

### II.1 Introduction

La planification industrielle est un processus qui consiste à élaborer et à réviser un ensemble de plans interdépendants (ventes, fabrication, achats, trésorerie...) et qui doit permettre de garantir le meilleur équilibre possible entre l'offre et la demande en tout point de la chaîne logistique à tout moment.

Dans ce chapitre, nous rappelons des généralités sur la gestion et l'ordonnancement de la production et enfin la production piloté en kanban comme introduction au chapitre III.

### II.2 Généralités sur les systèmes de production

#### II.2.1 Les systèmes de production

Un système de production est généralement vu comme l'association d'un ensemble de ressources en interaction pour réaliser une activité de production. En effet, la production s'effectue par une succession d'opérations dites de transformation, de transfert, d'assemblage et de désassemblage en exploitant les ressources disponibles (machines, moyens de transfert,...) afin de transformer les matières premières (composants entrant dans le système) en produits finis sortant de ce système [1].

Les systèmes de production ont été classés en trois grandes catégories [2]:

- **Les processus continus** tel que la production électrique.
- **Les processus discrets** tel que l'usinage et toutes les activités d'assemblage,... etc.
- **Les processus discontinus** qui se situe à mi-chemin entre les processus continus et ceux discrets, les deux types de processus sont couplés : la production est continue mais il y a un conditionnement discret des produits.

#### II.2.2 Décomposition du système de production

Les systèmes de production peuvent être des systèmes très complexes et difficiles à gérer au vu de toutes leurs composantes fonctionnelles (fabrication, achat, distribution, maintenance...). Ils sont donc beaucoup étudiés, et ce depuis longtemps. Plusieurs approches

ont été envisagées dans le but de mieux comprendre leur fonctionnement et de mieux les appréhender [3].

L'application de la théorie des systèmes aux systèmes de production suggère une décomposition de ces derniers en trois sous-systèmes (Figure II.1) :

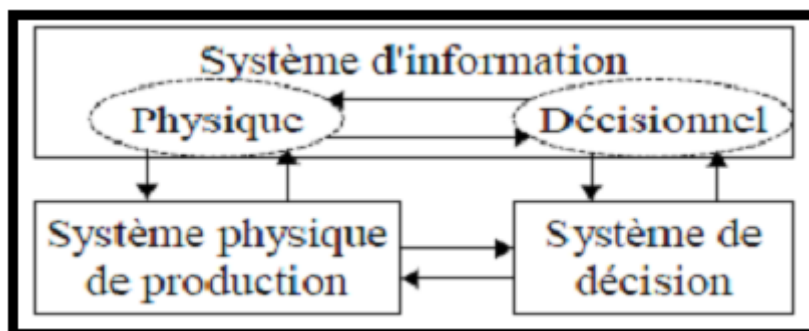
- le système d'information,
- le système de décision,
- le système physique de production.

Le système physique de production est contrôlé par le système de décision, qui organise et coordonne les tâches en prenant des décisions basées sur les données transmises par le système d'information. Le rôle de ce dernier est de collecter, stocker, traiter et transmettre des données et des informations.

Le système d'information intervient entre les systèmes de production et de décision et à l'intérieur même de ce dernier, pour la gestion des informations utilisées lors de prise de décision.

Le système de gestion de production se constitue de l'association des parties des systèmes de décision et d'information si cela concerne uniquement la production.

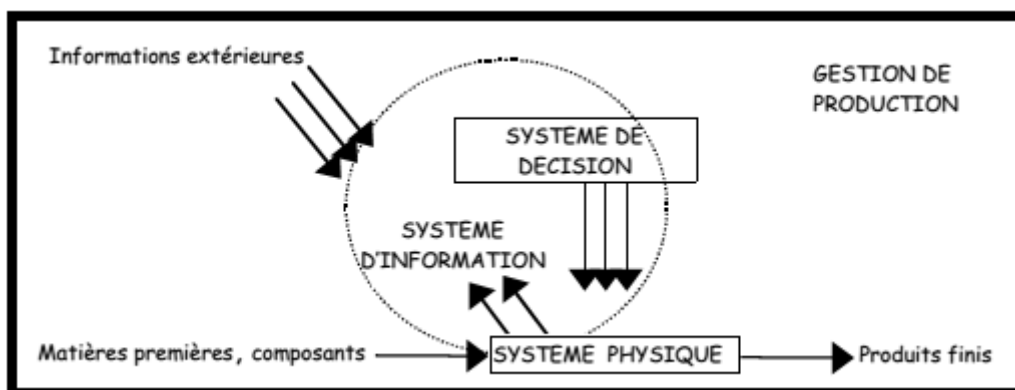
Le système physique de production est constitué de ressources humaines et physiques, son rôle est de transformer les matières premières ou composants en produits finis. C'est le système de gestion de production qui déclenche et vérifie ses activités [1].



**Figure II.1** Approche systémique du système de production [1].

### II.3 La gestion de la production

La Gestion de Production recherche une exploitation efficace (vis-à-vis des clients et de l'entreprise) des moyens de production. Elle s'appuie sur un ensemble d'outils d'analyse et de méthodes de résolution de problèmes qui visent à limiter les ressources nécessaires à l'obtention d'une production dont les caractéristiques technico-commerciales sont connues [4]. Le système de production, objet de la gestion, est décomposable en trois sous-systèmes : le sous-système de décision, le sous-système d'information et le sous-système physique [5]. Ce dernier est constitué de l'ensemble des ressources techniques et humaines impliquées dans les activités de transformations. Les décisions à l'origine du déclenchement de ces activités sont prises par le sous-système décisionnel. Enfin le sous-système d'information permet de coordonner les activités décisionnelles avec les activités de production (Figure II.2).



**Figure II.2** Décomposition du système de gestion de production [5].

Le sous-système décisionnel combiné au sous-système informationnel constitue le système de gestion de production. Les trois fonctions principales de la gestion de production sont :

- gérer les produits,
- gérer les ressources,
- planifier les activités.

Ces fonctions sont déclinées selon différents niveaux de détail et horizons temporels, de manière à maîtriser la complexité de la conduite et du suivi des activités.

### II.3.1 La fonction planification

Pour Giard [4], La planification de la production est une décision tactique qui répond à un souci de régulation à moyen terme de la production et constitue un lien entre les décisions opérationnelles à court terme et les décisions stratégiques à long terme. ... La planification de la production vise, pour un horizon de planification, en général de quelques mois, à optimiser l'utilisation de facteurs productifs disponibles pour la production d'un ou de plusieurs produits répondant à des caractéristiques précises. Il s'agit d'un processus de traitement d'informations aboutissant à une programmation prévisionnelle s'appuyant sur une démarche d'optimisation.

La nécessité de planifier la production au moyen d'outils rigoureux ne fait toujours pas l'unanimité dans bon nombre d'entreprises. Beaucoup se contentent de créer un OF pour chaque demande sans souci d'optimisation économique (taille des lots de transport, de fabrication). Les lots sont directement lancés en production, le système de production tentant de les traiter au mieux grâce à des pratiques empiriques de gestion. Un tel plan de production peut ne pas être faisable en temps voulu au stade de l'ordonnancement.

Les deux principales approches de planification étudiées dans la littérature sont **le MRP / MRP II et la planification hiérarchisée**.

- dans le premier cas, le plan de production est successivement affiné en quatre plans (ou davantage), connectés les uns aux autres via des boucles de régulation. La méthode MRP est actuellement la méthode de planification la plus répandue dans l'industrie manufacturière [6].

- la seconde approche est basée sur la définition d'un plan de production agrégé, par périodes de temps successives. Ce plan est ensuite affiné eut égard aux différents niveaux d'agrégation de produits. On aboutit donc à une cascade de plans de degré de détail croissant. L'avantage principal de cette approche est la limitation du nombre de données.

### II.3.2 Les approches de la planification et l'ordonnancement de la production

#### II.3.2.1 L'approche MRP

MRP permet de répondre à :

- Quel produit ?
- Pour quand ?
- Combien ?

#### Apports du système MRP2

Dans MRP2, également appelée « management des ressources de production », c'est l'intégration de la planification financière et comptable.

MRP2 permet de répondre à :

- Avec quelle priorité ?
- À quel prix ?

MRP II est une extension de l'approche MRP ; Les avantages offerts par l'utilisation de cette méthode sont :

- une meilleure gestion des capacités,
- une diminution des immobilisations en stock,
- une plus grande réactivité et une meilleure maîtrise du contrôle de production.

MRP est en fait un simulateur de fonctionnement de l'entreprise ayant pour objectif de définir les quantités suffisantes de produits à approvisionner et à acheter dans un contexte de juste-à-temps. Dans son développement, MRP est passé d'une simple méthode de réapprovisionnement à un véritable système complet, du plan industriel à la gestion de l'atelier [7].

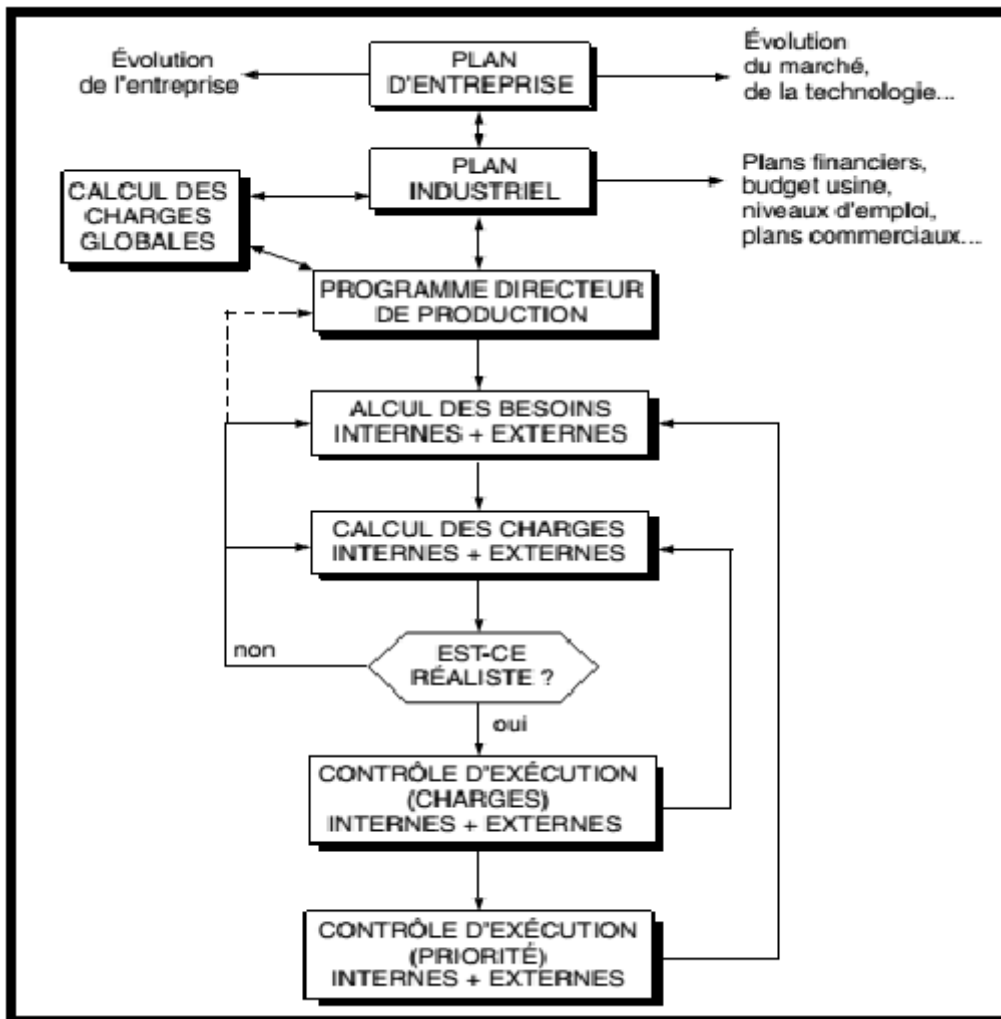


Figure II.3 Architecture MRP2 [7].

### II.3.2.2 L'approche hiérarchisée

La planification hiérarchisée, contrairement à la démarche MRP, se base sur des données agrégées de production par périodes successives. Le plan ainsi constitué est par la suite affiné selon les différents niveaux de désagrégation de produits, ce qui équivaut à une cascade de PDP de degré de détail croissant.

Au sommet de la hiérarchie, le niveau supérieur de planification résout un problème sur des données agrégées et des horizons temporels longs. Plus on descend dans la hiérarchie, plus les horizons temporels se raccourcissent et les données manipulées sont détaillées. Chaque solution obtenue par un niveau constitue une contrainte pour la résolution du problème au niveau inférieur. La planification consiste donc en raffinements successifs de décisions (désagrégation des décisions) [8].

### II.4 Généralités sur l'ordonnancement

Le plan de charge permet de vérifier si la charge occasionnée dans l'atelier par les commandes n'est pas supérieure à la capacité des ressources de l'atelier. Dans le cas contraire, des réajustements de charge (lissage) ou de capacité (sous-traitance, heures ou équipes supplémentaires) peuvent être faits. Les données sont transmises à la fonction ordonnancement.

L'ordonnancement intervient en effet en aval des décisions de planification. L'ordonnancement consiste à allouer les travaux déterminés à l'issue de la planification aux différentes ressources du système, sur un intervalle de temps donné. Nous retenons la définition suivante de l'ordonnancement : "Ordonnancer un ensemble de tâches, c'est programmer leur exécution en leur allouant les ressources requises et en fixant leurs dates de début [9].

L'ordonnancement est une branche de la recherche opérationnelle et de la gestion de la production qui vise à améliorer l'efficacité d'une entreprise en termes de coûts de production et de délais de livraison.

- l'ordonnancement et le lancement constituent l'interface entre la planification et la fabrication proprement dite. A ce stade, on spécifie et organise dans le détail les activités qui doivent être lancées au niveau de l'atelier.

- le suivi de production permet de contrôler le déroulement de la production. S'il apparaît des dérives trop importantes entre le prévisionnel et le réel, alors un nouveau cycle de planification est initialisé.

#### II.4.1 Les objectifs d'ordonnancement

Les objectifs des entreprises se sont diversifiés et le processus d'ordonnancement est devenu de plus en plus multicritère. Les critères que doit satisfaire un ordonnancement sont variés. D'une manière générale, on distingue plusieurs classes d'objectifs concernant un ordonnancement [10].

- **Les objectifs liés au temps:** On trouve par exemple la minimisation du temps total d'exécution, du temps moyen d'achèvement, des durées totales de réglage ou des retards par rapport aux dates de livraison.

- **Les objectifs liés aux ressources:** maximiser la charge d'une ressource ou minimiser le nombre de ressources nécessaires pour réaliser un ensemble de tâches sont des objectifs de ce type.

- **Les objectifs liés au coût:** ces objectifs sont généralement de minimiser les coûts de lancement, de production, de stockage, de transport, etc.

La satisfaction de tous les critères à la fois est souvent délicate, car elle conduit souvent à des situations contradictoires et à la recherche de solutions à des problèmes complexes d'optimisation [11].

### II.4.2 Les types d'ordonnancement

On distingue deux types d'ordonnancement

- L'un centralisé, où l'on va définir pour chaque centre de charge un calendrier prévisionnel de fabrication, distribuer les ordres de lancement et contrôler l'exécution des fabrications.

- L'autre décentralisé, qui consiste à gérer devant chaque poste de charge la file d'attente des ordres de fabrications en choisissant l'ordre de passage en fonction de règles de priorité locales.

### II.4.3 les tâches, les ressources et les contraintes, des données d'un problème d'ordonnancement.

#### II.4.3.1 Les tâches

Une tâche est une entité élémentaire organisée dans le temps, par une date de début et/ou de fin, et dont la réalisation nécessite une durée préalablement définie. Elle est constituée d'un ensemble d'opérations qui requiert, pour son exécution, certaines ressources et qu'il est nécessaire de programmer de façon à optimiser un certain objectif.

On distingue deux types de tâches :

- **les tâches morcelables (préemptives)** qui peuvent être exécutées en plusieurs fois, facilitant ainsi la résolution de certains problèmes,



- **les tâches non morcelables (indivisibles)** qui doivent être exécutées en une seule fois et ne sont interrompues qu'une fois terminées

### II.4.3.2 Les ressources

Une ressource est un moyen technique ou humain utilisé pour réaliser une tâche. On trouve plusieurs types de ressources :

- Les ressources renouvelables, qui, après avoir été allouées à une tâche, redeviennent disponibles (machines, personnel, ... etc.),
- Les ressources consommables, qui lorsqu'après sa libération, elle n'est pas disponible en même quantité (argent, matières premières, ... etc.).

Dans le cas des ressources renouvelables, on distingue principalement, les ressources disjonctives qui ne peuvent exécuter qu'une tâche à la fois et les ressources cumulatives qui peuvent être utilisées par plusieurs tâches simultanément mais en nombre limité.

### II.4.3.3 Les contraintes d'ordonnancement

Une contrainte exprime des restrictions sur les valeurs que peuvent prendre simultanément les variables représentant les relations reliant les tâches et les ressources. On distingue deux types de contraintes, les contraintes temporelles et les contraintes de ressources.

#### • Les contraintes temporelles

Les contraintes temporelles concernent les délais de fabrication imposés. Ces contraintes peuvent être :

- des contraintes de dates butoirs, certaines tâches doivent être achevées avant une date préalablement fixée,
- des contraintes de précédence, une tâche **i** doit précéder la tâche **j**,
- des contraintes de dates au plus tôt, liées à l'indisponibilité de certains facteurs nécessaires pour commencer l'exécution des tâches.

#### • Les contraintes de ressources

Ces contraintes concernent la limitation de la quantité de ressources de chaque type. Dans ce cadre, deux types de contraintes de ressources sont distinguées:

- Les contraintes disjonctives : induisant une contrainte de réalisation des tâches sur des intervalles temporels disjoints pour une même ressource.
- Les contraintes cumulatives : impliquant la limitation du nombre de tâches à réaliser en parallèle.

### II.5 Les ateliers de production

Un atelier se définit par le nombre de machines qu'il contient et par son type. Une classification peut exister selon le nombre des machines et l'ordre d'utilisation des machines, pour réaliser un travail (par exemple fabrication d'un produit qui dépend de la nature de l'atelier). Un système (exemple atelier) se définit par le nombre de machines qu'il contient et par son type.

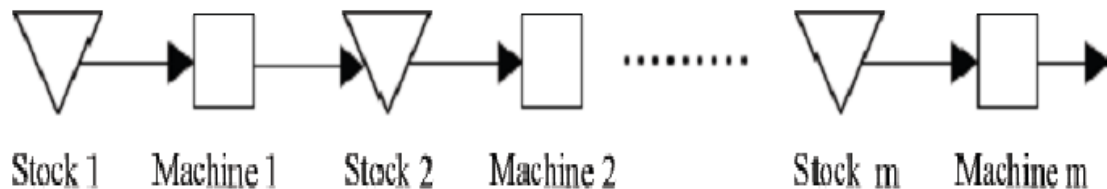
Les différents types possibles sont les suivants :

- **Une machine** : chaque tâche est constituée d'une seule opération.
- **Machines parallèles**: elles remplissent toutes les mêmes fonctions. Selon leur vitesse d'exécution, on distingue :
  - **les machines identiques** où la vitesse d'exécution est la même pour toutes les machines et toutes tâches,
  - **les machines uniformes** où chaque machine à une vitesse d'exécution propre et constante et la vitesse d'exécution est la même pour toutes les tâches d'une même machine.
- **Machines dédiées**: elles sont spécialisées à l'exécution de certaines opérations. Dans cette catégorie, chaque tâche est constituée de plusieurs opérations. En fonction du mode de passage des opérations sur les différentes machines, trois ateliers spécialisés sont différenciés.

Trois ateliers spécialisés sont différenciés, selon que la gamme de fabrication est commune à tous les travaux, c.à.d. atelier à cheminement unique ou flow shop, spécifique à chaque travail

c.à.d. atelier à cheminements multiples ou job shop, ou que cette gamme n'est pas définie  
 c.à.d. atelier à cheminement libre open shop.

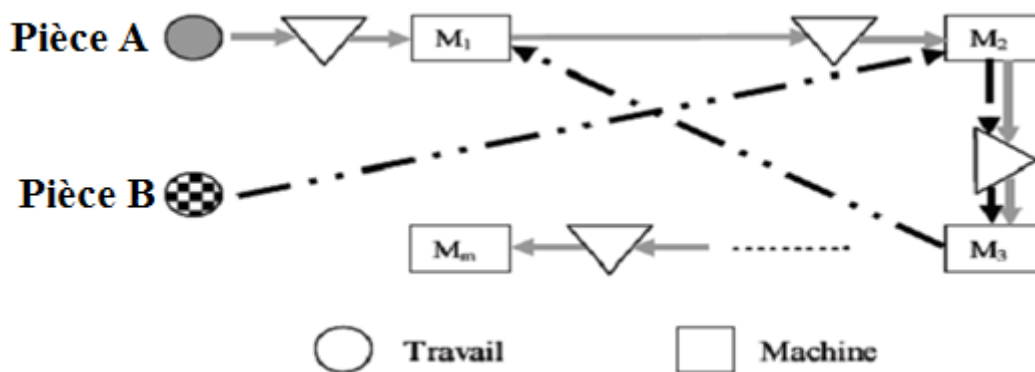
**-Flow Shop(F)** (figure II.4) : le cheminement des travaux est unique : les **n** travaux utilisent les **m** machines dans l'ordre 1,2, . . . , **m** (lignes de production);



**Figure II.4** Représentation d'un atelier flow shop [7]

(Le flow shop est une production linéaire, caractérisée par une séquence d'opérations identiques pour tous les produits. Chaque produit passe Successivement sur toutes les machines).

**-Job Shop (J)** (figure II.6) : les **n** travaux doivent être exécutés sur les **m** machines, sous des hypothèses identiques à celles du flow shop, la seule différence est que les séquences opératoires relatives aux différents travaux peuvent être distinctes et sont propres à chaque travail;



**Figure II.5** Présentation d'un atelier job shop [7]

(Dans le job shop les produits ne passent pas systématiquement sur toutes les machines selon un ordre commun : dans l'atelier, chaque produit emprunte un routage qui lui est propre).

- **Open Shop (O)** : c'est un modèle d'atelier moins contraint que le flow shop et le job shop, car l'ordre des opérations n'est pas fixe à priori. C'est-à-dire, les opérations peuvent être effectuées dans n'importe quel ordre).

### II.6 Démarche générale d'implantation d'atelier [7]

#### II.6.1 Objectif

Il est évident qu'une disposition aléatoire de l'atelier est fortement déconseillée car une bonne étude d'implantation peut permettre des gains importants dans les temps de fabrication.

Dans un premier temps, il faut chercher à implanter les points de stockage de façon à minimiser, non seulement les temps de transports des pièces aux postes de production, mais aussi les temps de déchargement ou de chargement des moyens de livraison ou de distribution.

Ensuite, il faut chercher à disposer les postes de travail de façon à minimiser les temps de transfert des produits entre ces postes. Il n'y a pas « une bonne solution » d'implantation d'atelier mais il existe plusieurs types d'organisation permettant d'intégrer les contraintes de production, de gestion et d'organisation des services.

#### II.6.2 Détermination des processus de production

Cette étape consiste à déterminer les familles de pièces qui sont réalisées dans le système de production. Cette analyse peut être faite par analyse de la demande du marché et/ou par une analyse de type technologie de groupe. À chaque famille correspond une gamme de réalisation caractéristique.

#### II.6.3 Analyse des processus

Plusieurs techniques permettent de déterminer l'implantation de l'atelier. Elle se regroupe en deux grandes familles : celles qui recherchent à optimiser les échanges entre les postes et celles qui conduisent à une mise en ligne des moyens (nous ne présenterons, ici, la méthode la plus connue de chaque famille : la méthode des chaînons et la méthode des gammes fictives).

### II.6.4 Implantation théorique

Cette étape consiste à déterminer, sur une trame architecturale, la position des postes de travail sans se soucier de leurs implantations réelles. Il sera plus particulièrement privilégié l'analyse des communications entre les postes.

### II.6.5 Prise en compte des contraintes techniques

L'implantation théorique peut nous fournir plusieurs solutions acceptables. Cette étape consiste à choisir l'implantation la mieux adaptée en fonction de contrainte de génie civil (localisation des services, surfaces disponibles, emplacement des allées...) et/ou de choix technologiques (mise en place de convoyeurs partageables...).

### II.6.6 Méthodes d'implantation

Il existe plusieurs méthodes d'implantation d'atelier qui privilégient, chacune d'entre elles, un type d'implantation.

- Méthode d'implantation générale : la plus connue est la méthode des chaînons. Cette méthode n'est pas dédiée à un type particulier d'implantation, mais vise à répartir les postes de travail en évitant, dans la mesure du possible, les croisements de flux et en cherchant à avoir des distances constantes de transfert entre les postes.

Un chaînon représente un chemin faisant l'objet de manutentions réellement exécutées entre deux postes de travail. Un poste de travail possède autant de chaînons qu'il existe de postes de travail avec lesquels il échange des pièces [7].

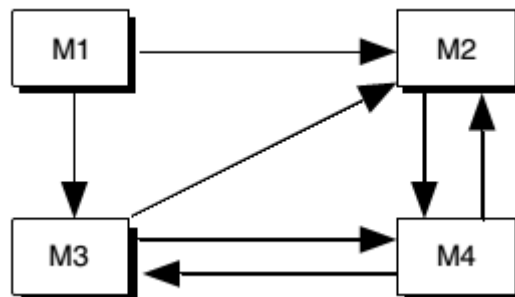


Figure II.6 (Exemple) Représentation d'un chaînon [7].

- Méthode de mise en ligne de production : la plus connue est la méthode des gammes fictives. Cette méthode vise à disposer les moyens de production de telle façon que le flux de production est toujours dirigé dans une direction donnée (méthode de Kanban).
- Méthode de mise en îlot de production : il existe plusieurs méthodes matricielles ayant cet objectif (méthode de Mac Cormick, algorithme GPM). De nombreuses études sont menées sur ce sujet et il n'y a pas de méthode qui sort vraiment du lot.

### II.7 Faiblesses identifiées

Les principales faiblesses liées aux les typologies de pilotage sont les suivantes :

-Perte de performance des ressources dues à des décisions d'ordonnancement prise localement sans visibilité sur la situation ou sur l'impact global.

-Manque de visibilité à court terme : les opérateurs qui prennent une partie importante des décisions de pilotage sur le terrain, ne disposent que des informations qu'ils perçoivent visuellement ou leur parviennent oralement.

-Manque d'outils d'aide à la décision sur le terrain : en plus d'une perception partielle de la situation, les opérateurs ne disposent pas d'outils leur permettant d'évaluer la pertinence des différentes alternatives lors d'une décision. Cette pertinence n'est donc associée qu'au vécu et à l'expérience des opérateurs, et les choix effectués diffèrent d'une équipe à l'autre.

-Manque de fiabilité des informations remontées du terrain : les saisies étant entièrement manuelles, on constate des erreurs d'horodatage (événements déclarés en retard) de quantité ou de nature (nature des aléas)

-Manque de granularité des informations remontées du terrain : les événements de production étant déclarés manuellement, et cette saisie représentant une tâche à non-valeur ajoutée, celles à sont limitées.

-Un important stock de produits finis, qui génère des risques d'obsolescences et d'importantes immobilisations financières. Ce stock est en partie dû à la production sur prévisions et aux règles de lotissement implémentées, mais permet également d'absorber la forte saisonnalité des ventes.

### II.8 La production pilotée en kanban (Just A Temps) :

Dans un système Just- à temps, la production est tirée par la consommation du client et non plus déclenchée en prévision des commandes clients. Le système d'ordonnancement implanté est inspiré du Kanban : la production est tirée par la consommation réelle du client, et l'ordonnancement est géré par la circulation d'étiquettes physiques associées à chacun des lots. Cependant, le fonctionnement ne s'apparente pas à un Kanban traditionnel, une seule boucle étant définie, entre le stock de produits finis et le système de production. Le nombre important de référence de pièces rentrant dans les différents colis, l'encombrement important des produits et les tailles de lots induits par les contraintes de rendement matière rend peu réaliste la mise en œuvre d'un stock supermarché de pièces. Le bon fonctionnement d'un tel outil repose sur une réactivité accrue du système de production, permettant de satisfaire la demande du client dans les délais convenus. Le fonctionnement est stable, des procédures figées définissant clairement les règles de gestion des flux. Une procédure spécifique permet la gestion des urgences basée sur des lots prioritaires, ce qui autorise la production rapide d'un lot. Le système peut se décomposer en un sous-système de gestion de stock, déclenchant la production et un système de pilotage de la production permettant la fabrication des produits dans les délais [12].