage est le m.
- Prix unitaire d'un composant électronique l'unité de comptage est la pièce.
- Prix unitaire de la peinture l'unité de comptage est le kg.
- Prix unitaire du contreplaqué l'unité de comptage est le m<sup>2</sup>.

### 3.2. Le coût direct.

Un coût direct est composé de la somme :

- du coût de la matière d'oeuvre utilisée
- et du coût de la main d'oeuvre dont l'activité est étroitement liée à la fabrication du produit.

**Coût main d'oeuvre = salaire horaire x temps passe**

**Coût direct = coût matière + coût main d'oeuvre**

### 3.3. Les coûts indirects.

Les coûts directs représentent les frais liés à la production (énergie, amortissement du matériel,...).

C'est un pourcentage fixé forfaitairement ou calculé.

### 3.4. Le coût de fabrication ou de production.

Le COUT DE PRODUCTION est la somme des coûts directs et indirects liés à la fabrication d'un produit.

Il est indispensable pour déterminer le coût de revient d'un produit.

Le résultat doit être transmis à la direction pour déterminer ou non le lancement d'un produit.

$$\begin{aligned} & \text{COUT DIRECT (Coût matière + Coût main d'oeuvre)} \\ & + \\ & \text{COUT INDIRECT} \\ & = \\ & \text{COUT DE PRODUCTION} \end{aligned}$$

## 4. Méthode d'analyse des coûts

Dans les années 70, Paul-Louis BRODIER, ingénieur des Arts et Métiers, s'intéressa à l'approche système de l'entreprise et étudia l'adaptation du concept macro-économique de valeur ajoutée (VA) aux moyens de production d'une entreprise de transformation. Dans les années 80, son analyse aboutit à la méthode de calcul de la valeur ajoutée directement liée aux moyens de production qu'il nomme : la "VAD", ou valeur ajoutée directe.

## 5. Domaines et contraintes d'utilisation

La méthode développée dans ce chapitre s'adapte à toutes les entreprises raisonnant en heure de travail.

Cet outil permet de définir des taux horaires cibles ou objectifs, afin de permettre au gestionnaire de contrôler l'activité de la production. Il s'agit de faire un bilan, un diagnostic, en comparant la moyenne annuelle avec l'objectif.

Si ces taux peuvent être aussi utilisés comme base pour un devis "idéal", objectif, ils doivent être, cependant, adaptés à chaque cas particulier.

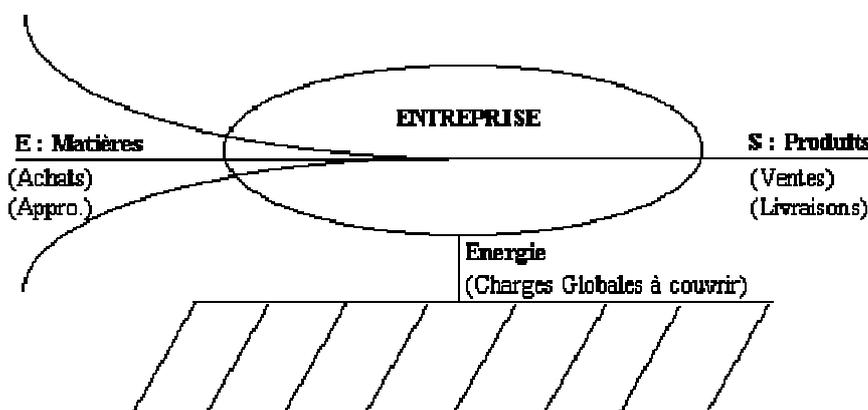
La principale contrainte est d'avoir un historique des temps d'activation des ressources ou des prévisions suffisamment fiables (voir à ce sujet l'outil "Prévision").

## 6. Méthodologie

1. **Collecter les temps et les dépenses**
2. **Calculer les charges globales à couvrir**
3. **En déduire un taux horaire objectif**
4. **Adapter les résultats au but**

Notons tout de suite la présence (nécessaire) à l'étape 4 d'un but. Il s'agit bien sûr d'un objectif lié à la production ou à sa gestion.

Avant d'aborder l'étude d'exemples, nous allons préciser certains concepts systémiques (voir Systémique) et macro-économiques qui permettront de mieux comprendre la démarche.



Soit le système entreprise :

Le flux de production : transformation des matières approvisionnées (Entrées) en produits livrés (Sorties), génère un flux monétaire : ventes moins achats, ou sorties moins entrées, que l'on nomme valeur ajoutée et que l'on note VA. Voici différentes définitions simplifiées de la VA :

<b>Valeur Ajoutée</b>
<b>Définition Macro-économique :</b> <b>Valeur Ajoutée</b> = Production - Consommation intermédiaire
<b>Définition en gestion :</b> <b>Valeur Ajoutée</b> = Produit des Ventes - Coût des Appro. <b>Valeur Ajoutée</b> = Chiffre d'affaires - Coût des achats
<b>Définition simplifiée sur un produit :</b> <b>Valeur Ajoutée unitaire</b> = Prix de vente unitaire - Coût Matière unitaire

**Attention** : le plan comptable nomme cette valeur ajoutée "macro-économique" la marge brute.

Le fonctionnement du système entreprise nécessite différentes énergies :

- humaine : la main d'œuvre,
- mécanique : les machines,
- électrique,
- ....

qui entraînent des rémunérations et des dépenses de fonctionnement :

- Salaires,
- Remboursements,
- Factures énergétiques, loyers,
- Taxes, assurances,
- ...

Nous appellerons l'ensemble de ces rémunérations et dépenses de fonctionnement **les charges globales à couvrir** par la VA.

En effet, si la valeur ajoutée est égale ou supérieure aux charges globales à couvrir dans une entreprise, alors celle-ci peut vivre. Toutefois, les transactions monétaires n'étant pas instantanées, il faudra de la trésorerie pour jouer le rôle de "régulateur", afin de compenser les différences de dates entre les sorties et les entrées d'argent..

## 7. Applications

### 7.1. Exemple COUT.1

Une entreprise de chaudronnerie désire calculer son taux horaire moyen afin de se situer par rapport à la concurrence et d'élaborer des devis.

**Etape 1:** Collecter les temps et les dépenses

L'étude des travaux de l'année écoulée et la lecture des données comptables permettent d'obtenir les valeurs annuelles ci-dessous :

Désignation	Valeur annuelle
• Capacité annuelle normale (ou nombre d'heures facturées) :	25 000 H
• Salaires et charges sociales :	3 000 K€
• Rémunérations état, prêteur,... :	230 K€
• Amortissement technique :	500 K€
• Valeur locative des sols :	20 K€
• Energie, fluide et consommable :	250 K€
• Matière première et fournitures :	677 K€
• Sous-Traitance :	333 K€

Remboursement des emprunts et autofinancement, afin de remplacer la machine au bout d'une durée technologiquement valable.

### Etape 2: Calculer les charges globales à couvrir

Les charges globales annuelles à couvrir de cette entreprise s'obtiennent en additionnant les dépenses nécessaires pour lui donner "l'énergie" de transformer les tôles en produits. Ne doivent donc pas intervenir les dépenses de matière et de sous-traitance, puisque leur coût est systématiquement reporté sur le prix de vente du produit considéré. Ainsi obtenons-nous pour notre société :

$$3000 + 230 + 500 + 20 + 250 = 4\ 000\ \text{K€}$$

### Etape 3: En déduire un taux horaire objectif

Pour que la société fonctionne sans problème, il faut au minimum que les charges soient couvertes par les heures facturées. Le taux horaire objectif s'obtient donc en faisant le rapport entre la charge globale et le nombre d'heures facturées (ou capacité annuelle normale) :

$$\text{Taux Horaire Objectif} = \frac{\text{Charges Globales à Couvrir}}{\text{Nombre d'heures facturées}}$$

Ce taux horaire que nous noterons en abrégé T.H.O. est également appelé :

- coût horaire normal,
- coût objectif (dans l'idée G.P.C.O.),
- taux horaire moyen,
- taux horaire minimum.

L'application numérique donne :

$$\text{Taux Horaire Objectif} = \frac{4\,000\,000 \text{ F}}{25\,000 \text{ h}} = 160 \text{ F/H}$$

#### Etape 4 : Adapter les résultats au but

Le taux de 160 F/h représente la portion de valeur ajoutée annuelle que doit dégager l'entreprise en moyenne par heure de travail. Le terme VA étant réservé à la macro-économie de l'entreprise, P.L. Brodier a choisi le terme de VAD/h, ou valeur ajoutée directe par heure, pour désigner ce ratio directement lié aux capacités de production.

**Le taux horaire objectif ou THO représente donc la part de valeur ajoutée que doit dégager, en moyenne annuelle, une heure de production.**

Comme toutes les ressources de l'atelier sont de même nature dans notre entreprise de chaudronnerie (ici des hommes et leurs "coups de patte"), ce taux peut également être utilisé pour l'élaboration des devis. Dans ce cas, le prix de vente cible est calculé de la façon suivante :

$$\text{Prix de vente} = \text{Temps de fabrication} * \text{T.H.O.} + \text{Coût matière}$$

Si le prix du marché est inférieur au prix obtenu une décision stratégique s'impose :

- ne pas accepter la commande
- accepter le prix du marché et compenser sur d'autres commandes
- analyser le cas particulier (cf outil "King")

#### 6.2 Exemple COUT.2

Une entreprise désire acquérir une nouvelle installation automatisée pour un nouveau marché de 100 blocs de freinage ferroviaire par mois, sur 10 mois pendant 10 ans au prix de vente de 1000 F la pièce. La rentabilité sera-t-elle assurée ?

##### Etape 1 : Collecter les temps et les dépenses

Après étude du dossier par le bureau des méthodes, nous obtenons les temps relatifs aux pièces :

- Temps de réglage : 300 min
- Temps du processus : 74 min

soit un temps pour 100 pièces de 7 700 min

Le gestionnaire recense les temps et ratios normaux pour l'entreprise :

- Temps d'ouverture annuel (ou capacité théorique) : 1750 h
- Taux moyen d'utilisation des machines : 85%

Il faut maintenant collecter toutes les dépenses qu'entraînent l'achat et le fonctionnement de la nouvelle unité de production

- Crédit bail de la machine : 1800 K€ (600 K€ / an)
- Outillage de base : 300 K€
- Frais d'installation : 30 K€

soit un investissement de 2 130 K€

- Contrat d'entretien annuel : 34 K€
- Salaire (embauche) : 245 K€
- Electricité et consommables : 25 K€

soit une charge annuelle de 304 K€

L'entreprise n'ayant aucun local à acheter pour l'installation de cette machine, nous ne prendrons pas en considération la valeur locative du sol.

Enfin, il faudra bien sûr acheter des bruts :

- prix du brut : 289 €

soit pour 100 pièces 28,9 K€

## **Etape 2 : Calculer les charges globales à couvrir**

Afin de rendre homogènes toutes les dépenses recensées, nous allons les ramener sur une période d'un an. Il faut, pour cela, choisir un amortissement qui tienne compte du marché, de la technologie, des prévisions et des remboursements ou loyers. Cet amortissement est généralement appelé "Amortissement Technique".

Qui peut, actuellement, assurer des prévisions à long terme? La "promesse" de d'achat pendant 10 ans doit donc être revue de façon plus réaliste. Le gestionnaire choisit une durée de 3 ans pour l'amortissement de l'investissement de 2130 K€ (à raison de 10 mois de production par an).

$$\begin{aligned} \text{Charges globales à couvrir} &= \text{Amortissement} + \text{Charge} \\ \text{Charges globales à couvrir} &= (2\,130 \text{ K€} / 3) + 304 \text{ K€} = 1\,014 \text{ K€} / \text{an} \end{aligned}$$

Les charges à couvrir de l'entreprise augmenteront donc de 1 014 K€ par an.

## **Etape 3 : En déduire un taux horaire objectif**

Tout d'abord, déterminons la capacité normale de l'unité de production :

$$\begin{aligned} & 77 \text{ (Temps d'utilisation de la machine par pièce)} \\ & \times \\ & 100 \text{ (nombre de pièces commandées par mois)} \\ & \times \\ & 10 \text{ (nombre de mois par an)} \\ & / \\ & 60 \text{ (transformation des minutes en heures)} \\ & = \\ & 1\,283 \text{ h (nombre d'heures effectives)} \end{aligned}$$

Cette unité étant achetée (crédit bail) pour une production connue à l'avance, il est intéressant de calculer le temps de production annuel :

A priori, les charges globales doivent être couvertes par les 1 283 h de production des pièces. Toutefois, on peut noter qu'il reste :

$$1\,487 - 1\,283 = 204 \text{ h}$$

204 h disponibles pour une production marginale.

Mettons-nous dans le cas le plus favorable et considérons qu'un marché compatible avec les 204 h existe, le taux horaire objectif du poste est :

$$\text{T.H.O.} = 1\,014\,000 / 1\,487 = 682 \text{ € / h}$$

Ces 682 € / h permettront donc de couvrir toutes les charges supplémentaires engendrées par ce nouveau marché.

#### **Etape 4 : Adapter les résultats au but**

Etant donné que nous connaissons déjà le prix de vente de l'article (1 000€), qui est certainement imposé par la concurrence, nous pouvons déterminer la valeur ajoutée :

$$\begin{aligned} \text{VAD} &= \text{Prix de vente} - \text{Prix du brut} \\ \text{VAD} &= 1\,000 \text{ €} - 289 \text{ €} = 711 \text{ €} \end{aligned}$$

Cette VAD dégagée par article, doit couvrir la charge globale que nous avons calculée ci-dessus soit 682 €/h. Il suffit donc de vérifier que :

$$\text{VAD/h} > 682 \text{ €}$$

pour pouvoir déterminer si, oui ou non, la rentabilité de cet investissement est assurée.

$$\begin{aligned}
& 711 \text{ (VAD par bloc de freinage ferroviaire)} \\
& \times \\
& 100 \text{ (nombre de blocs de freinage ferroviaire par mois)} \\
& \times \\
& 10 \text{ (nombre de mois)} \\
& / \\
& 1\,283 \text{ (temps de production annuel)} \\
& = \\
& 554 \text{ € (VAD/h dégagée par l'unité de production)}
\end{aligned}$$

Donc l'investissement n'est pas rentable.

En reprenant les calculs à l'envers, on peut trouver le prix de vente qui permettrait de dégager une VAD/h de 682 €/h. On obtient un prix de vente de :

$$289 + 1\,014 = 1\,303 \text{ €},$$

ce qui est bien au-dessus du prix du marché !

L'achat de la machine automatisée est donc à rejeter dans ces conditions d'emploi et ce, malgré un marché à forte valeur ajoutée (711 € / bloc de freinage ferroviaire).

### 6.3 Exemple COUT.3

Une petite entreprise spécialisée dans le collage des matières plastiques dispose de 3 îlots ou postes de production. Le gestionnaire désire connaître leurs "poids économiques", afin de mieux analyser leurs résultats et de pouvoir faire rapidement des études comparatives.

#### Etape 1 : Collecter les temps et les dépenses

Le gestionnaire doit collecter les rémunérations et charges annuelles en dissociant au mieux celles propres aux 3 postes, P1, P2 et P3. A cette fin, il doit, pour chaque dépense, se poser la question :

" Si je supprime le poste, cette dépense restera-t-elle ? "

Si la réponse est oui, alors la dépense est indépendante du poste et doit être comptabilisée dans la colonne "autres". Voici le résultat de son recensement :

Désignation de la dépense	P1	P2	P3	Autres
Salaires et charges sociales	140 K€	180 K€	220 K€	350 K€
Amortissement technique	60 K€	85 K€	110 K€	20 K€
Valeur locative des sols	45 K€	40 K€	50 K€	30 K€
Coût annuel de maintenance	30 K€	30 K€	30 K€	10 K€
Energie, et consommables	20 €	30 K€	30 K€	10 K€

Remboursement des emprunts et autofinancement, afin de remplacer la machine au bout d'une durée technologiquement valable (et non sur la durée comptable).

Il faut également connaître les temps d'utilisation habituels (normaux) des postes :

Désignation du poste	Capacité annuelle normale en heures
P1	1 600 h
P2	1 500 h
P3	1 400 h
<b>TOTAL =</b>	<b>4 500 h</b>

### Etape 2 : Calculer les charges globales à couvrir

Les charges à couvrir pour chaque poste de production correspondent à la somme des dépenses énumérées ci-dessus. Aussi obtenons-nous pour le poste P1 :

$$140 + 60 + 45 + 30 + 20 = 295 \text{ K€}$$

En faisant de même pour P2 et P3, nous obtenons le tableau récapitulatif :

Repère du poste	Charges à couvrir / an
P1	295 K€
P2	365 K€
P3	440 K€
Autres	420 K€
<b>TOTAL =</b>	<b>1 520 K€</b>

### Etape 3 : En déduire un taux horaire objectif

Un taux horaire réaliste ne peut pas être obtenu à partir de données partielles. Rappelons à ce titre la règle fondamentale de la systémique (cf. Systémique) :

**L'optimisation locale ne va pas forcément dans le sens de l'optimum du système.**

Le taux horaire objectif doit donc être calculé à partir des dépenses de toute l'entreprise, comme nous l'avons vu dans l'exemple 1 :

$$\begin{aligned} \text{Taux Horaire Objectif} &= \text{Charges globales à couvrir} / \text{Nombre d'heures facturées} \\ \text{Taux Horaire Objectif} &= 1\,520\,000 \text{ F} / 4\,500 \text{ h} = 338 \text{ €/h} \end{aligned}$$

C'est à partir de ce taux défini sur **l'ensemble** du système entreprise que l'on peut rechercher des taux plus adaptés à chaque poste de production.

### Etape 4: Adapter les résultats au but (légères modifications par rapport au livre)

Pondérer un taux horaire peut paraître chose simple. Malheureusement, ce n'est pas le cas et tous les pièges liés aux traitements de ratios et de données partielles se trouvent réunis dans ce calcul de

pondération. En revanche, il est simple de vérifier les résultats globaux avec et sans pondération : ils doivent être identiques.

$$\text{Somme (Heures)} \times \text{THO} = \text{Somme (Heures}_{\text{POSTE}} \times \text{THOP}_{\text{POSTE}})$$

De même que pour le calcul du THO, nous allons calculer un taux, un seuil horaire en divisant les charges à couvrir par le nombre d'heure:

$$\text{Seuil horaire du poste} = \frac{\text{Charges Locales à Couvrir du poste}}{\text{Nombre d'heures facturées du poste}}$$

Ce seuil représente donc un minimum de facturation qui couvre juste les charges locales du poste. On obtient:

Poste	Charges	Capacité	Seuil
P1	295 K€	1 600 h	<b>184.38 €/h</b>
P2	365 K€	1 500 h	<b>243.33 €/h</b>
P3	440 K€	1 400 h	<b>314.29 €/h</b>
P1+P2+P3	<b>1 100 K€</b>	4 500 h	<b>244.44 €/h</b>

**Remarque** : le seuil de l'atelier (244.44) n'est ni la moyenne des seuils  $((184.38 + 243.33 + 314.29) / 3 = 247.33)$ , ni le taux horaire objectif (338) !!!

Si tous les travaux étaient facturés au seuil calculé ci-dessus, cela couvrirait l'ensemble des charges locales soit 1100 K€. Comme les charges globales à couvrir sont de 1520K€, le coefficient dit de frais généraux ou kFG, est de:

$$\text{kFG} = \text{Charges Globales} / \text{Somme des Charges Locales}$$

$$\text{kFG} = 1\,520 / 1\,100 = 1.382$$

Nous pouvons maintenant déterminer le taux horaire objectif de chaque poste en appliquant la formule:

$$\text{THOP} = \text{Seuil} \times \text{kFG}$$

Ensuite il est facile de déterminer un poids économique, une pondération pour chaque poste, en appliquant la formule:

$$\text{Pondération} = \text{THOP} / \text{THO}$$

Voici les résultats pour notre exemple :

Poste	Seuil	KFG	THOP/poste	THO	Pond.
P1	184.38	1.382	<b>254.77 €/h</b>	338	0,75
P2	243.33	1.382	<b>336.24 €/h</b>	338	1,00
P3	314.29	1.382	<b>434.34 €/h</b>	338	1,29

Avant de conclure, vérifions la validité de la pondération. Pour cela, il faut obtenir le même revenu global sans pondération (4500h \* 338F/h) -soit 1520KF- et avec pondération :

Poste	Capacité	THOP €/h	Revenu normal KF
P1	1600	254.77	407.6
P2	1500	336.24	504.3
P3	1400	434.34	608.1
<b>TOTAL</b>			<b>1 520.0</b>

Les calculs sont donc bons.

Le but atteint, le gestionnaire va pouvoir utiliser ces taux horaires objectifs pondérés par poste, afin de faire des études comparatives dans l'absolu, des devis objectifs ou des analyses de rentabilité par poste, mais en se souvenant toujours que seul le bilan global de l'entreprise est une réalité économique.

## 7°) CONCLUSION

Tout au long de ce chapitre, nous avons abordé une nouvelle démarche en matière de coût. Le premier exemple nous a permis de définir les charges globales à couvrir par la valeur ajoutée sur une période de référence, l'année par exemple. Ensuite, nous avons vu comment mettre en place un objectif plus adapté aux travaux d'atelier : le THO, ou taux horaire objectif, qui représente la VAD/h que doit dégager en moyenne une heure de production.

Dans le deuxième exemple, nous n'avons considéré qu'une partie future de l'atelier, ce qui correspond à la notion de compte d'exploitation indépendant prôné par le juste à temps japonais. Dans le troisième exemple, nous avons continué dans la même voie, en étendant le principe de l'affectation des charges à un atelier déjà existant. Le THOP ou taux horaire objectif pondéré par poste est donc l'instrument de diagnostic du gestionnaire, puisque représentatif de charges locales et globales.

Tout au long du chapitre, nous avons évoqué le fait que les résultats obtenus pouvaient servir de base pour l'élaboration de devis. La lecture du chapitre suivant, où "l'effet de King" est développé, montrera au lecteur pourquoi les ratios que nous avons mis en évidence peuvent être souvent reconsidérés dans le calcul d'un coût particulier.

# Etude des temps opératoires

Un projet est la somme d'opérations utiles à la réalisation de ce projet. Chacune de ces opérations peut être découpée en petits éléments de temps ; il est nécessaire de connaître ces durées pour établir un planning, certaines de ces opérations étant codifiées (CETIM)

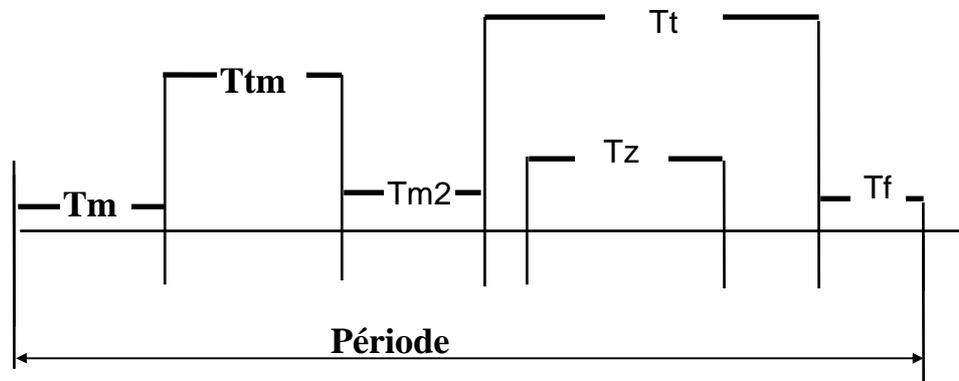
Nous trouvons ainsi :

- Tt : temps technologique La durée dépend uniquement des conditions techniques
- Tm : temps humain il correspond à un travail humain (physique ou mental)
- Ttm : temps technico humain c'est un Tm qui dépend aussi d'un Tt
- Tf : temps fréquentiel travail répété toutes les « x » opérations
- Tz : temps masqué tâche accomplie pendant l'exécution d' une autre opération
- Te : temps d'équilibrage
- Ts : temps de préparation

Une période est représentée par le temps écoulé entre 2 instants de travail identiques .(Montage d'une pièce par ex. )

## Représentation

Le sinogramme est une représentation graphique des événements pour l' accomplissement d' un travail.



Le sinogramme permet par exemple de vérifier facilement si un temps peut être masqué ou non masqué par un autre temps (Tz).

## Les temps d'exécution

La détermination d'un temps peut se faire de plusieurs manières.

- Par estimation
- par mesurage
- par comparaison
- par calcul

Les temps humains font l'objet de codifications , 3 systèmes sont connus en France.

- MTM (méthode time measurement)
- QSK (work factor system)
- CEGOS

TEMPS ELEMENTAIRE DES MANIPULATIONS (T en Mn)<sup>1</sup>

EQUIPEMENTS	MONTER	DEMONTER	REGLER	TEMPS
Tête universelle	x	x		15
Diviseur	x	x	x	10
Etau à vis	x	x	x	3
Bridage	x	x	x	1
Cales	x	x		0,3
Porte fraise	x	x	x	3
Réglage tête			x	1,6
Réglage vitesse			x	0,4
Monter pièce	x			1
Prendre une passe			x	0,5

Ces temps sont donnés à titre indicatif pour des pièces et machines de petites dimensions.

### Les temps de coupe

Le temps de coupe dépend essentiellement de la vitesse d' avance, de la longueur usinée et du nombre de passes.

Au tournage :

$$\text{Temps de passe} = \frac{\text{Longueur usinée}}{S \times aF}$$

Au fraisage:

$$\text{Temps de passe} = \frac{\text{Longueur usinée} + \text{dia outil}}{F \text{ mm/Mn}}$$

<sup>1</sup>Méthode d'usinage Nathan éditeur

Au perçage :

$$\text{Temps de passe} = \frac{\text{Longueur usinée} + r \text{ outil}}{S \times aF}$$

Exemple :

Au fraisage usinage d'une surface largeur 40 longueur 100 en acier  $V_c=50$   $a_f=0,08$  nombre de passe 4.

- a) Choix de la fraise  $\text{dia} = 4/3$  largeur  $\gg 63$
- b) nombre de dents  $z$  de l'outil  $d/10+2 \gg 8$
- c)  $S = 50\,000/63 \times \pi = 250$  T/mn
- d)  $F = a_f \times z \times S = 160$  mm/mn

**e) temps d' usinage :  $((100 + 63) \times 4) : 160 = 4\text{mn}5\text{s}$**

Pour connaître le temps total de fabrication (une pièce) il faut ajouter :

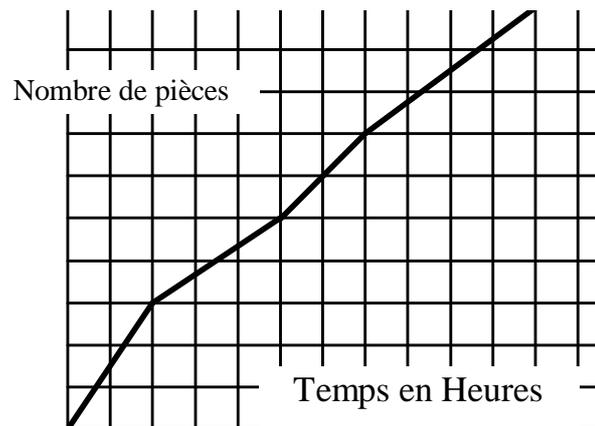
$$3 + 0,4 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,3 + 4,07 = 9,77 \text{ mn}$$

### Le suivi de la production

On doit pouvoir suivre la réalité de production à chaque heure par exemple

1 carreau 10 pièces 1 heure

- temps 2  $\Rightarrow$  20 pièces
- temps 5  $\Rightarrow$  50 pièces
- temps 7  $\Rightarrow$  70 pièces
- temps 11  $\Rightarrow$  100 pièces



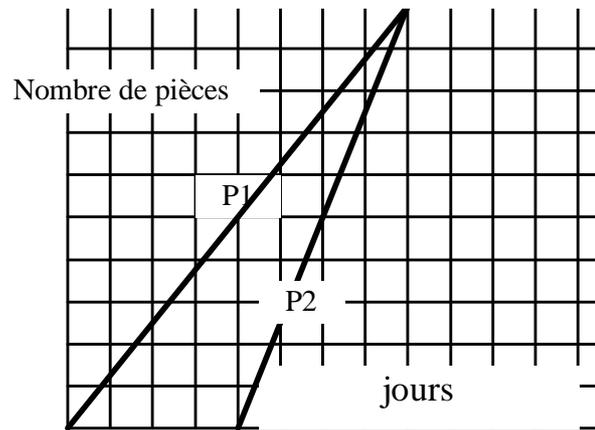
Nous remarquerons que la ligne n'est pas droite, la production n'est pas proportionnelle au temps. Seules les unités de grande production peuvent obtenir une production linéaire, alors que les autres unités sont sujettes aux aléas et arrêts intempestifs de productions par exemple ; changement de plaquettes, d'outils, petites séries.

Ajustement de la production

1 carreau 10 pièces 1jour

Les pièces P1 et P2 doivent être livrées en même temps.

On met 2 fois plus de temps pour fabriquer P1 que P2.



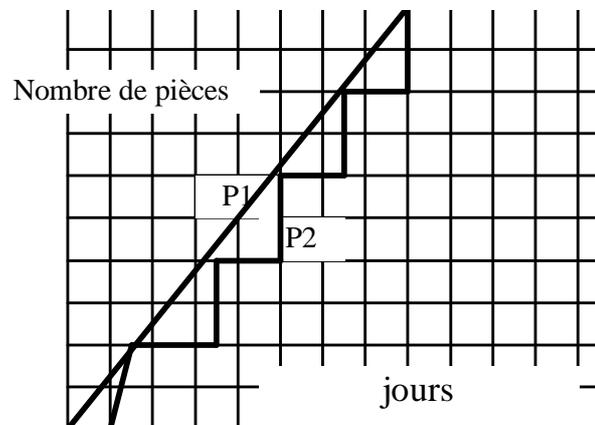
Solution n°1 démarrer P2 à moitié temps de P1

### Solution 2

1 carreau 10 pièces 1jour

Des pièces P1 et P2 doivent être livrées en même temps.

On met 2 fois plus de temps pour fabriquer P1 que P2.



On arrête périodiquement la production sur P2

Par exemple P2 fonctionne une demi-journée pendant que P1 fonctionne sans arrêt.  
( Il existe d' autres solutions par exemple mettre 2 postes sur P1)

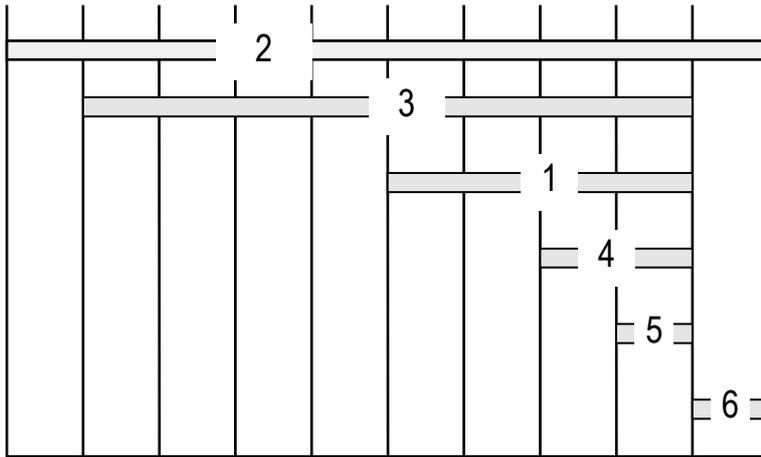
Construction d' un diagramme de « Gantt »

Quand on construit un tel tableau, nous avons au préalable calculé ou mesuré tous les temps nécessaires à la réalisation de l' objectif.

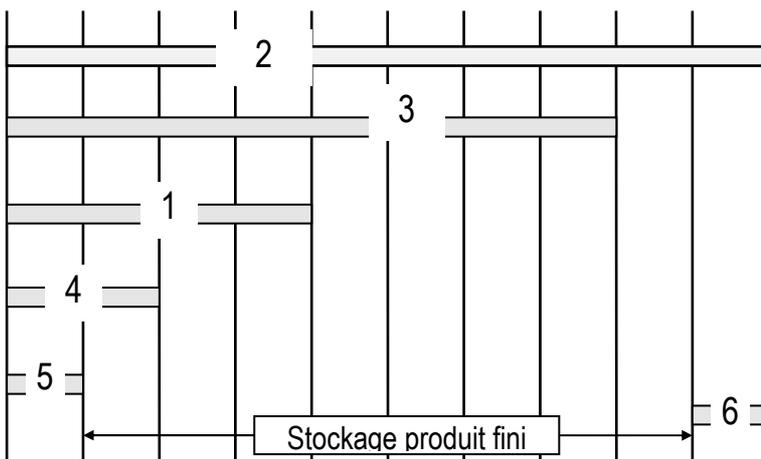
Soit à livrer un ensemble monté et composé

- |                            |           |
|----------------------------|-----------|
| 1. Commande des vis        | 2 jours   |
| 2. Commande des roulements | 5 jours   |
| 3. Commande joints         | 4 jours   |
| 4. Réaliser pièce 1        | 1 jours   |
| 5. Réaliser pièce 2        | 1/2 jours |
| 6. Montage                 | 1/2 jour  |

On peut monter les roulements au dernier moment.



Ce diagramme est dit « AU PLUS TARD » car toutes les opérations sont ajustées par la fin; ce type de procédé ne possède PAS DE MARGE DE SECURITE, mais évite le stock



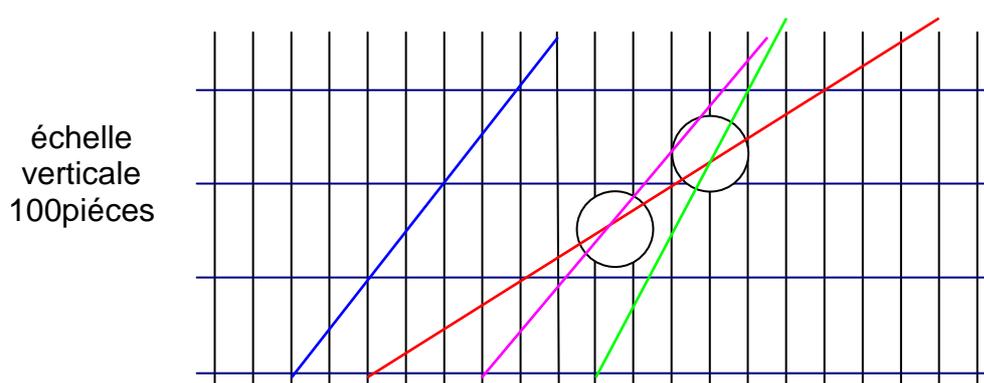
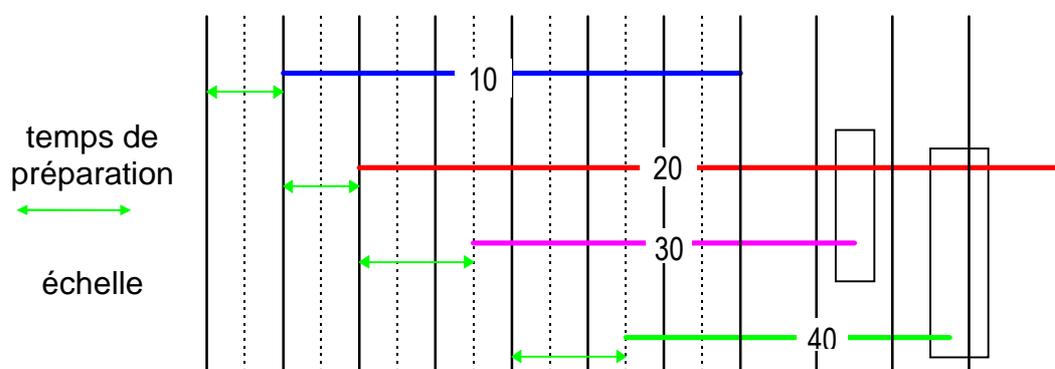
Ce diagramme est dit « AU PLUS TOT » car toutes les opérations sont ajustées par le début; ce type de procédé possède UNE MARGE DE SECURITE, mais provoque le stock

On peut bien sûr mixer les 2 méthodes

Diagrammes pour phases enchaînées

Dans le cas d'opérations interdépendantes ( l'opération précédente détermine la suivante) il faut associer un diagramme de suivi au diagramme de « Gantt », ce qui permet de visualiser les éventuelles erreurs de planification.

phase	10	20	30	40
nombre de postes	1	1	1	1
cadences	100 p/h	50p/h	142 p/h	125 p/h
temps de préparation	1 H	1 H	1,5 H	2 H
nombre de pièces	500	500	500	500



### Décodage des diagrammes

Sur le premier la phase 10 démarre aussitôt le réglage, les autres phases commencent (réglage) dès la mise en production de la phase précédente.

CE CHOIX EST-IL VALABLE ?

1. Pour la phase 10 pas de problème
2. Phase 20 peut fonctionner mais remarquons qu' elle termine après les phases 30 et 40
3. On ne pourra pas produire en phase 30 des pièces non terminées Ph20

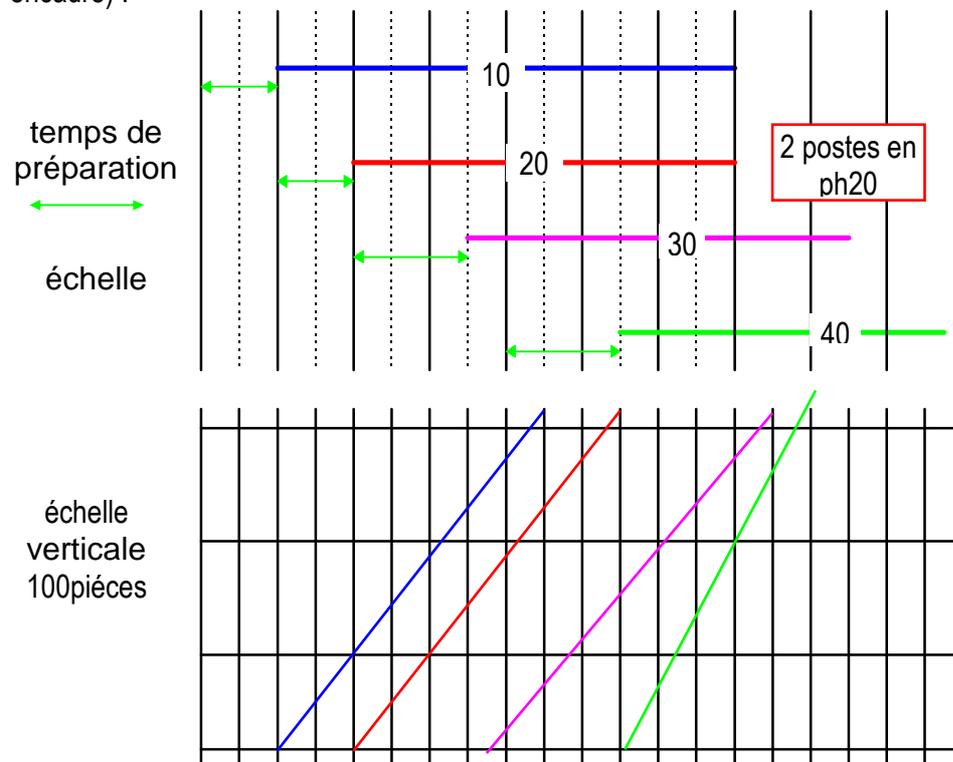
CE CHOIX N' EST PAS LE BON

SOLUTION N°1 Décaler vers la droite les phases 30 et 40

SOLUTION N°2 Mettre 2 postes de production en phase 20, ce qui réduira le temps apparent de production ( 2 fois 50 pièces par heures ), solution à préférer.

Le DIAGRAMME DE SUIVI montre clairement la situation

Nous produirons environs 150 pièces et la production s' arrêtera faute d' approvisionnement (voir encadré) .



Il n' y a aucun intérêt à faire suivre la production « à la queue leu leu », c'est une perte de temps, sauf si le poste est déjà occupé par une autre production.

## EXERCICE N°1

On donne :

5 fraiseuses CN sont à conduire

Tâche opérateur :

nature de la tâche	désignation	durée en ch
monter une pièce		1,5 ch
lancer le cycle		1 ch
durée du cycle d'usinage		16,5 ch
démonter une pièce		0,5 ch
contrôler la pièce		1,5 ch
passer sur autre machine		1,5 ch

ch = centième d' heure = 36 secondes

On demande :

- Qualifier les tâches par leur désignation (dans la partie ci dessus)
- Calculer la durée du cycle
- Combien, un opérateur peut- il conduire de machine ?
- Calculer le temps résiduel pour chaque opérateur
- Combien faut- il prévoir d'opérateur ?
- Peut- on utiliser l'opérateur à d'autres taches, lesquelles par exemple ?

Le calcul peut être effectué en ch

EXERCICE N°2:

on donne :

repères	nature du travail	durée	temps	désignation
1	Elever la voiture sur le pont	2,0 ch		
2	positionner le bac sous carter	0,75 ch		
3	enlever le bouchon carter	1,25 ch		
4	vidanger carter moteur	6,0 ch		
5	remonter bouchon carter	0,5 ch		
6	positionner bac sous boîte de vitesse	0,75 ch		
7	enlever 2 bouchons b. v.	2,25 ch		
8	vidanger boîte de vitesse	4,0 ch		
9	remonter bouchon inférieur bv	0,5 ch		
10	faire le plein huile bv	0,2 ch		
11	remonter bouchon supérieur bv	0,5 ch		
12	descendre la voiture au sol	2,0 ch		
13	enlever bouchon moteur	0,5 ch		
14	faire le plein huile moteur	4,0 ch		
15	remonter bouchon	0,5 ch		
	TOTAL			

Peut-on conduire 2 postes en même temps ?

### EXERCICE N°3 :

On donne :

repère	nature	durée	temps	désignation
1	charger une benne de sable	21,0 ch		
2	prendre et vider un sac de ciment	7,5 ch		
3	vider l' eau dans la cuve	5,0 ch		
4	vider la benne dans la cuve	4,5 ch		
5	malaxage	80,0 ch		
6	vider la cuve	6,0 ch		

Compléter le tableau ci-dessus ( sur 12) :

Vérifier qu'il est possible à l'opérateur de conduire 2 machines proches, la durée de passage d'une machine à l'autre étant de 25 ch (sur 4)

L'alimentation en eau tombe en panne. Il faut 4 seaux pour un cycle de béton. Le temps total ajouté est de 16,0 ch , vérifier qu' il toujours possible de conduire 2 machines (sur 4)

### EXERCICE N°4 :

On donne :

Repères	nature du travail	durée	temps	désignation
1	prendre une pièce et monter en étau			
2	monter un foret d=10	1,0 ch		
3	mettre en marche	3,5 ch		
4	prendre une passe	1,0 ch		
5	percer S=320t/mn F0,1/t L= 20			
6	ébavurer pièce précédente	5,0 ch		
7	ramener outil arrêt machine	1,0 ch		

8	démonter foret	2,0 ch		
9	monter fraise			
10	prendre la passe			
11	chanfreiner			
12	ramener outil arrêt machine			
13	démonter la fraise			
14	démonter et ranger la pièce	3,5 ch		
	TOTAL			

Compléter le tableau ci-dessus en utilisant tous les documents et livre à votre disposition :

L'opérateur dispose de 2 machines, calculer l'amélioration de production pour un lot de 200 pièces

#### EXERCICE N°5:

on donne :

Soit une commande de 350 pièces réalisées en 4 phases sur 5 postes groupés en îlot

phase	10	20	30	40
nombre de postes	1	1	2	1
cadences	100 p/h	150 p/h	50 p/h	120 p/h
rebuts possibles	5%	3%	0%	5%
temps de préparation	1 H	1,5H	1H	2 H
nombre de pièces lancées				
temps de fabrication				

On demande :

Le calcul et le nombre de pièces à lancer pour obtenir 350 pièces après la phase 40 (fin)(20 points).  
Compléter le tableau (15 points)

Le dessin schématique de îlot (5 points)

Tracer le diagramme de GANTT représentant la production.

Le poste ph20 doit terminer la dernière pièce 0,5h après la dernière pièce du poste ph10 .

Les 2 postes ph30 démarrent 0,5h après le poste ph20  
Le poste ph40 démarre 1,5h après les postes ph30  
(40 points)

Tracer le diagramme de suivi (20 points)

\*\*\* Pour calculer le nombre de pièce à lancer , calculer en partant du dernier poste , n' oubliez pas le dernier poste ( en fait le 1)

# Planification

## 1. Objectif

L'outil appelé "Planning" a pour but de définir une méthodologie de planification à capacité finie propre à l'entreprise.

## 2. Domaines et contraintes d'utilisation

La méthodologie proposée dans ce chapitre s'adapte à tous les secteurs de l'industrie. Les solutions partielles étudiées sont plus orientées sur la production d'articles à forte "transformation", comme c'est souvent le cas en mécanique, en habillement ou en imprimerie.

La méthode générale développée dans ce chapitre consiste à établir une liste des tâches rangées, grâce à des règles, par priorité décroissante, puis à les jalonner en appliquant la stratégie suivante : **Dès qu'une ressource est libre, lui affecter, si possible, une tâche. S'il y a conflit, alors prendre la tâche la plus prioritaire.**

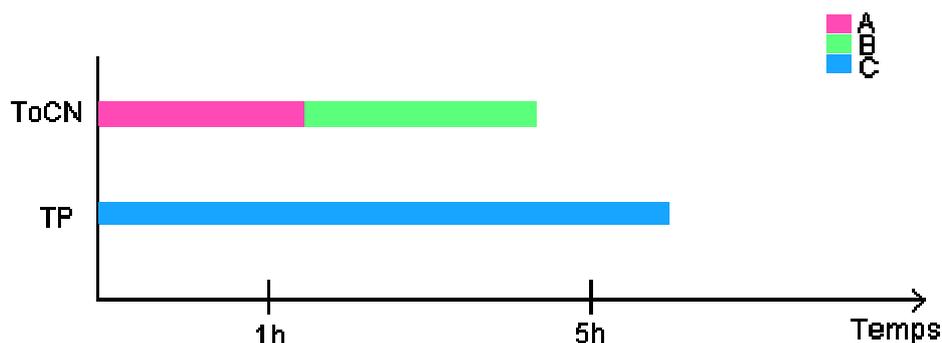
Les deux inconvénients majeurs de cette stratégie sont de ne jamais connaître la distance à l'optimum de la solution obtenue et d'avoir des réactions instables.

**Pour ce dernier point, prenons tout de suite un petit exemple :**

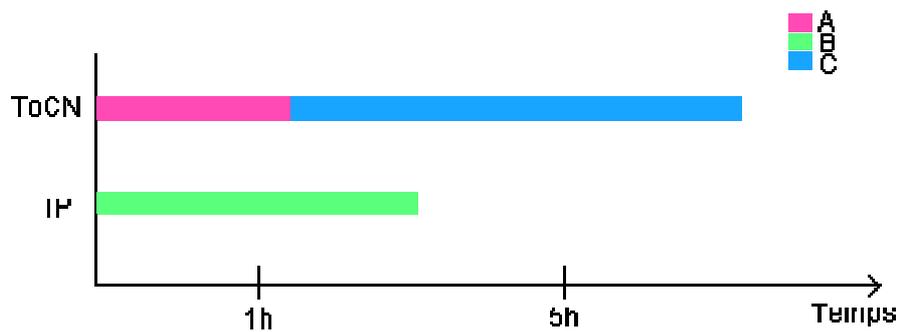
Un atelier possédant 2 tours, un tour à commande numérique et un tour parallèle notés respectivement ToCN et TP, reçoit une commande de 3 articles indépendants notés A, B, et C. Chacun des articles s'obtient en une phase de tournage :

Article	A	B	C
Ressource	ToCN	ToCN	Tour
Temps	2h	3h	6h

On remarquera que l'article C peut être fait sur n'importe quel type de tour (TP ou ToCN). En appliquant comme règle de priorité le temps opératoire minimum (TOM), on obtient l'ordre de planification suivant : A, puis B et, enfin, C.



L'entreprise investit et remplace son TP par un ToCN. L'application des mêmes règles donne :



La comparaison des deux Gantt met bien en évidence la notion d'instabilité des algorithmes de liste.

Les autres contraintes d'utilisation étant spécifiques à chaque type d'entreprise, nous les étudierons au travers des exemples. Un des points clefs de la méthodologie est d'ailleurs de chercher les domaines et contraintes d'utilisation des règles choisies.

### 3. Méthodologie

1. **Collecter les informations**
2. **Définir la stratégie**
3. **Choisir les règles les plus adaptées**
4. **Vérifier sur un exemple type**
5. **Cerner les cas d'exceptions**

Les deux principes de planification vus au chapitre "Gantt", à savoir, le chevauchement des temps de réglage et le fractionnement en lot (de transfert ou de fabrication) de la commande restent valables pour cet outil. Toutefois, afin de ne pas alourdir les exemples, nous considérerons toujours que le fractionnement a déjà été fait si besoin, et que nous planifions un lot dont le temps de réglage est négligeable par rapport au temps de transformation. Ainsi le fractionnement devient-il "transparent" et le chevauchement inutile.

## 4. APPLICATIONS

### 4.1. Exemple Planning 1

Nous commencerons par un cas simple, celui d'une filiale de radiotéléphonie qui fait, d'une part, de l'assemblage en série pour sa maison mère et, d'autre part, de la réalisation de prototypes pour son bureau d'étude.

#### Etape 1 : Collecter les informations

**Provenance du travail à planifier** : ordres de fabrication (OF) générés par le système MRP de la maison mère.

**Charge à planifier** : La charge liée à ces OF ne représente que 30% de la capacité de l'atelier d'assemblage. Le reste des travaux provient du bureau d'étude des prototypes et n'est pas planifié.

**Type de production à planifier** : Les articles peuvent passer sur une trentaine de postes différents. En général il y a une dizaine de phases et les durées opératoires peuvent varier d'une heure à quelques jours.

**Etape 2 : Définir une stratégie** La stratégie est simple : planifier les OF de la maison mère et faire passer les travaux de prototypes dans les "trous". La priorité sera donnée aux travaux les plus longs.

**Etape 3 : Choisir les règles les plus adaptées** Le trait le plus caractéristique de cette planification est certainement la surcapacité des moyens potentiels par rapport à la charge. C'est d'ailleurs ce qui provoque les retards : "On aura toujours le temps de passer la série après les prototypes". Nous adopterons donc les règles les plus simples qui satisfassent directement la stratégie :

- **FIFO**

**Règle FIFO**

FIFO est l'abréviation de **First In First Out** c'est-à-dire premier entré, premier sorti. Il s'agit donc de planifier les opérations au fur et à mesure, en suivant la file d'attente.

- **Méthode du "Coffre à bagages"**

**Règle du "Coffre à bagages"**

La règle du coffre à bagages consiste à planifier en priorité les travaux les plus "lourds" en partant du principe que l'on trouvera toujours une petite place pour les autres tâches. Dans le cas d'une planification "PERT", cela revient à planifier en priorité le chemin critique.

**Etape 4 : Vérifier sur un exemple type**

Soit les trois articles suivants à planifier sur la semaine S22 :

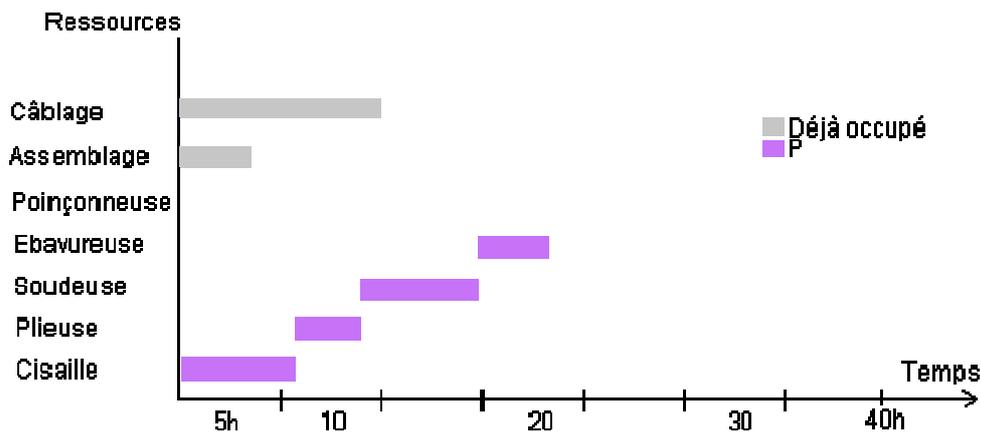
Article	Rep.	N° Phase	Ressource	Temps pour le lot
Pupitre	P	10	Cisaille	6 h
		20	Plieuse	3 h
		30	Soudeuse	6 h
		40	Ebavureuse	3 h
Rack	R	10	Cisaille	4 h
		20	Plieuse	3 h
		30	Soudeuse	2 h
		40	Ebavureuse	3 h
<b>L'assemblage de l'armoire nécessite la présence du pupitre et du rack</b>				
Armoire	A	10	Poinçonneuse	3 h
		20	Assemblage	4 h
		30	final Câblage	9 h

La règle FIFO nous indique qu'il faut traiter les commandes de S22 après celles de S21, c'est-à-dire tenir compte des débordements de S21 sur S22 (noté sur le graphe).

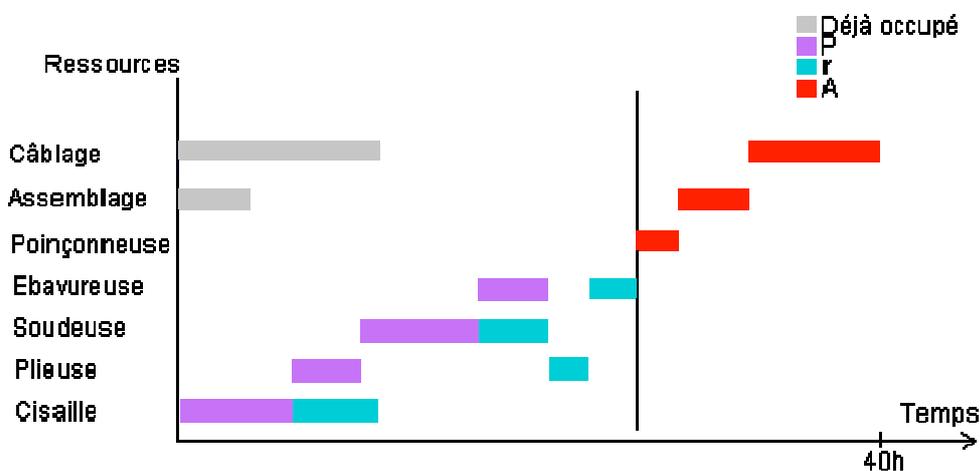
Le calcul de la charge relative à chaque article est nécessaire pour pouvoir appliquer la règle du "coffre à bagages". Comme le pupitre et le rack sont une antériorité de l'armoire, nous ne considérerons pas celle-ci.

Article	Pupitre	Rack
Charge	18 h	12 h

C'est le pupitre qui totalise la plus grosse charge, nous le planifierons donc le premier :



Il reste le rack à planifier (r) puis, quand il est fini ainsi que le pupitre, il est possible de jalonner l'armoire (A) :



### Etape 5 : Cerner les cas d'exceptions

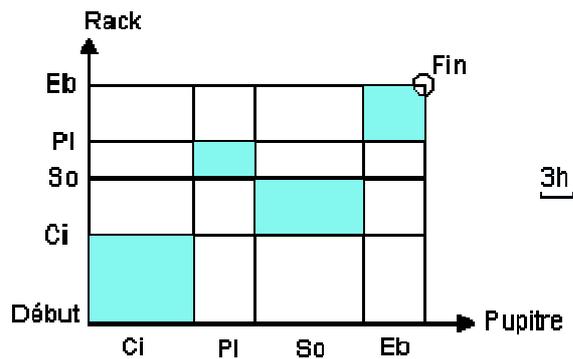
Pour cerner les cas d'exceptions, le seul moyen est de faire le tracé de tous les Gantt possibles et de les analyser. Ce travail peut être important et son intérêt n'est pas toujours évident. Toutefois, étant donnée la simplicité de l'exemple, nous pouvons en profiter pour étudier un outil très pratique dans ce genre de cas. Il s'agit de la méthode du Docteur Sauvan :

## Méthode du Docteur Sauvan

Cette méthode s'applique dans le cas de la planification de 2 lots et exclut le chevauchement. Elle permet de faire des comparaisons multiples de jalonnement, sans retracer à chaque fois le Gantt. C'est donc un bon outil pour traiter rapidement les cas d'exceptions.

### a- Procédure graphique

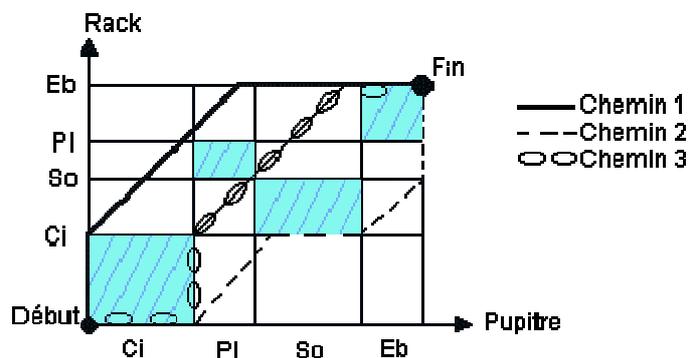
Sur deux axes perpendiculaires et gradués à la même échelle (repère orthonormé), on reporte les durées des opérations dans l'ordre de la gamme. Chacun des axes se voit donc attribuer un lot de pièces : par exemple l'axe horizontal pour le pupitre et l'axe vertical pour le rack. Les deux gammes étant reportées, on trace les verticales et les horizontales qui marquent le début et la fin de chaque opération. On obtient ainsi un quadrillage qui remplace le Gantt traditionnel.



Il suffit ensuite de hachurer les zones de ressources communes aux deux gammes. On marque ainsi l'interdiction d'utilisation simultanée d'une machine par les deux lots.

### b- Utilisation du graphique

La détermination d'un ordonnancement consiste à tracer un itinéraire partant de l'origine des temps, cheminant vers le coin supérieur droit et ne traversant aucun des rectangles hachurés. L'ordonnancement simultané de deux opérations appartenant à un lot différent, sera représenté par un segment à 45°. Un segment horizontal ou vertical indiquera que seul un des lots est en cours de transformation.



La solution optimale est celle pour laquelle la somme des segments à 45° est maximum. Si l'on préfère déterminer le temps correspondant à chaque tracé, il faut prendre garde à ne pas mesurer directement la longueur des segments à 45°, mais bien une de leur projection.

Ainsi trouvons-nous sur notre graphe :

Chemin 1 : 22 h  
 Chemin 2 : 23 h  
 Chemin 3 : 22 h

Comme nous l'avons fait pour le chemin n°3, il est possible de ne pas suivre un algorithme de liste et d'attendre qu'une ressource soit libre.

#### 4.2. Exemple PLANNING 2

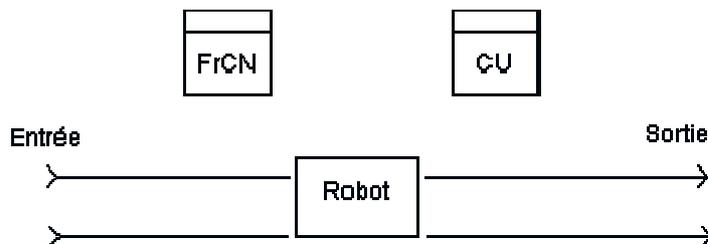
Une entreprise possède une cellule flexible composée de 2 machines à commande numérique alimentées par des convoyeurs et des robots. Il s'agit donc d'un atelier "sans homme", piloté par ordinateur.

##### Etape 1 : Collecter les informations

Toutes les pièces qui passent sur la cellule sont conformes à la gamme mère suivante :

N°	Désignation	Ressource
5	Chargement fraiseuse	Robot
10	Usinage d'une face	Fraiseuse CN (FrCN)
15	Transfert vers CU	Robot
20	Finition des autres faces	Centre d'usinage (CU)
25	Déchargement CU	Robot

ce qui correspond à l'implantation suivante :



Comme toutes les manipulations du robot se font en temps masqué, les temps des phases 5, 15, et 25 ne sont pas à prendre en compte. De même, le changement de série est "instantané" par rapport au temps d'usinage puisque :

- la programmation est préparée en temps masqué sur un système de FAO,
- le programme est téléchargé dans le directeur de commande,
- les montages sont modulaires et implantés sur une palette standard.

##### Etape 2 : Définir une stratégie

La stratégie consiste à utiliser au maximum les moyens pendant les 16 heures d'ouverture. Les livraisons seront effectuées tous les jours par un transporteur routier, il faut donc que les commandes soient prêtes à la dix-septième heure.

### Etape 3 : Choisir les règles les plus adaptées

La caractéristique de la planification est le passage systématique sur les deux machines et dans le même ordre. Ce cas correspond exactement aux conditions d'utilisation de l'algorithme de Johnson :

#### Méthode de Johnson

Elle permet de minimiser le délai d'obtention de plusieurs commandes, en jouant sur l'ordre de planification des lots. L'ordre de passage aux deux postes de travail doit être identique quel que soit le lot. De plus, le chevauchement n'est pas possible.

### Etape 4 : Vérifier sur un exemple type

Voici les temps opératoires, en heures, pour 8 lots de pièces :

res\lot	A	B	C	D	E	F	G	H
FrCN	2	1	1.40	1.20	1.20	1.80	2.50	1.50
CU	2.50	0.80	1.10	1	1.50	1.20	2	2

#### Règle de Johnson

- Choisir le plus petit temps opératoire.
- Si ce temps concerne le premier poste de travail, alors on commence par la commande correspondante, sinon on terminera par celle-ci.
- Ne plus considérer cette commande et recommencer le a et b.

Dans l'exemple ci-dessus, le temps le plus court a pour valeur 0.8 h. Il concerne le lot B sur la deuxième machine (le centre d'usinage). Ce lot sera donc le dernier programmé :

Ordre de planification	1	2	3	4	5	6	7	8
Repère du lot								B

# De la ligne à la cellule flexible

Il semble bien que dans certains secteurs d'activité, les lignes de production aient vécu et que les nouvelles contraintes du marché obligent les producteurs à évoluer vers des structures plus adaptables et réactives; les cellules flexibles.

Les activités les plus concurrentielles (ou les plus en crise) ont opéré leurs mutations depuis longtemps; l'industrie automobile et ses sous-traitants, plasturgie, industrie textile, lessiviers, métallurgie... Pour d'autres secteurs les effets de la mondialisation, de la crise, ne sont perceptibles que depuis récemment. Ces secteurs sont désormais confrontés aux mêmes interrogations; faut-il changer l'organisation de la production ?

Au-delà de la seule production, nombres d'entreprises sont confrontées aux nouvelles exigences de leurs marchés et s'interrogent sur leur réactivité.

Le thème est abordé sous deux aspects; la théorie et la pratique.

Dans le temps, ils correspondent à deux phases; **l'annonce de la mutation** avec les questions qu'elle soulève, et finalement **la mise en place**, avec des éléments de réponse objectifs.

## 1. L'attrait des cellules autonomes, la fin d'un mythe

Pendant quelques décennies, le système de production japonais, cité en exemple à travers le monde, a prôné la **linéarité**.

L'image valant mille mots, le flux de production est comparé à l'écoulement d'un cours d'eau. Celui-ci s'écoule d'autant plus vite s'il est d'un tracé linéaire et exempt d'obstacles.

Dans le contexte de la production de masse, offrant peu de variété et à moindres stocks, cette organisation collait à merveille.

Lorsque le besoin de différenciation s'est fait sentir, les lignes se sont mises à la flexibilité, notamment à travers des techniques telle **SMED**.

Or cette *flexibilité* montre des limites, notamment à cause des volumes à produire en diminution et de la variété en augmentation. De plus,

MAIS

**Flexibilité ≠ Réactivité**

**Réactivité = Flexibilité + Autonomie**

D'autres raisons, plus "locales", font reconsidérer l'intérêt des lignes et se poser la question de l'adoption des **cellules flexibles**.

## 2. Linéarité contre parallélisme

**2.1. Disposition en parallèle** La plupart des *lignes* occidentales étaient faites de convoyeurs contre lesquels on plaçait perpendiculairement des postes de travail. Cette disposition est qualifiée de *parallèle* ou de **postes en épis**. Dans ce cas, le convoyeur (la ligne) n'est rien de plus qu'un collecteur, un moyen de transfert.

Le principe de linéarité japonaise fait travailler directement sur la ligne, qui devient à la fois moyen de transfert **ET** poste de travail.

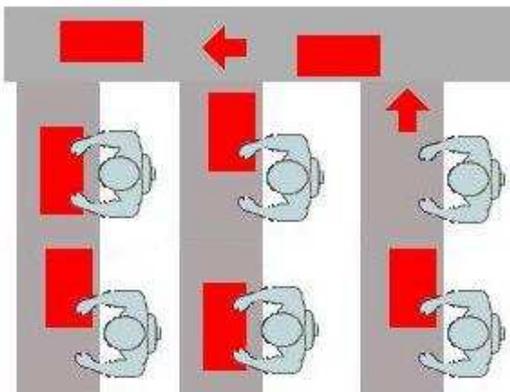
Mais la différence est beaucoup plus profonde que la simple disposition du mobilier des postes; les moyens de transfert japonais sont souvent beaucoup plus sophistiqués qu'en Occident

Travail en parallèle ou travail en ligne s'appréhendent totalement différemment.

Dans le système parallèle, courant en occident, une séquence de montage est classiquement répartie sur 1 à 3 opératrices placées côte à côte, la plus proche du convoyeur y poussant leur produit.

Ces mêmes séquences sont dupliquées sur plusieurs postes, adaptant les ressources à la charge de travail ou la vitesse visée.

Le plus souvent des systèmes incitatifs par primes stimulent la productivité individuelle.



### 2.1.1. Avantages :

Ce type d'organisation s'apparente, dans une certaine mesure, aux cellules autonomes;

- Une absence aura un impact assez limité.
- Des produits différents peuvent être assemblés simultanément.
- Les changements de série se limitent à quelques postes.

### 2.1.2. Inconvénients :

- Peu de visibilité pour piloter à vue, car il est assez difficile de voir directement où en sont les différents postes,
- Espace nécessaire relativement important,
- les stocks dupliqués et les interstocks,
- L'encadrement passe une bonne partie de son temps à suivre la comptabilité, à vérifier les bons de travaux, etc.
- Il est difficile de prévoir les résultats, les performances.

Le flux est complexe car il parcourt un réseau. Sa modélisation fait appel à la loi de Kirschhoff (loi des noeuds).

**2.2. Disposition linéaire** Dans le système "**japonais**", une séquence de montage est répartie **linéairement** sur autant d'opératrices que nécessaire pour atteindre la vitesse désirée ou pour obtenir un équilibrage correct, une qualité maîtrisée, etc.

Chaque produit passe donc dans toutes les mains, chacune rajoutant sa séquence d'opérations.

Il est facile de voir directement où en est la ligne, un poste à problème se détecte immédiatement, visuellement.

Le travail étant collectif, toute l'équipe est assujettie au même rythme, la prime individuelle n'existe pas.

### 2.2.1. Avantages :

- Adapté à des quantités importantes
- Bonne visibilité pour piloter à vue,
- Les résultats sont (relativement) prévisibles
- Le flux est simple,
- L'espace nécessaire est restreint,
- les stocks n'existent pas,
- L'encadrement gère la ligne, veille à son équilibrage, à la formation, la polyvalence...



### 2.2.2. Inconvénients :

- Une absence a un impact assez important sur le rendement
- Il est limité par la polyvalence des opératrices restantes qui se répartissent les tâches (pas de volante surnuméraire). La vitesse chute.
- La production se fait par campagne, le changement de série touche la ligne entière.

Parce que la structure de la ligne requiert proximité et attention permanente de l'encadrement, il est possible dans cette configuration d'atteindre des performances très élevées.

## 3. Un mot sur la robotisation

Alors que l'on pourrait s'attendre à ce que des produits, d'une complexité et d'une technicité croissante, soient assemblés dans des lignes très robotisées, il n'en est rien.

Il y a deux raisons majeures à cela :

- la durée de vie des modèles est trop courte pour autoriser les études, investissements et rentabilité d'équipements aussi coûteux. Par ailleurs les successions de modèles ne présentent pas suffisamment de similitudes pour espérer un gain d'échelle.
- L'humain est beaucoup plus adaptable aux aléas, c'est à dire qu'il peut spontanément corriger une situation anormale, alors qu'une intelligence artificielle ne le fera que dans certaines limites.

## 4. Différenciation des produits

La différenciation des produits amène la diminution des tailles de lots. Les changements de série se font plus fréquents. Or le point faible de la ligne à la japonaise est que tout doit être débarrassé et reconfiguré au changement de série.

Le SMED, technique de changement rapide, permet de réduire le temps de blocage de la ligne durant les changements de série, mais il finit par se heurter à des limites.

## 5. La remise en cause du convoyeur

Bien que le système linéaire ait des avantages, sa remise en cause au profit de cellules autonomes permettrait de gagner :

- en productivité
- en qualité
- en réduisant les stocks
- en surface

## 6. L'attrait des cellules.

Pour les compagnies qui ont adopté la nouvelle organisation de type cellules, les gains annoncés sont toujours spectaculaires, gains de surface, gains de productivité, réduction des stocks, réduction des tâches indirectes et de l'encadrement.

La **cellule autonome, flexible** ou quelque soit son nom, semble répondre aux nouveaux impératifs, aux défis des productions du futur :

1. Le convoyeur disparaît. Un ensemble d'établis à bon marché est suffisant pour agencer les postes d'une cellule.
2. la cellule est adaptée aux faibles quantités.
3. la cellule se duplique facilement si des vitesses ou des quantités plus importantes sont requises.
4. l'autonomie de la cellule est conditionnée par des rôles mixtes managers-opérateurs, c'est à dire des ouvrières avec des responsabilités. Ceci permettrait de convertir avec moins de mal les ex-indirects (improductifs) en directs (productifs).
5. la cellule se passe de stocks, elle occupe moins d'espace.
6. la responsabilisation du personnel amènerait davantage de motivation et moins d'erreurs.

La justification "objective" pour le passage de la ligne à la cellule s'appuie partiellement sur les éléments conjoncturels cités plus haut. Du point de vue technique, les arguments les plus fréquemment avancés sont :

- Gain de surface
- Réduction des stocks
- Amélioration de la productivité
- Amélioration de la qualité

Nous verrons plus loin pourquoi et comment, mais ce qui est frappant, c'est la justification à **posteriori** de ceux qui sont passés aux cellules et que ces mêmes justifications sont reprises comme des références par ceux qui désirent y passer.

A propos de l'implantation des machines en cellules, *Philip Marris* fait remarquer que :

*Si l'on reste dans le cadre d'une analyse comptable traditionnelle, il sera impossible de justifier les investissements nécessaires pour passer de l'implantation Taylorienne à celle en cellule.*

*En effet, les seuls bénéfices reconnus seront quelques économies du côté de l'effectif de manutentionnaires ainsi qu'une légère diminution des frais financiers découlant de la réduction des stocks.*

*En somme, si l'organisation en cellules a fait ses preuves, il n'existe pas de raisonnement détaillé et rigoureux et on est obligé de l'aborder de manière qualitative. Il est impossible de choisir entre deux solutions ayant des coûts, des capacités et des performances différents autrement que par un genre d'acte de foi.*

# Performance des machines

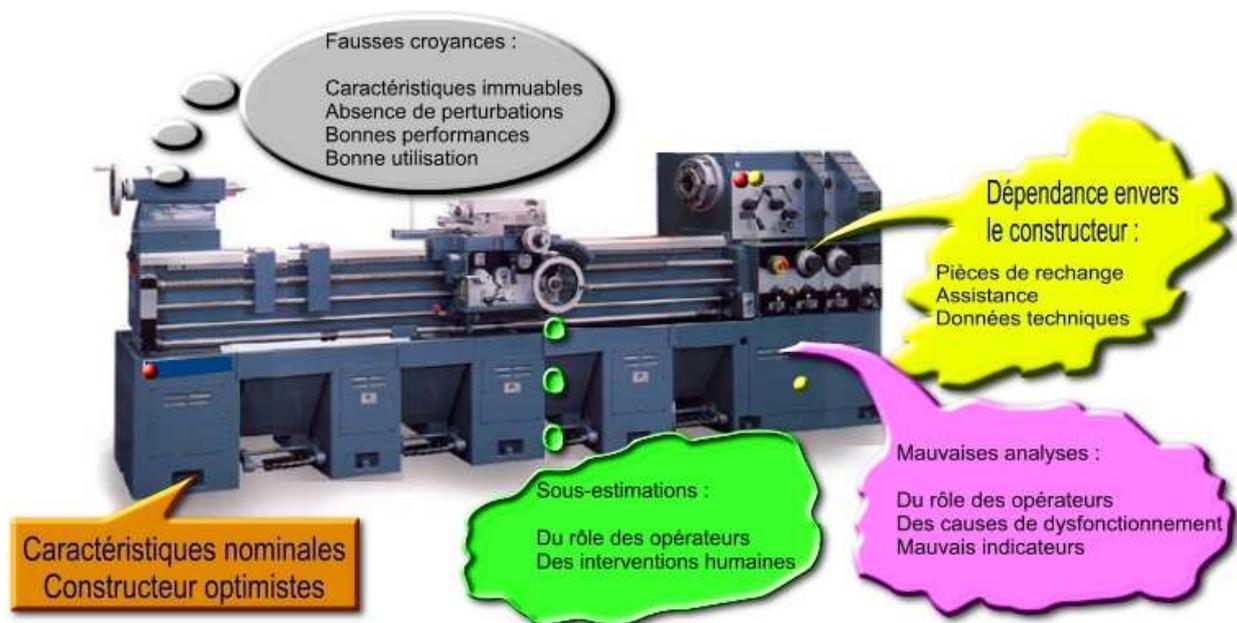
*Vers la TPM*

## 1. Préambule ; des performances des machines

L'analyse du rendement machine se base souvent sur la production achevée par rapport à la capacité nominale.

Or, on a trop tendance à considérer les caractéristiques d'une machine comme immuables, alors que ses **performances se dégradent dans le temps**.

Les caractéristiques des machines sont annoncées (par des constructeurs toujours optimistes) dans l'hypothèse de l'absence de facteurs perturbateurs, en négligeant la part d'intervention humaine, etc.



## 2. L'entreprise dispose de ses machines

Il ne faudrait pas se contenter d'exploiter la machine ! Puisqu'elle a été acquise, pourquoi ne pas chercher à l'améliorer ?

**Accessibilité pour nettoyage et maintenance, ergonomie des commandes, performances...** sont autant de pistes d'améliorations potentielles

Il existe en outre des cas où l'activité d'un équipement, d'une machine, **conditionne la performance de l'entreprise toute entière**. Ces ressources très particulières doivent être l'objet de toutes les attentions.

### 3. Un but...l'idéal

Dans la mentalité japonaise, surtout celle de l'après guerre qui a façonné l'industrie nipponne, toute forme de gaspillage est à combattre. La chasse au gaspillage est un gisement de gains qui peut se révéler riche et être exploité facilement. Etre une entreprise idéale c'est anéantir les pertes et atteindre :

**Zéro accident, zéro défauts, zéro arrêts !**

Pas d'incidents, d'accidents = pas d'arrêts, ni "pertes humaines", ni frais financiers...

Pas de défauts = temps de fabrication utilisé à 100%, pas de déchets...

**Zéro défauts = zéro contrôle !**

Dans le but de minimiser les arrêts machines, améliorer les machines du parc existant et maximiser l'utilisation de ces machines, pour réduire les frais financiers; retarder ou rendre inutiles les investissements capacitaires, mais aussi introduire de nouveaux équipements en tenant compte de l'expérience du passé (ne pas refaire les mêmes erreurs !)

Il faut essayer :

- d'**augmenter la productivité** des machines
- de **différer les investissements** capacitaires (nouveaux équipements pour assurer la capacité de production)
- **fiabiliser les machines** = trouver et éliminer les micro-pannes
- **rentabiliser rapidement** les investissements (générer la VA plus vite)
- d'**améliorer** les méthodes de travail :
- **Rationaliser** la maintenance, trouver la nécessité de l'homme (capteur à 5 sens !)
- **valoriser** la fonction "conduite de machine "
- **améliorer les conditions de travail**
- diminuer les actions du type "*pompiers*" (interventions soudaines et acrobatiques...)

En assurant la **cohérence** du développement, en libérant du temps " spécialistes " pour ce développement et les modifications internes des équipements.

### 4. Plan d'action

Une bonne analyse préalable est nécessaire. Il faut par exemple connaître précisément la part de génératrice de **Valeur Ajoutée** dans le temps de fonctionnement de la machine, car maximiser ne veut pas nécessairement dire faire tourner plus ou sans arrêt...

Lorsque la part de génération de V.A est connue, il faut exploiter la machine au mieux, afin de maximiser cette génération de V.A. Il faut fixer très précisément un **état de référence** et des **objectifs** à atteindre (très) ambitieux, de sorte que la recherche du maximum devienne une action continue (esprit **KAIZEN**)

## 5. TPM : Total Productive Maintenance

La **TPM** est née des besoins d'améliorer le rendement machine. Il faut donc choisir les bons indicateurs.

### 5.1. De quoi est fait la journée d'une machine ?

En se penchant sur le travail de la machine, on se rend compte qu'elle ne peut travailler durant toute la durée d'ouverture de l'atelier. Il y a nécessairement des opérations qui nécessitent son arrêt ou du moins une phase non productive; changements de séries, rechargements, maintenance, préchauffage... Cela introduit la notion de **temps de fonctionnement brut**.

**La cadence réelle est toujours inférieure à la cadence nominale.**

Le temps de fonctionnement brut amputé du temps perdu donne le temps de fonctionnement réel, ou temps de **fonctionnement net**. Hélas les pertes ne s'en tiennent pas là, car pour finir, on se rend compte que le *peu* de temps passé à produire a produit aussi bien des pièces bonnes que des mauvaises... Certaines pièces mauvaises peuvent éventuellement être récupérées, mais toujours au prix d'un **surcoût**, certaines fois c'est une perte intégrale.



### 5.2. Mesure des pertes, les indicateurs.

Le schéma ci-dessus montre bien les différentes composantes de pertes qui érodent la productivité de la machine. La **TPM** propose un indicateur qui **intègre toutes les composantes** du rendement machine, le **TRS** ou Taux de Rendement Synthétique.

Posons :

**A = temps d'ouverture** : temps théorique de fonctionnement.

**B** = temps brut de fonctionnement

**B = A - total des arrêts machine** (pannes, changements d'outils, approvisionnements..)

**C** = temps net de fonctionnement

**C = B - pertes de performances** = différence entre cadence théorique et cadence réelle due aux arrêts mineurs

Durant C on produit des ensembles bons comme des mauvais, nous posons

**D** = temps utile => qui produit que des ensembles bons

**D = C - pertes de qualité** : non qualité pendant le fonctionnement, réglages, essais, démarrage...

**Nous pouvons définir trois ratios :**

$$T_b = \frac{\text{Temps d'ouverture} - \text{temps d'arrêts}}{\text{Temps d'ouverture}}$$

$T_b = B/A = \text{taux de fonctionnement brut}$

$T_p = C/B = \text{taux de performance}$   
 $T_p = T_{fn} \times R_v$

$$T_{fn} = \frac{\text{Quantité réalisée} \times \text{temps de cycle}}{\text{Temps d'ouverture} - \text{temps d'arrêts}}$$
$$R_v = \frac{\text{temps de cycle réel}}{\text{temps de cycle théorique}}$$

$T_p = D/C = \text{taux de qualité}$

$$T_q = \frac{\text{Quantité réalisée} - \text{quantité rebutée}}{\text{Quantité réalisée}}$$

Et un " super ratio " : le **taux de rendement synthétique T.R.S**

$$TRS = \frac{D}{A} \times \frac{B}{A} \times \frac{C}{B} \times \frac{D}{C}$$

## 6. Le Taux de Rendement Synthétique

Le TRS est le seul indicateur qui tient compte de **tous** les paramètres qui affectent la productivité d'une machine.

Dans l'établissement du **TRS**, si l'un des taux le composant se dégrade, le **TRS** chute également. Fixer des objectifs (très) ambitieux, c'est chercher à atteindre un **TRS** le plus élevé (idéal = 100%) et le tenir, ce qui est loin d'être facile !

### Démonstration

Avec un  $t_b$  entre 90 et 98%,  $t_p$  généralement 95%, **TRS** à obtenir > 85% (ce qui semble modeste).

Puisque  $TRS = tb \times tp \times tq \Rightarrow$  il faut un  $Tq$  de 99%, autrement dit, il faut atteindre un niveau d'excellence !

Il est fréquent qu'avant une démarche **TPM**, le **TRS** initial soit de l'ordre de 50% seulement. Le remonter à 70% représente déjà un gain très significatif. Le suivi du **TRS** permet d'avoir une vue synthétique, et l'examen de ses composantes permet de déterminer quel levier activer pour l'améliorer.

## 7. Définition & quantification des pertes

Si les indicateurs de la TPM semblent simples, leurs éléments constitutifs peuvent être délicats à recueillir.

La part des **micro-arrêts** reste généralement totalement ignorée, jusqu'à ce qu'elle soit suivie, quantifiée et analysée.

Cet exemple est pris d'un atelier d'Insertion Automatique de composants électroniques, mais il est aisément transposable à toute autre activité.

Des définitions sont proposées :

### Arrêts machine :

- panne machine > à 5 mn
- panne énergie ( air ou électricité )
- changement de série : normal suivant planning ou imprévu
- manque d'approvisionnements
- manque de pièces de rechange
- manque d'effectif

### Pertes de performances :

- rechargement de composants < 5 mn
- arrêts mineurs (incidents) < 5 mn
- décalage de cadence
- optimisation des programmes d'insertion

### Pertes de non qualité :

- casse de composants
- erreur de valeur ou polarité

Ces catégories définies et acceptées seront alors traduites dans un système de recueil de données, manuel ou automatique. Pour chaque événement affectant la machine, sa durée sera notée dans la catégorie adéquate..

### 7.1. Exemple de calcul

Un atelier travail en équipe de journée pendant 8 heures soit 480 minutes. L'ouverture machine constatée est de 440 minutes. Les arrêts machine d'un total de 50 minutes sont ventilés comme suit :

- Changement de série = 20 minutes
- Panne = 20 minutes
- Réglages = 10 minutes

Le temps de cycle théorique est de 120 pièces / heure mais la mesure d'un temps de cycle réel donne une cadence de 100 pièces / heure seulement.

Quantité réalisée : 600 pièces / jour

Quantité rejetée : 18 pièces, 12 étant récupérables, 6 irrécupérables.

*Déterminer les différents indicateurs et le TRS*

## **8. L'efficience**

## 9. La TPM concrètement

Jusqu'à présent il a été question de **maintenance** sans en aborder l'aspect pratique. La signification de la **TPM**, **Maintenance Productive Totale** s'explique ainsi :

- **Maintenance** : maintenir en bon état = réparer, nettoyer, graisser et accepter d'y consacrer le temps nécessaire.
- **Productive** : essayer de l'assurer tout en produisant ou en pénalisant le moins possible la production.
- **Totale** : considérer tous les aspects (même repeindre la machine) et y associer **tout** le monde.

### Les idées de base :

- **La propreté et l'ordre** : c'est la première phase nécessaire à la **TPM**; pas de gain de temps possible en fouillant dans le désordre, pas de détection facile des signes précurseurs de pannes, les fuites par exemple, dans un environnement sale... Ces prérequis sont les **5S**, qu'il faut appliquer avant tout.
- **Connaître les machines** : leur fonctionnement (de façon précise), leurs performances et leurs faiblesses.
- **Suivre quotidiennement** les performances des machines, des ateliers, fixer un objectif (très) ambitieux et essayer de l'atteindre, puis de conserver ces performances.
- **Associer tout le monde** : pour relever les données, suivre les évolutions, générer des idées, accroître les connaissances, garder la motivation.

## 10. Maintenance, MTBF et MTTR

Pour nous attaquer aux arrêts et pannes qui réduisent le temps d'ouverture et dégradent le taux de fonctionnement brut **tb**, nous allons analyser le contenu d'un arrêt machine et chercher à connaître la **fiabilité** et la **maintenabilité** de chaque machine. (voir chapitre fiabilité, disponibilité, maintenabilité)

**Indice de fiabilité : MTBF**

**Indice de maintenabilité : MTTR**

$$\text{MTBF} = (4+2+3+1+1) / 4 = 2,75\text{h}$$

$$\text{MTTR} = (2+1+1+0,5) / 4 = 1,125\text{h}$$

**Analyse** : sur cette machine, la durée moyenne d'une panne est de **1h 6mn**, et le temps moyen entre deux pannes est de **2h 3/4**. Elle ne peut guère rester sans surveillance, les interventions sont longues : complexité, inaccessibilité, manque d'organisation, manque de compétences ?

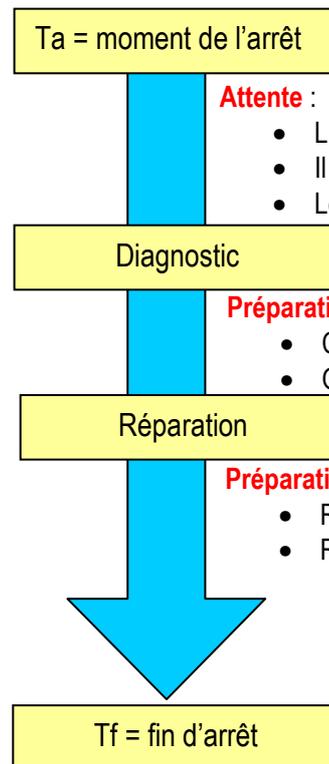
	Evénement	durée (heures)
1	Fonctionnement normal	4
2	Arrêt	2
3	Fonctionnement normal	2
4	Changement série	0.5
5	Fonctionnement normal	3
6	Panne	1
7	Fonctionnement normal	1
8	Panne	0.5
9	Fonctionnement normal	1
10	Arrêt	1

**NOTE** : Le changement de série étant planifié, assimilé à un temps de fonctionnement normal, il n'intervient pas dans les calculs.

## 11. Décomposition d'un arrêt : micro-arrêts, pannes...

Classiquement, lorsqu'une machine s'arrête, la séquence des événements depuis le moment de l'arrêt au redémarrage à cadence normale, est la suivante :

- **Ta = moment de l'arrêt,**
- **Attente** jusqu'à ce que l'opérateur réagisse, vienne éventuellement consulter le panneau de contrôle, la zone de travail. S'il ne sait pas relancer, il appelle à l'aide, par exemple un technicien.
  - **Attente :**
    - L'opérateur réagit, vient, constate
    - Il appelle à l'aide
    - Le technicien vient
- **Diagnostic** : le technicien prend en certain temps à établir la cause la plus probable de l'arrêt.
  - **Préparation :**
    - Chercher pièces,
    - Outils...
- **Réparation** : le temps mis à réparer est fonction de la gravité de la panne et de la compétence du technicien.
  - **Préparation :**
    - Réglages, essais,
    - Remontée en cadence
- **Réglages et essais** : selon la nature de l'intervention, il faut procéder à quelques essais et réglages, pour être sûr de redémarrer dans de bonnes conditions.
- **Remontée en cadence** : certaines machines nécessitent un préchauffage, un réarmement, une remise à niveau de fluides, de matière ou une reprise de vitesse avant de pouvoir retravailler à cadence normale.



### Tf = l'arrêt est terminé

Chaque fois que l'opérateur n'a pas la compétence pour procéder à un diagnostic minimal et régler les dysfonctionnements les plus simples, il lui faudra faire appel à un collègue compétent. Ce collègue peut être :

- éloigné dans l'atelier, dans l'usine,
- absent,
- chez lui, mais en disponibilité
- non disponible, en intervention

Le risque est alors important que l'arrêt se prolonge alors que la cause est peut-être bénigne.

Ce phénomène milite pour la montée en compétence et une plus grande autonomie des opérateurs

Ce schéma se répète à chaque arrêt, quel qu'en soit la cause, avec des durées variables. La réactivité à chaque étape peut être améliorée par :

- La réaction rapide de l'opérateur (esprit " écurie formule 1 ")
- Les pièces et matériels disponibles à proximité (stock, lot maintenance sur place...)
- Des réparations rapides et certaines (formation, autonomie...)
- Suppression ou réduction des essais

### C'est l'esprit SMED

Dans cet exemple, l'opérateur dispose d'une compétence de maintenance premier niveau. Dans le cas où il faudrait activer des spécialistes, le temps d'arrêt pourrait s'allonger.

### 12. Cinq mesures simples pour approcher puis atteindre le zéro pannes :

- Respecter les conditions de base : nettoyage, graissage, resserrages...
- Respecter les conditions d'utilisation
- Remettre en état toute dégradation : réparer ou faire réparer
- Améliorer les mauvaises conceptions
- Prévenir les défaillances humaines : erreurs lors des opérations, lors des réparations

**Respecter les conditions de base**, c'est se conformer aux préconisations du constructeurs. Négliger le nettoyage, les graissages ou autres opérations d'entretien courant c'est courir le risque de dégradations rapides de l'équipement.

Sacrifier ces opérations au profit d'un temps productif est un (mauvais) calcul à court terme, qui probablement se soldera par une intervention pénalisante et onéreuse plus tard. L'entretien courant doit être planifié avec soin, mais ne peut être négligé.

Il est parfois tentant de modifier les temps de cycle des machines en changeant les rapports de leur boîte de vitesse, des réducteurs, les temporisations....Là encore le risque est grand de voir l'équipement se dégrader prématurément, car il est utilisé en-dehors des plages prévues. Ces modifications ne prennent pas en compte tous les éléments qui ont conduit aux solutions techniques d'origine; le calcul des organes de freinage, résistance des matériaux, la lubrification, le refroidissement, etc.

**La remise en état toute dégradation** est une garantie du maintien opérationnel de l'équipement. Repeindre et non seulement appréciable pour le *confort* de travail, mais contribue aux **5S** et peut même aider à déceler des fuites...

**Améliorer les mauvaises conceptions** peut prendre des formes variées et plus ou moins techniques. Le fabricant du matériel est confronté à des arbitrages lors des choix de certaines solutions techniques, aussi peut-on trouver des solutions "économiques", des solutions ne convenant pas aux utilisateurs, etc.

### 13. Qui fait quoi ?

Quoi ?	opérateur	Maintenance
respecter les conditions de base	impératif	Impératif

respecter les conditions d'utilisation	impératif	Impératif
remettre en état toute dégradation	faire ou signaler	faire et noter interventions
améliorer les mauvaises conceptions	signaler les gênes, les mauvaises conceptions et suggérer améliorations	Etudier améliorations, les faire ou demander leur réalisation
prévenir les défaillances humaines	respecter modes opératoires	Améliorer les techniques d'exploitation et de maintenance

*Nettoyage = maintenance préventive !*

La **maintenance préventive** est faite de :

1. **Maintenance quotidienne** : nettoyage, graissage, resserrages...
2. **Inspection** = diagnostic
3. **Réparation** : remplacement préventif = traitement précoce

**L'élimination systématique et quotidienne** des poussières et salissures permet de détecter les anomalies telles que fuites de fluides (lubrifiants, air...), usures anormales (copeaux, scories, poussières...).

**Resserrer régulièrement les vis**, écrous et autres pièces susceptibles de se desserrer, ainsi que les **graissages**, allongent la durée de vie des équipements et outils, évitent des pannes.

A l'aide des documents et recommandations du constructeur, il faut établir des **standards de nettoyage** et graissage spécifiques à la section, à l'atelier.

La **TPM** est une bonne opportunité pour élever le niveau de compétence des opérateurs et les amener à faire de la maintenance de premier niveau, en plus de veiller à la production.

Au contact permanent avec l'équipement, leur implication et leur motivation favorisent l'émergence d'idées d'amélioration.

#### 14. Conclusion

Le suivi du **TRS**, donne une image synthétique, englobant tous les aspects affectant l'efficacité et l'analyse des composantes du **TRS** indique où l'effort est à porter.

La **TPM** ne change rien à la maintenance classique sur le fond, mais redéfinit la forme que celle-ci devrait prendre. Bien conduite, la **TPM** améliore le rendement machine, favorise la création d'un esprit positif, responsabilise tous les intervenants et valorise la fonction opérateur.

Il est raisonnable de commencer l'introduction de la **TPM** dans un atelier ou sur un process pilote, puis de l'étendre au reste de l'atelier ou de l'entreprise.

# Les 7 gaspillages en production

Éliminer le gaspillage sous toutes ses formes dans un système de production, c'est essentiellement supprimer les activités qui ne créent pas de valeur ajoutée et qui ajoutent des coûts supplémentaires.

On reconnaît généralement sept types de gaspillages, initialement décrits par Taiichi Ohno:

## **Le gaspillage dû à la surproduction.**

La surproduction consiste à fabriquer plus que ce qui est requis ou plus tôt que prévu. Elle intervient souvent lorsque les commandes sont en baisse et que l'on cherche à exploiter l'intégralité du parc machine ou à occuper les salariés.

Le gaspillage se représente par la perte financière sur la gestion des stocks, les salaires, les espaces supplémentaires utilisés...

## **Le gaspillage dû à l'attente.**

L'attente que quelque chose se produise. C'est également l'inactivité des salariés causés par des pannes machine, rupture de matières premières, changements d'outils, les en cours réception et expédition...

## **Le gaspillage dû aux transports.**

Les transports inutiles de matériaux ou de produits en cours. Chaque déplacement à un coût, augmente les délais et multiplie les éventuelles erreurs. Le gaspillage survient lors de la politique d'amélioration des transports parfois au détriment de la recherche de l'élimination pure et simple des transports.

## **Le gaspillage dû à trop de traitement.**

Le processus de conception est mauvais, voire inefficace. Il faut alors rechercher les opérations inutiles ou celles qui peuvent être améliorées par une modification de l'ordre des actions. Le gaspillage peut également venir des outils ou du produit.

## **Le gaspillage dû aux stocks.**

Des stocks plus importants qu'ils ne devraient être augmentent considérablement les coûts par la mobilisation d'équipements comme les chariots élévateurs ou de l'espace par le biais d'entrepôts. Parfois les produits se retrouvent à errer dans les ateliers. L'objectif est de baisser les stocks afin d'améliorer la circulation au sein des ateliers

## **Le gaspillage dû aux déplacements.**

Supprimer les déplacements inutiles des personnes faisant leur travail par le réaménagement notamment des postes de travail.

## **Le gaspillage dû à la surproduction de pièces défectueuses.**

Ce gaspillage engendre des coûts de correction liés à la gestion des rebuts, des éventuelles retouches et des retours clients.

Il reste néanmoins un gaspillage dû à la non conformité aux exigences du client, c'est à dire, que le client n'est pas satisfait de la sortie finale.

# TAYLOR

*Extrait article JH Hoffmann*

**Taylor, taylorisme**, objet de critiques, méthodes décriées... Savez-vous qui était **TAYLOR** et ce qu'il a fait ?

## Sommaire

- [Le minimum à savoir](#)
- [Taylor](#)
- De [l'empirisme à la standardisation](#)
- Le [management scientifique](#)
- [Succès et dérives du système](#)
- Les [héritiers de Taylor](#)
  - [Occident](#)
  - [Asie](#)
  - [Etrange conclusion](#)
- [Faut-il brûler Taylor ?](#)
- Annexe : les 3 expériences de Taylor



Le minimum à savoir - Condensé pour lecteurs pressés

**Frédéric Winslow Taylor** (1856-1915) est le fondateur du management scientifique du travail, qui fit passer l'art, le **savoir faire** d'un petit nombre au **savoir refaire** du plus grand nombre en formalisant et standardisant les méthodes, les outils, les connaissances. Taylor s'appuya sur la démarche scientifique qui observe et quantifie.

Il utilisa essentiellement le chronomètre, segmenta les tâches et sépara les fonctions d'exécution et d'organisation, prôna la spécialisation. Sa recherche d'amélioration était basée sur une relation gagnant-gagnant entre exécutants et donneurs d'ordre, mais ses principes seront pervertis et son nom sera associé aux excès de méthodes segmentant à outrance les tâches afin de gagner en productivité, sans réelle contrepartie pour l'exécutant.

## TAYLOR

**Frédéric Winslow Taylor**, considéré comme l'un des pionniers du management, est né, en 1856, en Pennsylvanie, à Germantown, dans une famille aisée de tradition Quaker. De 1874 à 1878, il apprend les métiers d'ouvrier modeleur et de mécanicien dans une petite usine, tout en préparant les concours d'admission à l'enseignement secondaire. (+1915)

### *De l'empirisme à la standardisation*

En **1878**, il entre comme simple manœuvre, à la Compagnie des Aciéries de Midvale. Taylor, ouvrier qualifié, se voit confier la conduite d'un tour dans un atelier de machines-outils. Ses résultats le font vite

remarquer. Sur un tour semblable aux autres, il produit davantage. Au bout de quelques mois, il est nommé chef d'équipe. Sa nouvelle responsabilité le pousse à obtenir une production plus élevée que par le passé.

Lorsqu'il veut persuader ses anciens camarades d'atelier, dont il est devenu le chef, de produire plus, il butte sur leur opposition acharnée. Certains vont jusqu'à briser leurs machines pour faire croire qu'elles cassaient à cause d'une surcharge excessive due à la folie du chef d'équipe trop zélé.

Après trois ans d'efforts et devant une hostilité qui ne désarme pas, Taylor perçoit qu'il faut, non pas essayer de persuader les ouvriers de produire plus, mais changer radicalement le système de management.

Il accumule les expériences, avec l'appui du Président de la Compagnie des Acières, dans deux directions :

1. Arriver à déterminer ce que peut constituer une **juste journée de travail** c'est-à-dire ce qui peut être fait pendant des années sans fatigue excessive, et donc selon une allure parfaitement convenable, excluant la hâte, et donc acceptée volontiers.
2. Arriver à déterminer plus précisément la forme des outils et les meilleurs angles d'attaque pour couper l'acier, afin d'effectuer le travail plus rapidement.

Pendant des années, Taylor fait des milliers d'essais, réduit en copeaux des centaines de tonnes de métaux, ce qui l'amènera - bien plus tard, en 1900, avec son ami WHITE - à inventer des tours à coupe rapide qui multiplieront par trois la vitesse de coupe de l'acier.

En même temps, il fait faire une étude approfondie et scientifique du temps exact nécessaire pour exécuter correctement les différents genres de travaux faits dans son atelier (placer les pièces sur les machines, les enlever, etc.). Les outils de son étude sont le chronomètre et un bloc de papiers.

Il ne veut pas trouver la confirmation d'une théorie nouvelle et encore non éprouvée; il veut seulement recueillir les résultats d'essais et de calculs conduits de manière systématique et rigoureuse.

**Taylor** se révèle être un homme d'ordre, scandalisé par le désordre du monde industriel. Il refuse le gaspillage du travail humain. Pour lui, la maladresse et l'inefficacité des actes journaliers, la mauvaise exécution des mouvements spontanés, sont source de pertes immenses.

Il pense que la prospérité ne peut venir que de la plus grande productivité possible des hommes et des machines. Il veut donc contribuer à ce que chacun, s'entraînant et se perfectionnant, puisse accomplir le travail le plus compatible avec ses aptitudes personnelles, à l'allure la plus rapide et avec l'efficacité maximale. Taylor ne fait pas confiance au jugement individuel de l'ouvrier (qualifié). Il pense que celui-ci garde pour lui ses connaissances, qu'il ne tient pas à en faire profiter les autres, qu'il veut préserver ses "secrets professionnels", qu'il est fainéant et nécessite une surveillance.

Replacé dans le contexte de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, il faut se souvenir qu'une grande partie de la population américaine était composée d'immigrants récemment débarqués, ne maîtrisant pas suffisamment la langue anglaise et souvent faiblement éduqués. Taylor en conclut vite que les ouvriers et contremaîtres n'ont pas la qualification nécessaire pour planifier et organiser le travail de manière rationnelle et efficace.

La planification, au sens large, du travail et son exécution, ne peuvent selon lui être concentrés sur les mêmes individus.

Il scinde donc les planificateurs et les exécutants. Ainsi naissent les bureaux des méthodes où se concentrent les ingénieurs (industrial engineers). Leur tâche est de développer des méthodes scientifiques pour l'accomplissement des tâches, fixer les objectifs de productivité, établir des systèmes de primes de rendement, éduquer le personnel pour l'utilisation de ces méthodes de travail et la réalisation des objectifs.

### ***Le management scientifique***

Taylor en arrive à mettre en évidence quatre grands principes qui caractérisent son système de management :

- 1- Il appartient aux membres de la Direction (comprenez du management, de l'encadrement), de mettre au point la technique d'exécution de chaque élément du travail, les ouvriers ayant seulement à perfectionner les outils et les conditions de travail. Les membres de la Direction doivent donc réunir toutes les connaissances empiriques, les classer et les transformer en lois scientifiques. C'est à eux que revient la définition des conditions optimales d'exécution d'une tâche et la fixation des normes du travail.
- 2- Les ouvriers doivent être sélectionnés puis entraînés, afin de perfectionner progressivement leurs qualités et leurs connaissances.
3. Les ouvriers doivent suivre les directives données sur la façon d'exécuter le travail. Taylor a la certitude que le travail doit être exécuté conformément aux règles découvertes par la Direction qui a dû mettre au point les meilleures méthodes (the one good way) avec les outils les plus appropriés.
4. Dans ces conditions, la responsabilité du travail est donc vraiment partagée entre les ouvriers et les membres de la Direction.

Transformant progressivement des méthodes de travail empiriques et amenant ses ouvriers, grâce à des incitations financières allant de 30 à 50% d'augmentation des salaires, à changer leur manière de faire en accomplissant les tâches fixées pour eux, Taylor obtient que la production de l'atelier double.

Pendant les années de cette dure expérience, il suit des cours du soir et devient ingénieur. Devenu chef de son atelier, il le quitte, passe au Bureau d'étude de la Midvale et est nommé, en 1884, ingénieur en chef. Il n'a que 28 ans.

En 1890, il quitte la Midvale Steel Cie et devient consultant en organisation scientifique.

Après plus de vingt ans de recherches et d'expérimentation, il accepte, en octobre 1911, de faire une conférence au Congrès portant sur les principes du management scientifique. Le texte de son importante communication va être la matière de l'ouvrage, devenu célèbre, qu'il publie en 1912 avec ce titre précisément : "**Principles of scientific management**".

Les principes du management scientifique peuvent être résumés par :

- Utiliser la Science, pas les méthodes empiriques
- Chercher l'harmonie et non la discorde
- Chercher la coopération plutôt que l'individualisme
- Chercher le maximum de productivité
- Promouvoir le développement de chaque employé pour sa plus grande efficacité et prospérité

Des idées aussi neuves semblent un défi à beaucoup. Une commission de membres du Congrès américain est chargée d'enquêter sur le système de Taylor. Celui-ci en profite pour exposer devant eux ce qu'il considère comme l'essentiel de la méthode de management scientifique, explique les quatre avantages qu'apporte ce système :

- Le prix de revient de fabrication diminuant grâce à une production améliorée, l'industriel peut réaliser de meilleurs bénéfices.
- Les consommateurs en profitent, puisqu'ils peuvent acheter moins cher des produits dont le prix de vente **doit** diminuer de façon sensible.
- L'ouvrier reçoit un salaire supérieur à celui qu'il recevait antérieurement, et ceci sans que ses horaires de travail augmentent.
- Le climat de l'entreprise doit être transformé, la coopération étant préférable au conflit permanent, la considération réciproque préférable à la méfiance.

Considéré, de son vivant, par certains, comme un bienfaiteur de l'humanité, ayant accru le bien-être des travailleurs, diminué la fatigue humaine et avoir contribué à la paix sociale. Cependant Taylor n'a pas eu les résultats qu'il avait espérés. Il a été le plus souvent mal compris et l'esprit de sa méthode complètement déformé. Il eut ainsi notamment contre lui la puissante centrale syndicale American Federation of Labor.

### ***Succès et dérives du système***

L'application du management scientifique et des préceptes de Taylor fait progresser la productivité des entreprises américaines et leurs profits de manière fantastique. Ces méthodes ne se cantonnent pas uniquement aux industries, elles se diffusent dans de nombreux secteurs d'activité. Devenant la référence en matière d'organisation, les entreprises européennes s'en inspirent également.

Au grand regret de Taylor, dès 1912, il peut constater que beaucoup d'entreprises utilisent certains éléments du mécanisme du management scientifique sans en avoir compris l'esprit, arrivant ainsi à des résultats contraires à ceux que celui-ci devait engendrer : exploitation maximale de la main d'œuvre, sans réelle contrepartie, pas de collaboration encadrement-ouvriers...

Rappelons que les idées de Taylor étaient basées sur l'équité, l'effort partagé pour les deux parties, employé et employeur :

"It (the public) will no longer tolerate the type of employer who has his eyes only on dividends alone, who refuses to do his share of the work and who merely cracks the whip over the heads of his

Les gens ne toléreront pas plus longtemps ce type d'employeur, qui n'a d'yeux que pour les seuls dividendes, refuse de faire sa part de travail et fouette ses ouvriers pour les pousser

workmen and attempts to drive them harder work for low pay. No more will it tolerate tyranny on the part of labour which demands one increase after another in pay and shorter hours while at the same time it becomes less instead of more efficient."

à travailler plus pour une paye moindre. Pas plus vont-ils tolérer la tyrannie des travailleurs qui demandent augmentation sur augmentation et diminution des horaires de travail alors que celui-ci devient moins efficace.

L'argument principal **contre** les idées de Taylor est la vision réductionniste du travail qui le déshumanise. L'allocation du travail selon ce système précise non seulement ce qui doit être fait, mais aussi **comment** cela doit être fait et le **temps exact** dans lequel la tâche doit être accomplie. Il n'y a donc plus de possibilité pour un exécutant de "penser" son travail ou même d'exceller, tout étant prédéfini et standardisé.

Ces "abus" proviennent de la scission entre les "organiseurs - planificateurs" et les "exécutants"; au fil du temps les premiers se voient confié la responsabilité de gagner toujours plus de productivité. Ils sont astreints à des objectifs et n'ont pas à se soucier du facteur social. Aux seconds on ne laisse aucune latitude. Et puisque les méthodes de standardisation rendent le travail exécutable par *n'importe qui*, les ouvriers sans qualification, simples exécutants plus dociles et moins *chers* sont préférés aux ouvriers qualifiés, pérennisant ainsi le système.

Graduellement, les conditions initiales de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle ayant poussé Taylor à développer sa méthode de Management Scientifique s'effacent;

- Le manque d'éducation n'est plus une raison suffisante pour séparer exécution et préparation du travail
- Le rapport de force entre managers et exécutants a changé, alors qu'à l'époque de Taylor la force était essentiellement du côté patronal, le syndicalisme ou la menace des syndicats, a rétabli un certain équilibre,
- Le climat social n'est plus le même et
- Il y a un phénomène de rejet, contre la déshumanisation du travail.

Sous les mots **Taylor**, **taylorisme** ou **système taylorien**, la mémoire collective n'a retenu que les plus mauvais aspects d'une méthode de management efficace et qui se voulait équitable, mais dévoyée de son concept original.

### ***Les héritiers de Taylor***

Il est intéressant de noter la différence d'évolution des modes de management entre l'Occident et l'Asie;

#### **Occident**

En Occident, Etats-Unis - Europe, les systèmes à primes de rendement et segmentation extrême des tâches perdurent. La critique naissante contre ce système, la course à la productivité, l'impopularité de certaines tâches et dans une certaine mesure les accidents du travail, vont se combiner avec la maturité technologique des automatismes, puis de la robotique, pour arriver à un nouvel habillage du système.

Les tâches les plus dures, les plus ingrates et les plus critiquées sont alors confiées aux machines, ce qui permet à la *propagande* des entreprises "d'humaniser" le travail, tout en gagnant en performance...

Or, le système reste égal à lui-même pour l'essentiel; les exécutants ne sont pas prêts à abandonner les primes qui font une bonne part de leurs revenus, les employeurs ne sont pas prêts à intégrer les primes dans la rémunération de base sans garantie de maintien de la productivité.

Ce système est tellement satisfaisant que certains ouvriers qualifiés délaissent leur spécialité et préfèrent prendre des postes de base en usine, car les rémunérations y sont plus attractives, au désespoir de certaines corporations, souvent artisanales.

Tout se passe bien tant que la prospérité dure.

Le réveil douloureux viendra des chocs pétroliers successifs et des crises qu'ils induisent. On découvre alors des concurrents à la productivité supérieure et aux coûts de main-d'œuvre moindre.

Le Japon, longtemps raillé pour ses produits de piètre qualité et ses ouvriers payés "un bol de riz" se montre un concurrent redoutable et ne prête plus à rire du tout.

## Asie

Les semences du management scientifique sont tombées dans un terreau asiatique fertile et d'une nature très différente de l'occidental. Le contexte historique et social, les buts d'un Japon menant une industrialisation à marche forcée, au début du XXème siècle puis à nouveau après la seconde guerre mondiale ne mènent pas aux mêmes dérives du système.

Consensuels par nature, les Japonais développent un type de management fondé sur la collaboration et la fidélité.

En visitant les usines japonaises les plus high-tech, les occidentaux crurent d'abord que l'automatisation et la robotisation très poussée était la clef du succès nippon... Conclusion bien hâtive ! En fait, on leur a montré avec une légitime fierté les fleurons de l'industrie, les fameuses usines sans hommes, entièrement automatisées, sans que celles-ci soient pour autant représentatives de l'ensemble de l'industrie.

## Etrange conclusion

Les spécialistes qui se penchent sur le modèle de management japonais y voient un système *original*; participatif, avec l'humain, adaptatif et réactif au cœur du process.

Certes, la segmentation des tâches reste extrême, les cadences très élevées et le chronomètre l'outil de base du contremaître, **mais** les ouvriers participent à des réunions d'amélioration, discutent de la qualité, donnent leurs idées quant aux postes de travail ou au design des produits.

Ce que les analystes prennent pour un modèle nouveau n'est pourtant rien de moins que le système de Taylor original !

Dès lors, bien des entreprises occidentales veulent se débarrasser de *leurs habitudes tayloriennes* pour... adopter le nouveau modèle !

Retour aux sources, donc ?

## ***Faut-il brûler Taylor ?***

Plusieurs facteurs plaident pour la réforme des organisations du travail; le rejet de la déshumanisation du travail, la recherche de réactivité face aux évolutions des marchés

Sans douter de la nécessité du changement dans **certains secteurs**, je pense néanmoins qu'il faut éviter de généraliser et de rejeter de suite et entièrement le système de Taylor.

Les systèmes tayloriens gardent un intérêt pour les fabrications en grandes séries, pour lesquelles ils se révèlent très efficaces. On peut tout à fait éviter de tomber dans les excès, comme le montre le modèle asiatique.

Si aujourd'hui par rapport à l'époque de Taylor, le niveau d'éducation de la population est supérieur, cela ne suffit pas pour rendre pour autant les employés capables d'organiser efficacement leur travail, conformément aux objectifs de l'entreprise.

Ne serait-ce que parce que le travail lui-même a considérablement évolué. La scission organisateurs-exécutants garde donc sa raison d'être. S'il en était autrement, les entreprises pourraient faire de conséquentes économies structurelles !

Par ailleurs, il faut se méfier d'une vision réductrice *inversée*, qui prêterait à la masse des employés des caractéristiques que seuls quelques-uns présentent.

Bien des personnes ne se sentent réellement à l'aise que dans la sécurité de leur routine, et sont malheureuses si elles doivent remettre en cause leurs performances acquises par la répétition et la stabilité.

## ***Les trois expériences de Taylor***

### **1. Les maçons**

La première est relative à la construction d'un mur de briques. Taylor constate que, depuis des siècles, des millions d'hommes font les mêmes gestes, avec les mêmes matériaux et les mêmes outils, pour sceller des briques.

Il observe attentivement et constate que, sur 18 mouvements "spontanés", il y en a 13 inutiles.

Pendant trois années, il étudie les mouvements et les temps, cherchant ce qui pourrait supprimer la fatigue corporelle provoquée par des gestes à la fois pénibles et inutiles. Constatant que tous les ouvriers se baissaient pour attraper les briques entassées au sol, il fait disposer briques et mortier à bonne hauteur, grâce à des échafaudages réglables. Des hésitations provoquées par le choix de chaque brique ? Il les fait disposer en file telles que la meilleure face de chacune puisse être prise sans devoir être examinée, et que toutes soient facilement saisissables. Il en arrive à faire gâcher le mortier avec la consistance convenable, économisant ainsi le temps passé à taper sur les briques. Enfin, il apprend aux maçons à faire des mouvements simultanément avec les deux mains.

Résultat de tout ce travail, chez **GILBRETH**, entrepreneur de maçonnerie de Boston, il fait passer les ouvriers de **120 à 350** briques à l'heure, et ceci avec une moindre fatigue.

## 2. Les pelleteurs

La deuxième grande expérience de Taylor a été vécue en 1899, à la Bethlehem Steel Co :

600 manœuvres, munis de pelles, avaient à y décharger des wagons de minerais et de coke, et à évacuer les cendres et les laitiers. Taylor observe et constate d'abord que le poids unitaire de chaque pelletée est très inégal. Les pelletées de minerai peuvent faire jusqu'à 15 kg, celles de cendres seulement 2 kg.

Il constate aussi que chacun a sa pelle, plus ou moins longue, que chacun a ses gestes, souvent incorrects. Le tonnage moyen quotidien déplacé par un manœuvre ne dépasse pas 15 tonnes.

A la recherche d'une charge convenable pour tous, Taylor inspire et contrôle des essais sérieux faits par des pelleteurs qualifiés, ayant accepté de travailler sans s'éreinter mais loyalement. Il fait varier les pelletées, grâce notamment à des longueurs de pelles différentes, et observe les conditions d'exécution de ces travaux.

Après 1 000 heures d'observation, il lui apparaît qu'avec des pelletées de 19 kg un manœuvre arrive à déplacer 25 tonnes par jour, qu'avec des pelletées de 17 kg il arrive à en déplacer 30 et que c'est, finalement avec des pelletées de 10 kg que le tonnage manipulé est le plus élevé.

Taylor peut donc conclure qu'il a établi "scientifiquement" qu'un manœuvre, bien adapté à son travail, réalise sa meilleure journée en déplaçant des pelletées de 10 kg, qui lui permettent, seules, d'adopter une allure naturelle tout au long de la journée.

Il fait alors construire un magasin à pelles, de telle manière qu'il y ait des petites pelles plates pour le minerai, des pelles larges en forme de cuillers pour les cendres, des fourches pour le coke, de sorte que toutes les pelletées se rapprochent de ces 10 kg considérés comme désirables. Il veut ainsi éviter et le travail excessif, impossible à prolonger tout au long d'une journée, et le temps gaspillé, rendant impossible d'atteindre un rendement raisonnable.

600 ouvriers travaillant sur un espace de plusieurs kilomètres de long : ceci implique un bureau de préparation du travail prévoyant le travail et les déplacements de chacun.

Résultat : 600 ouvriers manipulaient chacun 10 tonnes par jour ; 140 ouvriers, avec la méthode Taylor, arrivaient à manipuler **chacun** 59 tonnes par jour.

## 3. Manutention de gueuses

La troisième grande expérience de Taylor a été vécue par lui aux mêmes aciéries de la Bethlehem Steel. La Direction lui demanda d'étudier le travail de manutentionnaires ayant à ramasser, transporter, puis reposer des gueuses de fonte de 41 kg.

Taylor ne pensa pas qu'un tel travail, apparemment élémentaire, dût, à cause de cela, échapper à toute rationalité. Au contraire, il fut vite convaincu qu'il était si complexe, faisant alterner des efforts intenses mais courts et un repos nécessaire, qu'il représentait une sorte de nouvelle science, difficile à découvrir par l'exécutant lui-même.

La loi de ce travail particulier, il la trouva grâce à l'aide d'un spécialiste qui démontra qu'il fallait que 43% du temps total d'activité journalière soient consacrés à des repos convenablement espacés.

Résultat : alors que personne n'osait penser qu'on pourrait manutentionner plus de 25 tonnes, Taylor fil obtenir 48,8 tonnes par jour comme chiffre raisonnable les manutentionnaires se trouvant satisfaits de cette norme.