
2.1 – LA PLANIFICATION DE LA FABRICATION

2.1.1 – Définitions de la planification

La planification des opérations vise la répartition des ressources en fonction des objectifs stratégiques de l'entreprise, des contraintes existantes et de la demande prévue. Depuis longtemps dans le domaine de la gestion des entreprises, on reconnaît l'importance de planifier tant à long terme qu'à moyen et courts termes, et de fournir des efforts nécessaires à une utilisation optimale des ressources. Il ne faut donc pas se surprendre de la place essentielle qu'occupe la planification en gestion des opérations et de la production où l'on administre de 70% à 80% des ressources dans de nombreuses entreprises.

Les sections principales du système de planification se prêtent bien à la modélisation et à la quantification. Les chercheurs, souvent à la recherche de solution optimale, ont exploités ces particularités. Toute fois, il est rarement possible d'obtenir des conditions réelles qui permettent d'appliquer intégralement un modèle, et qui répondent parfaitement à toutes les hypothèses du modèle théorique. La planification des opérations a moyen et court termes vise tout particulièrement l'atteindre des objectifs de volume, de temps et de coûts; à long terme s'ajoute l'objectif de lieu par le biais du choix de la localisation.

2.1.2 – Les niveaux hiérarchiques de la planification

La planification est établie à des niveaux hiérarchiques différents et pour des horizons. Plus au moins éloignés, selon les caractéristiques des décisions envisagées. La planification des opérations se décompose en étapes et qui sont dérivées de la planification globale de toute l'entreprise (figure 2-1)

2.1.3- Les caractéristiques d'un processus de fabrication

Les caractéristiques nécessaires pour la conception, la planification et le contrôle d'un processus de fabrication concernent le niveau de technologie, la capacité, la flexibilité, l'efficience et l'efficacité du système.

- **Le niveau de technologie** correspond au niveau de sophistication des opérations, du processus, des techniques, des méthodes et des machines utilisées à chaque étape du système opérationnel. Cette caractéristique permet de saisir s'il y a importance relative dans l'utilisation de la main-d'oeuvre ou dans celle du bien capital ainsi que le déplacement possible, dans le *temps*, de l'un vers l'autre. Le de technologie dictera les liens entre chaque étape du processus et le choix des ressources nécessaires pour transformer l'intrant en extrant.
- **La capacité** du système détermine le taux de production possible dans un agencement donné et permet aussi d'identifier Si le système souffre de goulots d'étranglement à diverses étapes, ce qui empêcherait le processus de suffire a la demande planifiée.

- **La flexibilité** se subdivise en trois catégories: la flexibilité-quantité, la flexibilité-produit et la flexibilité-délai. D'une part, la flexibilité-quantité mesure le degré d'adaptabilité du système face à des variations de quantité de produit. D'autre part, la flexibilité-produit mesure la souplesse du système à s'adapter à des modifications de produit ou à l'introduction de nouveaux produits. Enfin la flexibilité-délai mesure le temps de réaction du système face à une demande. Mesurer individuellement chacune des trois caractéristiques de la flexibilité est difficile, mais l'est encore plus lorsqu'elles sont regroupées.
- **L'efficacité** (faire la bonne chose) mesure ce qui est réalisé par rapport à ce qui est planifié.
- **L'efficience** (faire la chose de la bonne façon) mesure la valeur des extrants par rapport à la valeur des intrants

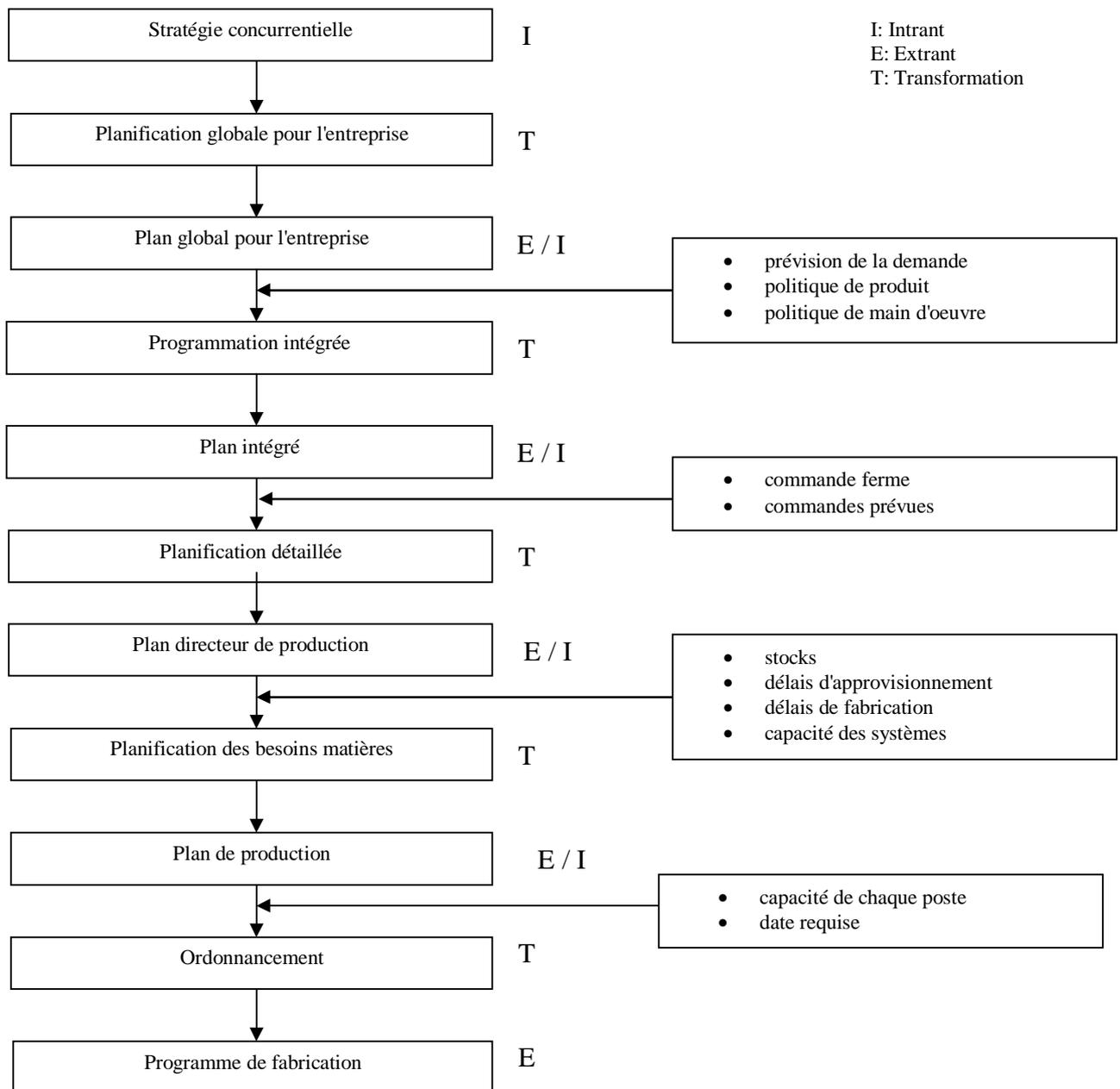


Fig 2-1: étapes de la planification du processus de fabrication

2.1.4- La conception d'un processus de fabrication

La conception d'un processus de fabrication ressemble en quelque sorte au design d'un produit: à partir d'une série d'idées on concrétise, à la suite de diverses itérations, un choix final de processus. L'important, c'est de reconnaître les spécifications des produits qui doivent être harmonisées avec les multiples méthodes disponibles pour les réaliser. Les étapes suivantes formalisent le design d'un processus;

1. l'analyse achat fabrication;
2. la définition des opérations;
3. l'indentification préliminaire des moyens;
4. l'analyse détaillée de: moyens;
5. l'étude d'interdépendance des moyens;
6. le choix final:
7. le pilotage et le système d'information

2.1.5 - Interaction du produit et du processus

Quoique de nombreuses références, furent faites concernant l'interaction entre le produit et le processus, le concept mérite une attention particulière. Il existe trois étapes de développement du processus, qui sont qualifiées de non coordonnées, de segmentées et de systématique, tandis que les trois étapes correspondant au développement du produit sont qualifiées de maximisation de performance du produit, de maximisation des ventes et de minimisation des coûts

- Durant la première étape, les innovations de produit, stimulées par les besoins de concurrence, sont fréquentes; la diversité des produits augmente et l'entreprise désire accroître la performance de ceux-ci en anticipant les besoins du consommateur, Face à la diversité et à instabilité des produits, le processus est modifié pour s'adapter aux nouvelles caractéristiques des produits, et doit être flexible, car il est largement composé d'opérations manuelles et non standards avec des équipements de type général plutôt que spécialisé. Le processus est alors qualifié de non coordonné, car les liens entre chaque activité du processus sont relativement lâches et imprécis.
- Durant la deuxième étape, les produits se stabilisent, quelques-uns commencent à dominer et la période de maximisation des ventes est entamée. Les produits entrent au début de leur phase de maturité, la concurrence sur le prix devient plus intense, le processus s'adapte par des innovations technologiques qui visent particulièrement l'efficacité. Le processus devient plus spécialisé, plus standardisé et plus sujet à des contrôles formels. Le processus est qualifié de segmenté, car l'intégration des opérations se fait particulièrement par le système de pilotage et chaque opération est améliorée en fonction d'elle-même et non en fonction de l'ensemble des opérations. Par contre, certaines opérations peuvent être fortement automatisées avec des innovations technologiques

tandis que d'autres peuvent demeurer essentiellement manuelles et non spécialisées résultant ainsi en un système opérationnel segmenté.

- Durant la troisième étape, le produit a atteint sa phase de maturité; sa diversité est réduite et le produit devient plus standardisé. La concurrence se fait sur une base de prix; les marges de profit diminuent l'entreprise se concentre sur la minimisation des coûts exigeant plus d'efficacité, le processus est amélioré par des innovations qui réduisent les coûts, il devient plus automatisé et les investissements en machines plus élevés.

Toutes les opérations physiques dépendent alors des machines et le processus devient fortement intégré rendant même difficiles et coûteuses des modifications de produit. Le processus est qualifié de systématique à cause de sa forte intégration physique et de l'interdépendance élevée des opérations; en effet, à cette étape, une modification de produit ou du processus, même minime, peut engendrer des modifications importantes et coûteuses à chacune des autres activités du système opérationnel.

Ce modèle dynamique d'innovation de produit- processus montre bien l'interaction entre l'évolution du produit et l'évolution de la conception d'un processus. A chaque étape de développement, on constate la tendance progressive d'une forte flexibilité vers une forme de rigidité tant du produit que du processus; de même, cette tendance s'accompagne d'une faible préoccupation des coûts vers une exigence de forte efficacité; et enfin, cette tendance de forte innovation mène vers une stagnation de l'innovation.

2.1.6 - L'adaptation du produit et du Processus de fabrication

Puisque le produit évolue selon une série de phases principales, le processus de fabrication pour ce produit passe également par une succession d'étapes, pour ensuite s'adapter aux exigences du produit. Habituellement, le processus est conçu pour être souple au début. Puisqu'il doit s'adapter, il est faiblement productif et s'oriente par la suite vers une standardisation, une mécanisation, une automatisation accrue, pour tendre vers un processus continu, où il culmine. Ce processus continu, bien qu'il diminue le prix de revient, augmente les dépenses d'investissement et, bien qu'il permette de fabriquer de grandes quantités de produits, demeure peu flexible, il s'adapte difficilement et ses coûts de modification sont élevés.

La diversité, le degré de standardisation et la quantité de produits à fabriquer déterminent non seulement le processus de fabrication à utiliser, mais aussi le degré de productivité et de flexibilité pouvant être réalisé par une combinaison donnée. Un même processus ne peut satisfaire simultanément et économiquement les exigences de divers produits si ces derniers appartiennent à des étapes différentes de leurs cycles de vie et le processus doivent nécessairement former un ensemble homogène.

Le besoin d'adaptation du produit au processus et vice versa, mérite une attention constante. Par exemple, si le cycle de vie des produits évolue différemment de celui du processus, l'entreprise peut, soit

segmenter son processus par rapport à ces cycles, soit avoir des processus distincts pour chaque gamme de produits, ou encore se spécialiser dans certains segments de production et de confier à des sous-traitants ses autres besoins. En somme, l'entreprise doit penser à la focalisation de ses opérations.

2.1.7 - Les nouvelles technologies

Un processus industriel peut avoir un certain nombre de caractéristiques selon la variété et la quantité de produits à fabriquer. Un processus peut être automatisé, flexible, adaptable, versatile ou posséder ces deux dernières caractéristiques à la fois.

1° - Un processus automatisé:

Un processus automatisé est conçu de telle sorte qu'une machine puisse remplacer à divers degrés les activités de travail d'une personne. Plus précisément, on entend par automatisation cet art et, de plus en plus, cette science des machines qui s'autocontrôlent au point d'éliminer en totalité ou presque les opérations manuelles. Le degré d'automatisation dépend de la capacité du système de diagnostiquer ses activités, de corriger un écart, d'activer et de terminer ses opérations sans intervention humaine. Plusieurs réalisations ont été produites en regard de l'usine de demain et ont comme source;

- le contrôle numérique "CN".
- le contrôle numérique direct "CND".
- le contrôle numérique informatisé "CNI".

Les avantages des systèmes CN, CND, CNI sont en grande partie attribuables à la réduction des temps non productifs, c'est à dire les délais causés par la personne ou par la machine lors des mises en route, Ces remplacements d'outillage, des agencements d'opérations et de manutention; ce sont là des temps autres que le temps d'opération de la machine. Pour le contrôle et l'amélioration du temps d'opération de la machine elle-même, on utilise un système appelé contrôle adaptatif "CA".

La CA mesure et contrôle les variables du processus afin d'accroître le temps d'opération: par exemple, on pourrait tenter d'améliorer le taux d'enlèvement du métal dans le cas d'une machine-Outil. La machine à contrôle adaptatif calcule ce que doit être la vitesse d'un outil en fonction du degré de dureté du métal, de la largeur et de la profondeur de la coupe, etc., et tente de rendre l'opération la plus efficiente possible.

Dans ce premier groupe de systèmes automatisés, il reste un dernier système à traiter, et qui est le robot industriel. Les robots, remplacent l'opérateur surtout dans des tâches difficiles, monotones et insalubres.

2° - Processus Flexible:

Le deuxième groupe de systèmes est celui des processus à systèmes flexibles. Par flexible on entend

système qui s'adapte à des changements rapides de mise en route, qui permet la fabrication de petites séries de produits et qui facilite la manutention de matières et de composants. Un système de fabrication flexible "SFF, parfois aussi désigné par la fabrication intégrée à l'aide de l'ordinateur consiste en un groupe de machines, généralement à contrôle numérique, interconnectées à un système de convoyeurs et d'appareils de transport de pièce. Le tout est organisé de sorte qu'un éventail de produits différents mais ayant des similitudes puisse être fabriqué, soit avec ou sans intervention humaine. Le SFF fait appel à deux concepts qui sont la localisation et l'aménagement : la fabrication cellulaire et le groupement technologique. Dans le groupement technologique, des pièces ayant des caractéristiques similaires sont regroupées en familles; dans la fabrication cellulaire, des machines différentes sont choisies et regroupées en cellules, de manière à ce que chaque cellule de machines puisse traiter les familles de pièces. En somme, un SFF est un système de fabrication cellulaire hautement automatisé où la fabrication et la manutention sont intégrées à un contrôle par ordinateur.

3° - Processus adaptable:

Le troisième groupe de systèmes concerne les processus à systèmes adaptables, ainsi nommés car ils s'accommodent aux modifications de produits, à la création de nouveaux produits ou à des exigences nouvelles de la clientèle. La conception assistée par ordinateur "CAO" utilise l'ordinateur à des fins de création, de modification, d'analyse ou d'optimisation d'une conception, ce qui augmente la productivité du concepteur, améliore la qualité de conception et crée une base de donnée pour la fabrication. La fabrication assistée par ordinateur "FAO" se définit comme étant l'utilisation de systèmes d'ordinateurs pour planifier, diriger et contrôler les opérations de fabrication. L'ordinateur peut communiquer directement avec le processus afin de le surveiller, de le mesurer et de contrôler les variables clés. L'ordinateur peut être indirectement relié au processus, la communication est alors complétée par une personne, et fournir des plans, des horaires, des prévisions, des données pour alimenter les systèmes à contrôle numérique. L'alliance CAO -FAO ou CFAO permet, à partir d'une idée de produit, de détailler le dessin industriel, de spécifier la nomenclature du produit, de programmer le processus selon les besoins d'une machine à contrôle numérique, de fabriquer la pièce et d'exécuter d'autres activités de soutien telles que l'estimation des coûts, la planification du processus la gestion des stocks, l'ordonnancement.

3° - Processus versatile:

Enfin le quatrième groupe est celui des processus à systèmes versatiles, c'est à dire que le système peut fabriquer un grand nombre d'articles différents les uns des autres. La versatilité est l'antonyme de la focalisation et quoique souhaitable, elle comporte des coûts élevés. La plupart des nouvelles technologies déjà discutées, la CFAO, le CN etc., peuvent conduire à la versatilité; toutefois, un système peut être automatisé, flexible, adaptable mais sans être nécessairement versatile.

Par exemple, une installation peut être fortement automatisée et conçue spécifiquement pour une gamme restreinte de produits de haute technologie: le système est automatisé, car il est conçu en fonction de l'utilisation des machines et non en fonction des personnes; il est flexible, car les séries sont facilement changeables au sein de la gamme restreinte de produits; Il est adaptable, car pour cette gamme de produits, on peut y intégrer des changements dictés par le marché: enfin, il ne peut pas être versatile, car pour fabriquer une gamme élargie de produits ou une variété différente d'articles, le système devrait être révisé et repensé. Ces nouvelles technologies, comme nous l'avons constaté, comportent des avantages non négligeables pour l'entreprise qui les adopte. Ces avantages ressortent clairement dans la réduction des coûts d'exploitation; les coûts de main-d'œuvre par l'utilisation plus intense de la machine; les coûts d'espace et de machine à cause du taux accru d'utilisation de machines; les coûts de stockage à cause des temps plus rapides de fabrication et la quasi-élimination des stocks de produits en cours. Les avantages relatifs à la qualité sont reliés à la réduction des coûts d'exploitation: la nouvelle technologie donne une qualité uniforme et souvent supérieure à cause de la plus forte précision des machines améliorant le taux de transformation matière, ainsi que réduction des chutes, des rejets et du ré-usinage. Combinés à ces éléments, les facteurs de rapidité et de fiabilité des livraisons s'accroissent surtout à cause de la vitesse des communications dans l'ordre idée- produit- processus- livraison. De toute évidence le gestionnaire de l'avenir devra se préoccuper davantage de la nouvelle technologie.

2.1.8. Révision et amélioration du processus de fabrication

Comme les produits, les processus de fabrication aussi vieillissent ou subissent des changements dans le temps; on suggère de revoir le système opérationnel de façon périodique pour s'assurer qu'il demeure compatible avec la nouvelle technologie et avec les demandes sans cesse renouvelées par le marché ou la clientèle. Cette évaluation peut se faire par une audition du système opérationnel, des systèmes de pilotage et d'information et du système hiérarchique de prise de décision. Voici quelques exemples de questions pertinentes posées lors d'un audit: l'automatisation est-elle utilisée à son point maximal? Peut-on libérer le système de ses goulots d'étranglement? Le volume de produit s'est-il accru de façon à utiliser une nouvelle typologie de production?

Dans ce genre d'étude pour l'amélioration du système opérationnel, un danger majeur guette le gestionnaire, les ajouts parcellaires en effet, trop souvent, le gestionnaire ajoute une machine, ici et là, réorganise le flux des matières dans un département, ou modifie une procédure sans tenir compte de l'ensemble des opérations. L'ajout parcellaire corrige un problème immédiat, mais la somme de ces ajouts est rarement optimale. Pour corriger cette lacune, certaines entreprises, après avoir fait une audition du système de production, créent une équipe de gestionnaires de l'ingénierie du produit et du processus, de l'approvisionnement, de la production et des ventes. Cette équipe a pour mission de concevoir, dans ses grandes lignes: et non dans ses détails, une usine qui utiliserait les dernières technologies de production en

considérant les possibilités en approvisionnement et les exigences du marketing. Cette usine, sur papier, sert alors de référence pour corriger et améliorer les problèmes particuliers qui se présentent en somme, cette approche est systémique; elle permet à la fois d'éviter les pièges de rajout parcellaire et offre une configuration qui aide à mieux positionner les améliorations dans un tout que serait l'usine de demain.

2.2 – LA PREPARATION DE LA FABRICATION

2.2.1 – Introduction

La préparation de la fabrication est une étape importante dans le processus de fabrication d'un produit industriel. Elle est assurée par les services études et méthodes de fabrication dont les tâches et les activités se déroulent dans le bureau des méthodes. Préparer la fabrication en vue de la concrétisation du produit, c'est définir les activités suivantes [CAS 80]:

- étudier le produit et faire son analyse en fonction de son dossier de définition ;
- prévoir la suite logique et chronologique de toutes les opérations, qui va déboucher sur la gamme de fabrication;
- choisir les moyens de réalisation économiques;
- fixer les détails d'utilisation rationnelle des machines et des outillages courants;
- concevoir les appareillages spéciaux;
- prévoir le produit et la nature du contrôle;
- prévoir les manutentions en cours de cycle de fabrication et le stockage en fin de cycle;
- définir la qualification de l'opérateur;
- fixer les temps d'exécution et les délais d'attente entre les opérations;
- traduire cette préparation sous une forme durable (documents reproductibles).

3.2.2 – Etude de la fabrication

L'étude de la fabrication comprend deux parties [CAS 80]:

- la première partie a trait à des problèmes d'ordre général, dont la solution peut être trouvée sans effectuer de nouvelles recherches. Dans ce cas, il suffit d'agir par analogie pour appliquer à une pièce mécanique un plan de fabrication déjà éprouvé sur une pièce similaire;
- la deuxième partie a trait à des problèmes toujours nouveaux en ce sens qu'ils sont particuliers à la fabrication envisagée ou qu'ils nécessitent des moyens non encore éprouvés. Dans ce cas, pour traiter ces nouveaux problèmes, il faut disposer de techniciens (chercheurs, ingénieurs, techniciens et opérateurs) hautement qualifiés. Cet ensemble de techniciens appartient à une subdivision du bureau de méthodes, qu'on appelle généralement la section des méthodes.

2.2.2.1 – Section des méthodes

Les agents de la section des méthodes sont avant tout des techniciens mais aussi des chercheurs et des hommes de caractère.

Ils procèdent en particulier à de nombreux essais des machines-outils, des outils, des appareillages spéciaux, des matières d'œuvres à façonner. Des chronométrages leur permettent de noter et de confronter les résultats obtenus. La synthèse continue des travaux de la section des méthodes permet de dresser une documentation sous forme de normes internes et standard auxquelles on se référera.

C'est ainsi que ces normes pourront définir, par exemple, les outils et porte-outils à utiliser en priorité, les liquides d'arrosage, les dispositifs d'ablocage des pièces sur les tables des machines, les éléments interchangeables des montages d'usinage, la série des cotes nominales à utiliser pour réduire le nombre des instruments de contrôle, ainsi qu'un choix d'ajustement très restreint, etc...

2.2.2.2 – Section étude du travail

Il n'y a pas d'intérêt à fabriquer soi-même les pièces qui sont produites en grande série et à meilleur compte par des spécialistes.

Dans un ensemble défini par la nomenclature, on est donc conduit à faire le tri des pièces finies à acheter (éléments de visserie, éléments de clavetage, paliers, roulements, monchons, embrayages, poulies, graisseurs, pompes, moteurs électriques, etc...), et on laissera au service des achats le soin de les approvisionner.

Les pièces à fabriquer dans les ateliers seront:

- soit façonnées à l'outil dans la masse;
- soit moulées, matricées, embouties, ou mécano soudées par éléments.

L'agent technique préparateur, qui est fort d'une grande expérience, dressera rapidement un avant-projet de fabrication, il analysera, pour chaque pièce à fabriquer plusieurs méthodes, les confrontera et adoptera la meilleure. Il devra ensuite décomposer le travail, fixer les détails d'exécution, choisir et définir la machine et les outillages, calculer les temps de travail, rédiger les documents de base originaux.

2.3 - LA REGULATION DE LA FABRICATION

2.3.1 – Introduction

Le déroulement de la fabrication ne saurait se poursuivre au jour le jour, dans le désordre et sans plan prévisionnel. Il est donc nécessaire d'établir suffisamment tôt l'enchaînement des tâches de telle sorte que leur ensemble soit logiquement coordonné et corresponde aux possibilités de l'entreprise du point de vue matériel, main-d'œuvre et matière d'œuvre.

Dans le but de réguler la fabrication, la section méthode dresse des tableaux ou des graphiques chronologiques situant le début et la fin de la fabrication de chaque élément d'un ensemble ainsi que de

l'ensemble lui-même. Cette régulation de la fabrication comprend deux phases principales: l'ordonnancement et le lancement de la fabrication

2.3.2 - L'ordonnancement

L'ordonnancement du travail est l'ensemble des tâches faites par l'entreprise ayant pour but la détermination des délais et la mise en place des moyens nécessaires à la production [CHA 96]. Les cinq étapes de l'organisation actuelle de la fabrication sont successivement:

- choix d'une politique de fabrication;
- choix d'un programme de fabrication;
- calcul des temps de fabrication;
- fixation des délais de production;
- évaluation de la charge qui permet d'en effectuer une répartition sur une période de travail.

L'ordonnancement doit être représenté de manière visuelle par les plannings qui sont une transcription commode et durable de la suite chronologique des ordres ou des situations correspondant à une fabrication déterminée. On peut établir autant de planning que de situation à prévoir et à suivre [CAS 80].

Le planning doit coordonner et guider les opérations et informer le gestionnaire. Son rôle est de déterminer le programme d'utilisation des moyens et assurer le déclenchement de l'exécution du travail. Son objectif est de supprimer les périodes de rendement nul, de réduire les en-cours et d'assurer la tenue des délais [CHA 96].

Les plannings les plus nécessaires [CAS 80], dans le domaine qui nous intéresse, sont relatifs à:

- la charge des postes de travail, c'est-à-dire, pour une période déterminée, au nombre d'heures d'occupation de chacun de ces postes exigé par l'exécution du travail en cours;
- la répartition chronologique du travail par poste, c'est-à-dire à la succession des pièces qui viendront en fabrication à ce poste, avec indication des délais de début et de fin des opérations;
- l'avancement de la fabrication, par pièce et par ensemble, compte tenu de la répartition par poste prévue et de la charge des postes;
- la disponibilité de la main d'œuvre, par catégorie professionnelle et par qualification, pour tenir compte des fluctuations dues aux départs, aux embauchages, aux maladies, aux congés, etc...;
- la situation des stocks de la matière d'œuvre et de produit finis disponibles à des dates échelonnées, compte tenu des consommations prévues et effectives et des achats en cours ou à venir.

Les outils les plus répandus utilisés dans le planning sont le diagramme de GANTT et PERT

2.3.3 Les contraintes

Les contraintes expriment des restrictions sur les valeurs pouvant être prises par les variables de décisions. Ce sont donc des conditions à respecter dans la construction de l'ordonnancement pour qu'il soit réalisable. Il existe plusieurs classifications possibles de contraintes.

Suivant la disponibilité des ressources et l'évolution temporelle. Une classification de ce type a été donnée par [Ben Hmida 09] qui distingue deux types de contraintes en ordonnancement, les contraintes temporelles et les contraintes de ressources.

- ❖ **Les contraintes de ressources** : comprennent les contraintes de capacité et d'affectation, les premières peuvent distinguer deux types de ressources, les ressources disjonctives qui ne peuvent exécuter qu'une seule tâche à la fois et les ressources cumulatives permettant la réalisation simultanée de plusieurs tâches. Les contraintes d'affectation qui existent dans les systèmes flexibles englobent deux types de contraintes, les contraintes de domaine qui représentent l'ensemble des ressources candidates pour l'exécution d'une tâche et les contraintes de différence qui imposent l'utilisation de ressources différentes pour la réalisation d'un certain nombre de tâches.
- ❖ **Les contraintes temporaires** peuvent être classées en deux catégories, les contraintes de temps absolu et de temps relatif, les contraintes de temps absolu permettent de représenter la limitation des valeurs possibles pour les dates des tâches. Par exemple date de début au plus tôt, date de fin au plus tard... les contraintes de temps relatif sont les contraintes relatives aux contraintes de cohérence technologique telle que les contraintes de gammes dans lesquelles il faut respecter le positionnement relatif entre tâches.

Une autre classification consiste à classer les contraintes selon leur lien avec le système de production. D'après [Tangour 07], ces contraintes peuvent être classées en deux types : endogènes et exogènes.

- ❖ Les contraintes endogènes constituent les contraintes liées directement au système de production et à ses performances telles que :
 - les dates de disponibilité des machines et des moyens de transport,
 - les capacités des machines et des moyens de transport,
 - les séquences des actions à effectuer ou les gammes des produits.
- ❖ Les contraintes exogènes sont des contraintes imposées extérieurement, et donc indépendantes du système de production; on distingue :
 - les dates de fin de fabrication au plus tard du produit imposées généralement par les commandes,
 - les priorités de quelques commandes et de quelques clients,
 - -les retards possibles accordés pour certains produits.

Selon Letouzey [Letouzey 01] on peut aussi distinguer les contraintes suivant qu'elles soient strictes ou pas. Les contraintes strictes sont des exigences à respecter alors que les contraintes dites «relâchables» (contraintes de préférences) peuvent éventuellement ne pas être satisfaites.

2.3.4 Les objectifs de l'ordonnancement

Un problème d'ordonnancement n'est pas nécessairement exprimé comme un problème d'optimisation. Néanmoins, la notion de critère d'optimisation est toujours présente, cette notion est nécessaire pour juger la pertinence d'un ordonnancement satisfaisant ses contraintes du point de vue exploitation. Dans certains cas, où les objectifs de l'entreprise sont multiples, on cherche à optimiser (ou rapprocher de) plusieurs fonctions objectifs à la fois. Dans ce cas, le problème d'ordonnancement n'est plus un problème simple mais devient un problème multicritère. Ces objectifs sont classés selon Esquirol et Lopez [Esquirol 99] [lopez 99] en plusieurs classes :

1. **Les objectifs liés au temps** : la minimisation du temps total d'exécution, du temps de cycle, des durées totales de réglage ou des retards par rapport aux dates de livraison...
2. **Les objectifs liés aux ressources** : la maximisation du taux d'utilisation d'une ressource ou la minimisation du nombre de ressources à employer...
3. **Les objectifs liés au coût** : ces objectifs sont généralement de minimiser les coûts de lancement, de production, de stockage, de transport, du retard, de non occupation des machine

2.3.5 Méthodes d'ordonnancement

La réalisation d'un projet nécessite souvent une succession de tâches auxquelles s'attachent certaines contraintes :

De temps : délais à respecter pour l'exécution des tâches ;

D'antériorité : certaines tâches doivent s'exécuter avant d'autres ;

De production : temps d'occupation du matériel ou des hommes qui l'utilisent..

Les techniques d'ordonnancement dans le cadre de la gestion d'un projet ont pour objectif de répondre au mieux aux besoins exprimés par un client, au meilleur coût et dans les meilleurs délais, en tenant compte des différentes contraintes.

L'ordonnancement se déroule en trois étapes :

- **La planification** : qui vise à déterminer les différentes opérations à réaliser, les dates correspondantes, et les moyens matériels et humains à y affecter.

- **L'exécution** : qui consiste à la mise en œuvre des différentes opérations définies dans

la phase de planification.

- **Le contrôle** : qui consiste à effectuer une comparaison entre planification et exécution, soit au niveau des coûts, soit au niveau des dates de réalisation.

Il existe trois méthodes d'ordonnement : le diagramme de Gantt, la méthode MPM(Méthode des potentiels Métra), le PERT (Program Research Technic).

2.3.5.1 Méthode P.E.R.T (Program Evaluation and Research Task)

1 Principe.

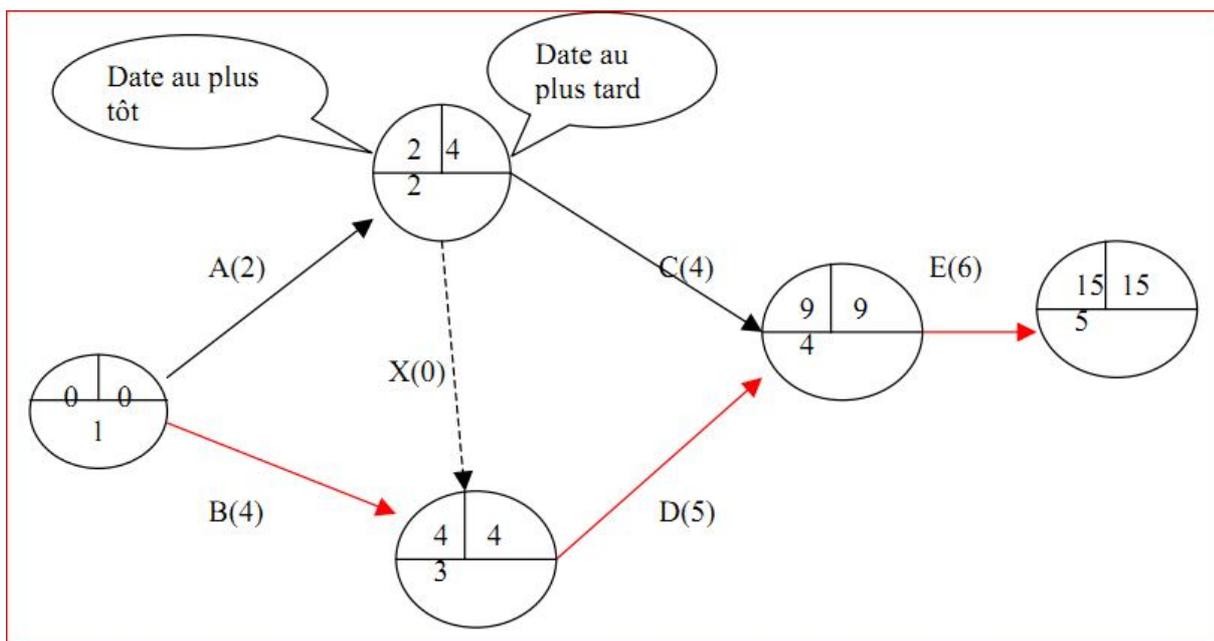
Dans un graphe PERT :

- Chaque tâche est représentée par un arc, auquel on associe un chiffre entre parenthèses qui représente la durée de la tâche.
- Entre les arcs figurent des cercles appelées « sommets » ou « événement » qui marquent l'aboutissement d'une ou plusieurs tâches. Ces cercles sont numérotés afin de suivre l'ordre de succession des divers évènements.

2-Réalisation

Pour construire un graphe PERT, on utilise la méthode des niveaux.

- On détermine les tâches sans antécédents, qui constituent le niveau 1.
- * On identifie ensuite les tâches dont les antécédents sont exclusivement du niveau 1. Ces tâches constituent le niveau 2, et ainsi de suite...



Remarques :

- Il a été nécessaire d'introduire une tâche fictive de durée égale à 0, pour représenter la relation d'antériorité entre A et D.

- Le cumul des tâches composant la séquence la plus longue (B, D, E) permet de déterminer la date au plus tôt de réalisation du projet. Cette succession tâches constituent le chemin critique.

Dates et marges en représentation PERT.

- **Date au plus tôt.**

On initialise la date au plus tôt du premier sommet à 0 :

$T_1=0$ ← Désigne la date au plus tôt du sommet 1.

$T_i = \text{Max} (T_j + \text{Durée } T_{i,j})$ pour tous les prédécesseurs j de i

- **Date au plus tard.**

On initialise la date au plus tard du dernier sommet avec sa date au plus tôt.

$T^*_n = T_n$ (T^*_n : désigne la date au plus tard du sommet n)

(T_n : désigne la date au plus tôt du sommet n).

$T^*_i = \text{Min} (T^*_j - \text{Durée } T_{i,j})$ pour tous les successeurs j de i.

- **Marge totale**

Marge totale $i, j = T^*_j - T_i - \text{Durée } T_{i,j}$

T^*_j : est la date au plus tard du sommet j.

T_i : date au plus tôt du sommet i.

$T_{i,j}$: durée de la tâche entre les sommets i et j.

Tâches	A	B	C	D	E
Marges totales	4-0-2=2	4-0-4=0	9-4-4=1	9-4-5=0	15-9-6=0

Remarque : sur le chemin critique, les marges totales des différentes tâches sont nulles.

- **Marge Libre**

Marge libre $i, j = T_j - T_i - \text{durée } T_{i,j}$

2 Le Diagramme de Gantt.

Principe.

Ce type de diagramme a été mis au point par un américain Henry Gantt. On représente au sein d'un tableau en ligne les différentes tâches et en colonne les unités de temps (exprimées en mois, semaines, jours, heure) La durée d'exécution d'une tâche est matérialisée par un trait au sein du diagramme.

Tâches	A	B	C	D	E
Marges libres	2-0-2=0	4-0-4=0	9-2-4=3	9-4-5=0	15-9-6=0

Réalisation.

Les différentes étapes de réalisation d'un diagramme de Gantt son les suivantes :

Première étape : On détermine les différentes tâches (ou opérations) à réaliser et leur durée.

Deuxième étape : on définit les relations d'antériorité entre tâches.

Troisième étape : on représente d'abord les tâches n' ayant aucune antériorité, puis les tâches dont les tâches antérieures ont déjà été représentées, et ainsi de suite...

Quatrième étape : on représente par un trait parallèle en pointillé à la tâche planifiée la progression réelle du travail.

Exemple :

Temps Tâche	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
A														
B														
C														
D														
E														

Remarques :

- Chaque colonne représente une unité de temps.
- Les durées d'exécution prévues des tâches sont représentées par un trait épais.
- (4 unités de temps pour C).
- Les contraintes de succession se lisent immédiatement.
- Les tâches B et C succèdent à la tâche A.
- D succède à B.
- Le déroulement d'exécution des tâches figure en pointillé, au fur et à mesure des contrôles. On est à la fin de la 6^{ème} unité de temps, B est en avance d'une unité, C est en retard d'une unité.
- On peut alors déterminer **le chemin critique** : qui est formé d'une succession de tâches, sur le chemin le plus long en terme de durées. Il est appelé chemin critique car tout retard pris sur l'une des tâches de ce chemin, entraîne du retard dans l'achèvement du projet. (Chemin critique : A, B, D, E).

Avantages :

- Permet de déterminer la date de réalisation d'un projet.
- Permet d'identifier les marges existantes sur certaines tâches (avec une date de début au plus tôt et une date au plus tard).
- La date au plus tard de début d'une tâche, la date à ne pas dépasser sans retarder
- l'ensemble du projet.

Inconvénient :

Ne résoud pas tous les problèmes, en particulier si l'on doit planifier des fabrications qui viennent en concurrence pour l'utilisation de certaines ressources.

La Méthode des potentiels métra.

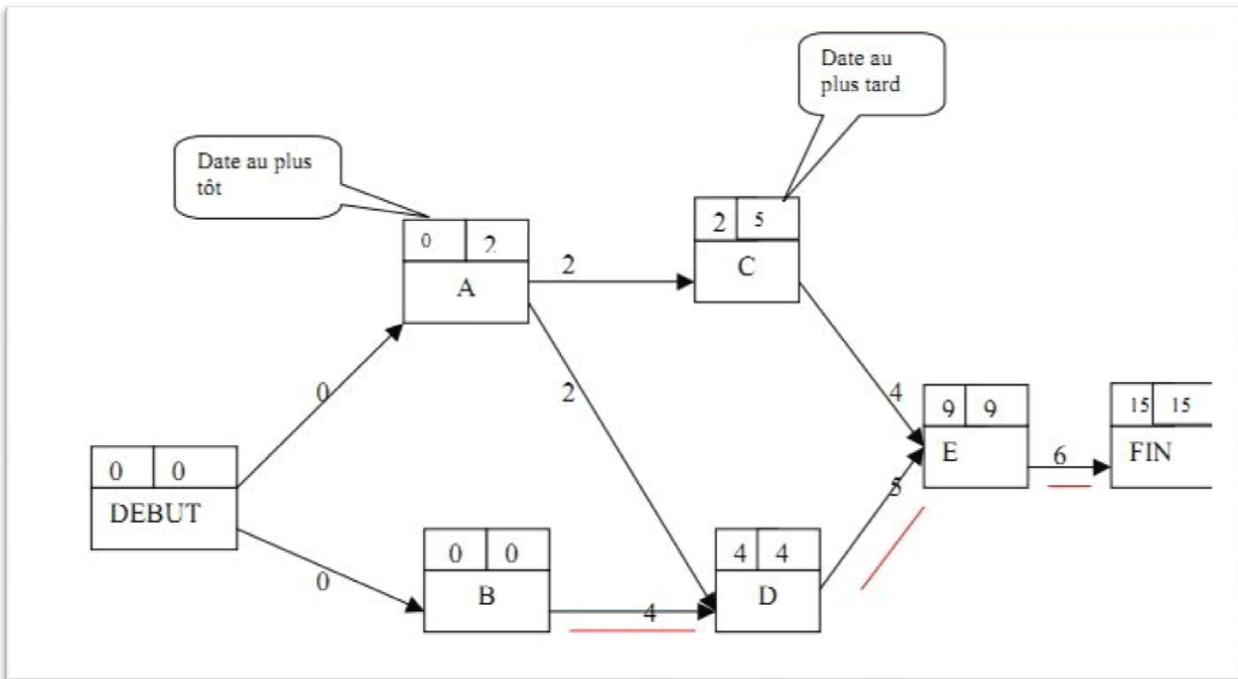
Cette méthode a été développée par une équipe de chercheurs français.

Principe.

- * Les tâches sont représentées par des sommets et les contraintes de succession par des arcs.
- * Chaque tâche est renseignée par la date à laquelle elle peut commencer (date au plus tôt) et celle à laquelle, elle doit se terminer (date au plus tard).
- * A chaque arc est associé une valeur numérique, qui représente soit une durée d'opération, soit un délai.

Exemple :

Tâche	Durée	Tâches antérieures
A	2	_____
B	4	_____
C	4	A
D	5	A, B
E	6	C, D



Remarques :

- La date de début au plus tôt d'une tâche est obtenue en cumulant la durée des tâches qui précèdent sur la séquence la plus longue. On initialise le sommet DEBUT avec une date au plus Tôt = 0.

Date au plus tôt de la tâche $j = \text{Max}(\text{date au plus tôt de } i + \text{Durée } T_{i,j})$ pour tous les prédécesseurs i de j .

- Les dates au plus tard : dates à laquelle doivent être exécutées les tâches sans remettre en cause la durée optimale de fin du projet.

On initialise à l'étape terminale, le dernier sommet par la date au plus tard = date au plus tôt. Date au plus tard $i = \text{Min}(\text{Date au plus tard de } j - \text{durée } T_{i,j})$ pour tous les successeurs j de i .

- On peut alors déterminer le **chemin critique** : succession de tâches sur le chemin le

plus long au sens des durées. Pour toutes les tâches du chemin critique, les dates au plus tôt et au plus tard coïncident. Chemin critique : B, D, E.

La marge totale.

La marge totale sur une tâche est le retard que l'on peut prendre dans la réalisation de cette tâche sans retarder l'ensemble du projet.

Elle est obtenue, en faisant pour chaque tâche, la différence entre la date au plus tard de début d'une tâche et la date au plus tôt.

$$\text{Marge totale sur A} = (2-0)=2$$

La marge libre.

La marge libre sur une tâche est le retard que l'on peut prendre dans la réalisation d'une tâche sans retarder la date de début au plus tôt de tout autre tâche qui suit.

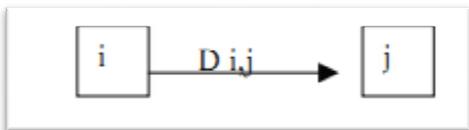
Si on appelle :

T_j : la date au plus tôt de la tâche qui suit la tâche considérée.

T_i : La date de début au plus tôt de la tâche i .

D_i : La durée de la tâche i .

$$\text{Marge Libre de } i = \text{Min} (T_j - T_i - D_{i,j}) \text{ pour tous les successeurs } j \text{ de } i.$$



$$\text{Marge libre sur A} = 2 - 0 - 2 = 0$$

$$\text{Marge libre sur C} = 9 - 2 - 4 = 3$$

3.3.3 - Le lancement

Si l'ordonnancement établit les programmes d'exécution des ordres de fabrication et prépare tout ce qui est nécessaire à leur enclenchement, le lancement quant à lui déclenche l'action au moment fixé.

Le lancement de la fabrication consiste à transmettre les ordres aux exécutant et suivre leur exécution, c'est-à-dire confronter en permanence les résultats aux prévisions dans le but de redresser les anomalies.

Il comprend les documents suivants:

- fiche récapitulative de mise en fabrication;
- bon de travail;
- fiche d'instruction de fabrication;

- bordereau de sortie de matière d'œuvre
- bordereau d'entrée des pièces finie au magasin;
- fiche suiveuse