



P r o d u c t i o n i n d u s t r i e l l e
a u t o m a t i s é e e t i n f o r m a t i s é e

Chapitre 5

Organisation et optimisation de la production

Ce chapitre 5 est le dernier chapitre à s'intéresser à l'ensemble du système de production car dans les trois suivants, on ne s'intéressera plus qu'à l'atelier de fabrication et au fonctionnement des systèmes qui y sont mis en œuvre. Il est en effet dédié à ce qui constitue l'obsession de tout responsable de la production : son optimisation. Il passe par conséquent en revue les différentes conditions à réunir pour optimiser la production d'une industrie manufacturière. Optimiser, ça commence par la standardisation aussi bien des composants des produits que des outils et procédés de fabrication. Optimiser, ça passe ensuite par beaucoup d'anticipation dans la planification et la gestion de la production. Optimiser, ça passe enfin par une maîtrise, autant dans l'instant que dans le temps, de la qualité des produits.

Organisation et optimisation de la production

Table des matières du chapitre 5

1. Optimisation par standardisation de la production (flexibilité).....	4
1.1. Dualité produit-procédé & conception généralisée.....	4
1.2. Standardisation des pièces & des nomenclatures.....	6
1.3. Standardisation des outils & des gammes.....	6
1.4. Organisation de la production par groupements analogiques	7
2. Optimisation par planification de la production (productivité)	8
2.1. Conduite (temps réel) & planification (temps différé)	9
2.2. Planification de la production dans le temps	10
2.3. Gestion des données techniques & économiques	14
3. Optimisation par gestion de la production (productivité).....	16
3.1. Gestion par le délai de livraison : Distribution Requirements Planning (DRP)	17
3.2. Gestion par la prévision : Materials Requirements Planning (MRP)	18
3.3. Gestion par la demande : double-flux de produits & d'étiquettes (Kanban)	20
4. Optimisation par « qualification » de la production (qualité)	23
4.1. Qualité orientée-client.....	24
4.2. Qualité orientée-production	29
Conclusion	35

1. Optimisation par standardisation de la production (flexibilité)

La première manière d'optimiser une production industrielle d'objets manufacturés consiste tout simplement à ne pas refaire ce qui a été déjà fait ; c'est-à-dire, en d'autres termes, à réutiliser ce qui peut l'être plutôt que de recommencer à concevoir, réaliser ou mettre en œuvre la même chose ou presque. Elle consiste donc à faire en sorte qu'une même solution résolve des problèmes différents, qu'une même réponse s'applique à des questions différentes. Aussi convient-il, lors de l'élaboration de la solution, lors de la formulation de la réponse, qu'on regarde bien au-delà du seul problème ou de la seule question posée. Cette exigence a une conséquence absolument capitale : on ne peut plus concevoir un objet sans concevoir en même temps la manière de le fabriquer.

1.1. Dualité produit-procédé & conception généralisée

Dès le chapitre 2¹, on a veillé à bien distinguer l'objet fabriqué de l'outil fabricant ou, ce qui revient presque au même, le produit fabriqué du procédé de fabrication. On a singulièrement montré que la mécanisation des tâches a d'abord séparé ce qu'a ensuite réunis l'automatisation des tâches : la conception du produit et la conception du procédé.

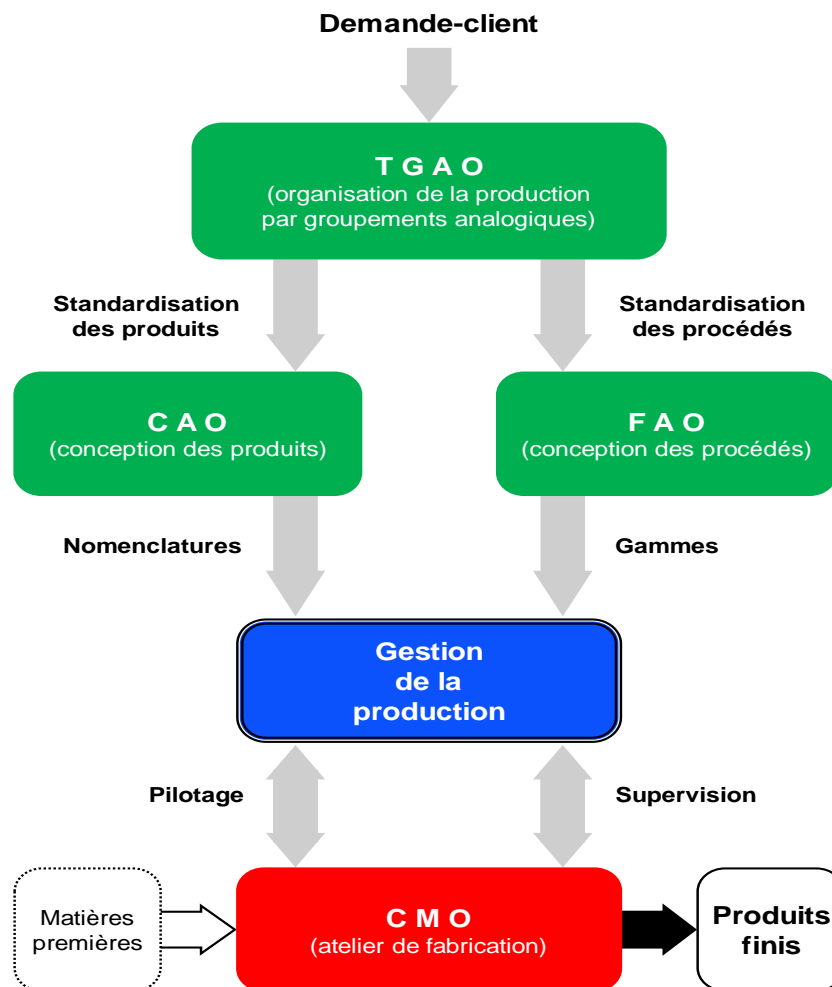
Aujourd'hui s'est imposée la notion de **conception généralisée** qui indique que la conception du procédé a bien été prise en compte lors de la conception du produit ; ou encore que la manière de faire doit pouvoir à tout moment modifier ce qui a été décidé de faire.

Mais cela ne veut pas dire que conception du produit et conception du procédé sont simultanées. Si la conception du produit a toujours un léger temps d'avance sur la conception du procédé, elles demeurent l'une et l'autre corrélées au point que la seconde doit pouvoir à tout moment remettre en cause la première. En d'autres termes, il ne faut pas que le traitement des données techniques liées à la conception du procédé n'intervienne qu'après la prise des décisions liées à la conception du produit. Car si tel était le cas, il ne s'agirait que d'un post-traitement qui, bien que fort utile, interdirait que la conception du procédé puisse rejaillir sur celle du produit.

En réalité, c'est surtout le recours à la CAO et à la FAO et, on va le voir dans ce qui suit, à la TGAO qui poussent à l'instauration d'une conception généralisée du produit et du procédé. Le recours à l'ordinateur pour traiter des informations et assister la prise de décisions rend possible cette conception généralisée. Celle-ci permet de déplacer vers l'amont les compromis de synthèse entre les exigences du marché, s'agissant du produit, et celles de la fabrication, s'agissant du procédé. En d'autres termes, il y

¹ Voir chapitre 2 : *Informatique et production*, le paragraphe 1.2. : *De la conception du produit à la conception du procédé*

a conception généralisée si sont effacées les frontières entre conception du produit et conception du procédé, entre bureau d'études et bureau des méthodes, sans que soient pour autant confondues ces deux fonctions. Et ce qui va définitivement consacrer l'émergence de la conception généralisée, c'est la standardisation à la fois des produits et de procédés ; c'est l'avènement d'une nouvelle application de l'informatique dans la production industrielle : la **TGAO** ou **Technologie de Groupes assistée par Ordinateur** ; c'est-à-dire l'organisation, avec l'aide de l'ordinateur, de la production par groupements analogiques.



Grâce à la TGAO, produit et procédé peuvent faire l'objet d'une double standardisation :

- **standardisation des pièces et des nomenclatures** s'agissant du produit,
- **standardisation des outils et des gammes** de fabrication s'agissant du procédé.

Réalisée avec l'aide de l'ordinateur, cette double standardisation revient à organiser la production par groupements analogiques. Cette organisation permet d'optimiser l'ensemble des ressources et moyens mobilisés pour produire depuis l'analyse de la demande-client jusqu'à la livraison du produit fini.

Examinons successivement ces deux types de standardisation.

1.2. Standardisation des pièces & des nomenclatures

Standardiser des produits, c'est faire en sorte qu'il y ait un maximum d'éléments communs (pièces, composants, éléments constitutifs, etc.) entre les différentes nomenclatures de ces produits.

Les standards de produits sont définis et utilisés par le bureau d'études lors de la définition des produits. Suivant des critères géométriques et techniques, le technicien établit un codage de la pièce qu'il doit dessiner. Il trouve alors, si elle existe dans la base de données, la pièce déjà dessinée la plus proche de celle qu'il conçoit, la modifie pour créer son produit. Cette démarche apporte au moins trois avantages :

- **la rapidité d'exécution du dessin et des documents de fabrication associés,**
- **la sûreté des choix de solutions constructives,**
- **la capitalisation de l'expérience de l'entreprise et un gain de productivité.**

En contrepartie, cette standardisation ne peut s'appliquer efficacement qu'à des familles de produits de nature comparable et constituant une offre commerciale relativement stable ; par exemple, une gamme de meubles construits à partir d'éléments communs en nombre aussi nombreux que possible. Et le système n'est véritablement efficace que lorsque la base de données est relativement importante ; ce qui aura nécessité un long travail de saisie des dessins des pièces existantes et une mise en œuvre très progressive de l'application informatique correspondante.

1.3. Standardisation des outils & des gammes

Standardiser des procédés, c'est faire en sorte qu'il y ait un maximum d'éléments communs (outils, gestes physiques, machines, étapes de fabrication, etc.) entre les gammes de fabrication de ces différents produits.

Les standards de procédés sont pertinents dès que des produits relèvent de processus mis en œuvre régulièrement dans l'atelier. La standardisation des procédés permet alors de :

- **réduire les temps de préparation** en tenant compte des réalisations précédentes,
- **répondre rapidement à toute demande de devis** en allant chercher les temps et les coûts de la gamme correspondante,
- **réduire le nombre des outils,**
- **uniformiser le parc des machines,**
- **optimiser l'organisation de l'atelier.**

1.4. Organisation de la production par groupements analogiques

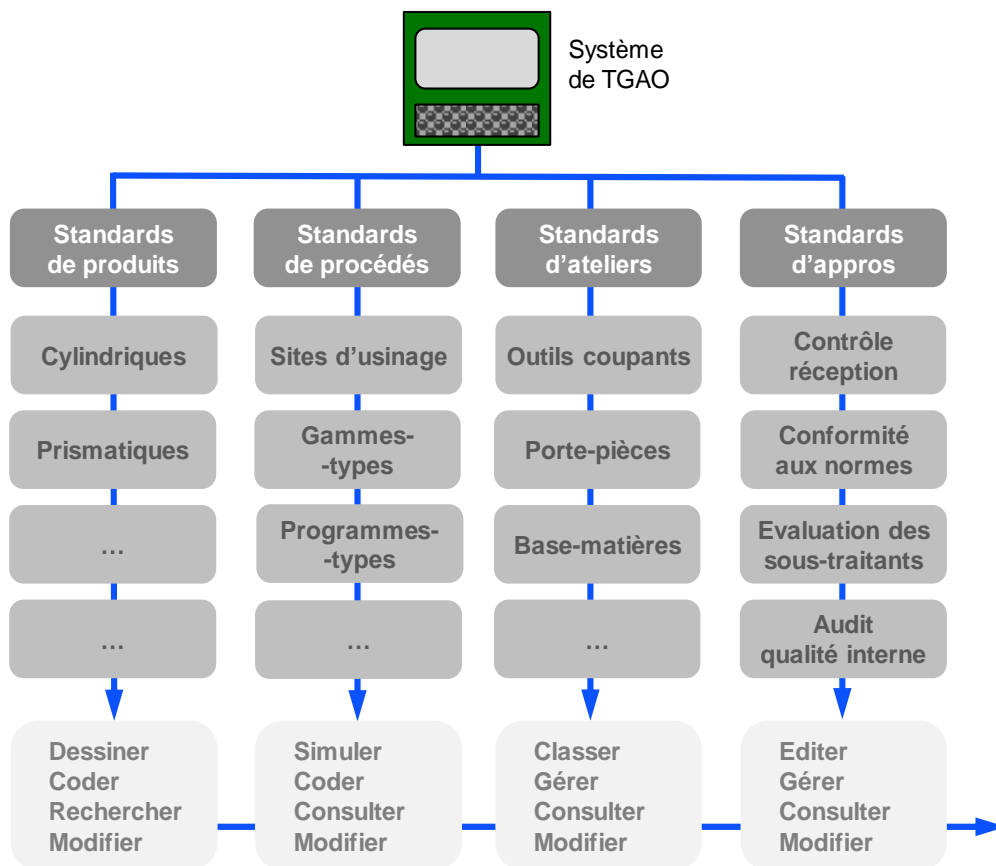
Organiser la production par groupements analogiques, c'est, lors de la conception simultanée des produits et des procédés, standardiser simultanément les nomenclatures et les gammes. Il s'agit, pour ce faire, de **repérer des analogies** au sein :

- des **nomenclatures** de différents produits ; par exemple, des analogies de formes entre des pièces mécaniques,
- des **gammes de fabrication** de ces mêmes produits ; par exemple, des analogies de nature entre des gestes.

Puis, c'est croiser ces deux types d'analogies pour accroître encore la standardisation à la fois des produits et des procédés.

La double standardisation des produits et des procédés participe à la mise au point de l'organisation globale de l'atelier. Ce besoin, qui n'apparaît pas toujours comme le plus important au regard des questions techniques, est fondamental. Il est par exemple inutile de passer du temps à optimiser un programme de commande numérique si le matériau usiné n'est pas conforme aux prescriptions initiales.

Le schéma suivant donne une illustration de ce qu'est la standardisation de la production de pièces usinées.



2. Optimisation par planification de la production (productivité)

La seconde manière d'optimiser une production industrielle d'objets manufacturés consiste tout simplement à prévoir ce que l'on va devoir faire ; ou, en d'autres termes, à anticiper le plus possible sur les demandes du marché plutôt que d'attendre la confirmation des commandes des clients. Elle consiste donc à faire un usage du temps aussi intelligent que possible.

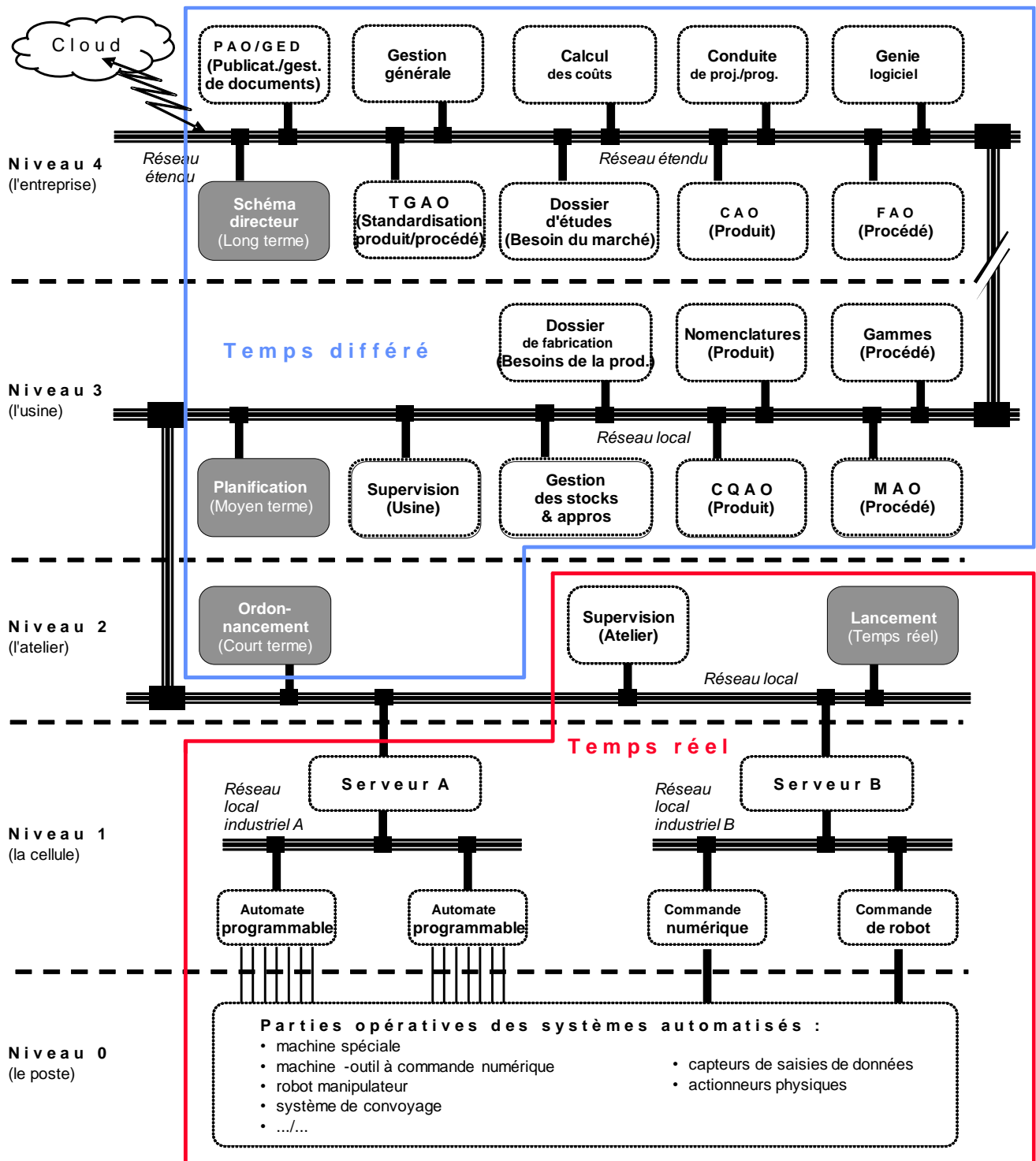
Il convient donc tout d'abord de rappeler que, s'agissant de la façon d'utiliser le temps, il existe deux grands modes d'action bien distincts : la conduite d'actions en temps réel et celle en temps différé. La prévision de ce que l'on doit faire ou l'anticipation sur ce que l'on va faire ne peut évidemment porter que sur la conduite d'actions en temps différé.

Il faut en effet bien ne pas oublier deux évidences dont les conséquences sont surdéterminantes dans la façon de conduire des actions. La première est tout simplement que certaines actions demandent plus de temps que d'autres pour être menées à bien. Et, conséquence de la première et tout aussi simplement, la seconde est que tout n'est pas urgent ou du moins pas au même niveau d'urgence. La répartition dans le temps de ce qui est à faire reste à jamais la meilleure façon d'agir.

Il s'agit donc ici d'apprendre à se donner des niveaux différents d'échéance et à planifier à long, moyen et court terme une production industrielle. Il s'agit par conséquent de déterminer d'une part quelles sont les données techniques, économiques et commerciales nécessaires pour gérer dans le temps une production industrielle et d'autre part ce qui est à faire à ces différentes échéances.

2.1. Conduite (temps réel) & planification (temps différé)

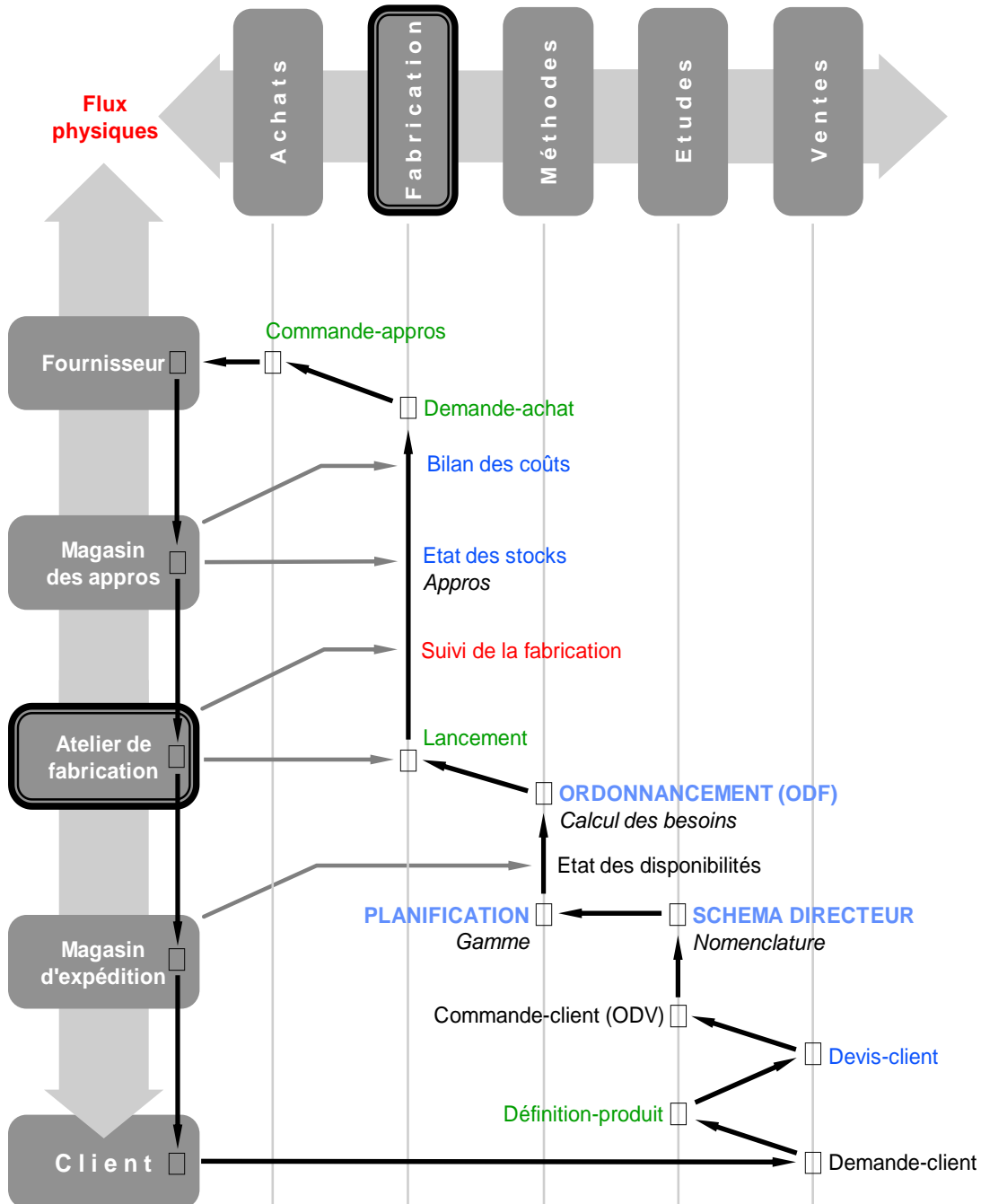
Le schéma ci-dessous fait bien apparaître les deux domaines du **temps réel** et du **temps différé**. Le domaine du temps réel recouvre les 3 niveaux les moins élevés de l'architecture sur lesquels s'effectue la conduite des postes de travail et le domaine du temps différé recouvre les 3 niveaux les plus élevés de l'architecture sur lesquels se réalisent la planification de la production.



2.2. Planification de la production dans le temps

Le schéma suivant fait apparaître les 3 niveaux de planification d'une production. Ce sont :

- le **schéma directeur** de la production à long terme,
- la **planification** de la production à moyen terme,
- l'**ordonnancement** de la production à court terme.



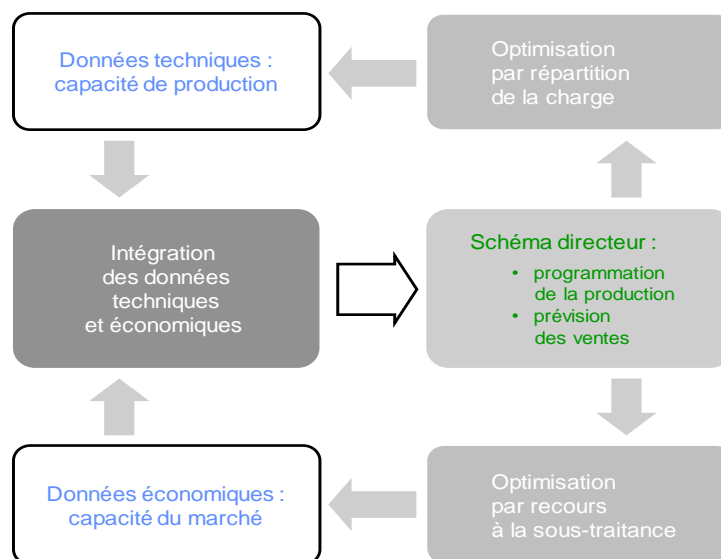
Ce schéma décrit précisément le cycle des opérations qui se succèdent entre la prise en compte d'une demande-client et la livraison de sa commande. Gérer une production, c'est, en effet, répondre à des questions telles que celles énoncées ci-dessous.

- Qu'est-ce qui doit être fabriqué, quelle gamme de produits, quel type de pièces, quelles références, avec quels composants, avec quels matériaux ?
Ce qui permet de savoir exactement ce que l'on doit livrer.
- Combien de pièces doit-on livrer, en combien de variantes, avec quelle option ?
Ce qui permet, compte tenu de l'état des stocks, de savoir quelle quantité fabriquer.
- Quand doit-on livrer ces produits, à quelle cadence ?
Ce qui permet, à partir de la connaissance des temps de fabrication, de déterminer un planning prévisionnel, de vérifier la capacité de l'atelier à répondre à la demande et de prévoir les approvisionnements et moyens de production nécessaires.
- Comment doit-on planifier la production, comment disposer l'atelier pour intégrer cette demande dans un programme de production déjà connu tout en respectant les délais ?
Ce qui permet de savoir si on peut intégrer des aléas prévisibles et de savoir comment s'y prendre pour être prêt à y remédier.

Toutes les informations et les décisions qui permettent de répartir une production dans le temps ne sont, en effet, pas traitées au même niveau. D'où la planification à long, moyen et court terme dont il convient d'examiner pas à pas ce qu'elle signifie.

Schéma directeur (long terme) de la production

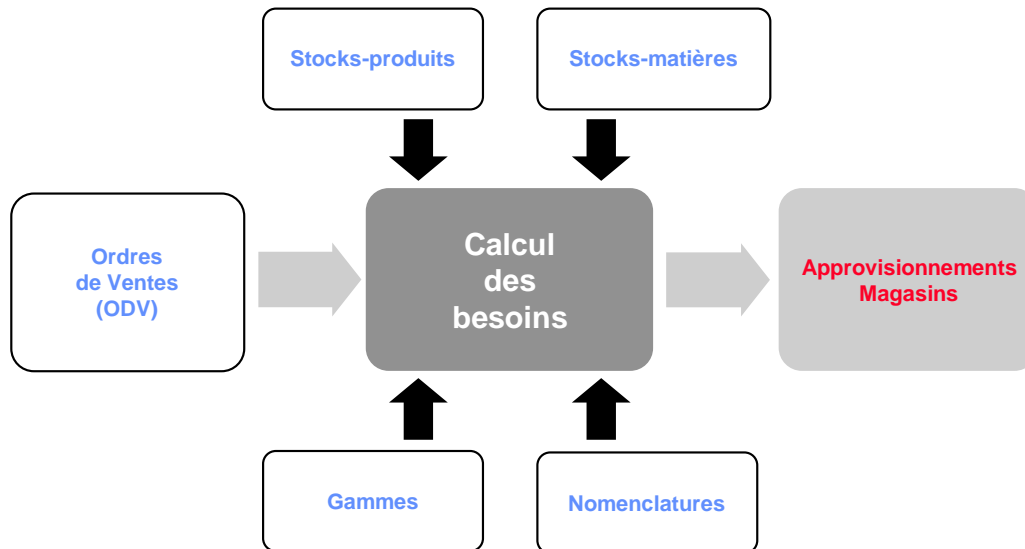
A partir d'une analyse permanente du marché et d'une évaluation permanente de la capacité de production de l'entreprise, les responsables du service commercial et ceux de la production établissent le schéma directeur de production. Celui-ci intègre des données à la fois économiques et techniques et se traduit par une prévision des ventes et une programmation, sur le long terme, de la production : c'est le schéma directeur.



Planification (moyen terme) de la production

Quand arrivent les demandes-clients confirmés sous forme d'ordre de vente (ODV), les techniciens du bureau d'études et ceux du bureau des méthodes travaillent ensemble à définir aussi bien les produits

que les procédés. Ils établissent donc simultanément les nomenclatures (produits) et les gammes (procédés) de fabrication. Puis, à partir de ces nomenclatures et de ces gammes, les responsables de la production calculent les besoins en tenant compte, à la fois, des stocks-produits et des stocks-matières. Ils établissent ainsi des prévisions à moyen terme : c'est la planification de la production.



Ordonnancement (court terme) de la production

Suite à cette analyse globale, l'atelier reçoit des demandes plus précises qui permettent maintenant :

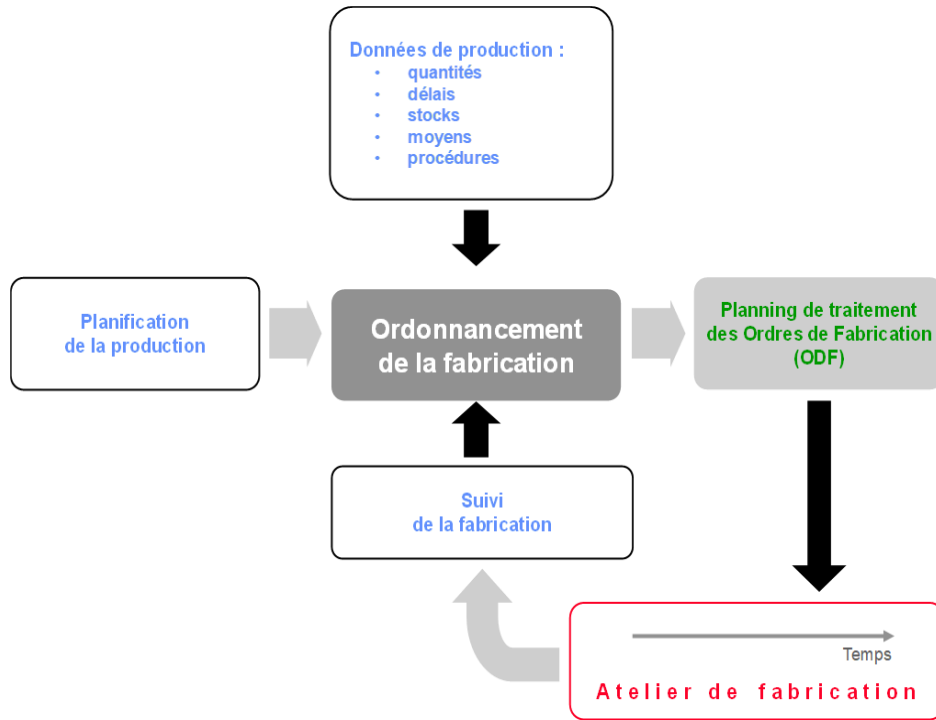
- de transformer chaque ODV (Ordre De Vente) en un ODF (Ordre De Fabrication),
- de déclencher les approvisionnements nécessaires (achats auprès de fournisseurs ou commandes à la sous-traitance),
- de déterminer les dates de début et de fin de fabrication de chaque ODF afin de tenir les délais de livraison annoncés.

C'est l'ordonnancement à court terme qui, partant de la planification (à moyen terme) de la production :

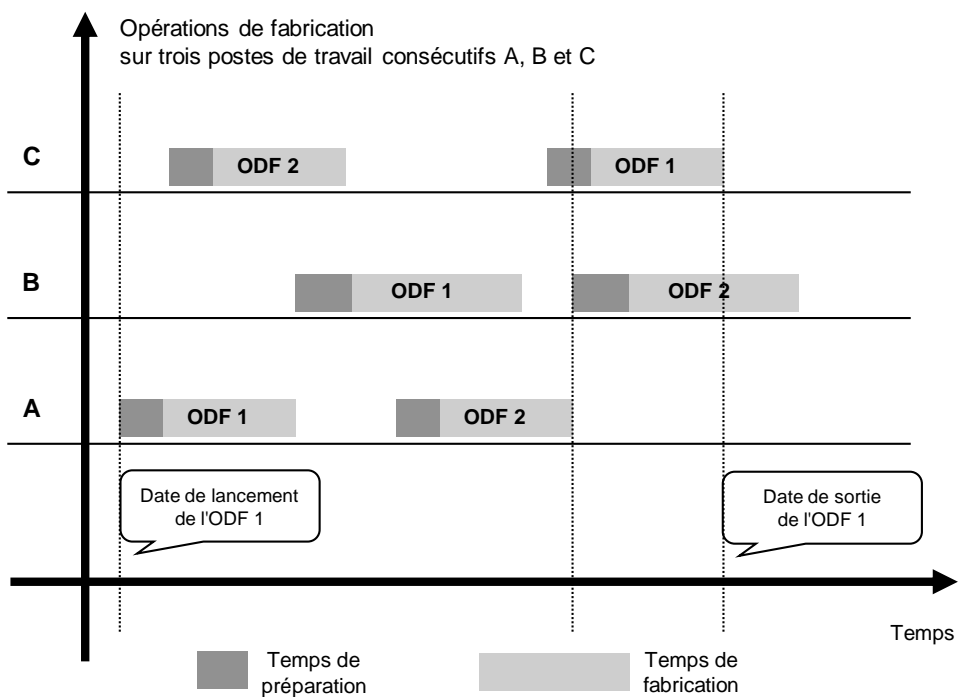
- récupère les données techniques et économiques de la production (données indispensables à l'établissement de toute planning de fabrication) ;
- édite et ventile les ODF ;
- répartit, dans le temps, la réalisation des ODF ;
- répartit, dans l'espace, les différents opérations de fabrication de chaque ODF.

C'est également l'ordonnancement à court terme qui :

- assure un suivi de la production par la vérification, à tout moment, du respect du planning prévisionnel ;
- modifie chaque jour le planning de fabrication à partir des écarts entre le prévu et le réalisé ;
- adapte le traitement des ODF aux aléas de fabrication et commerciaux rencontrés.



La répartition dans le temps des ODF et dans l'espace des différentes opérations de fabrication que comporte chaque ODF s'illustre dans le schéma ci-dessous. Cette double répartition permet d'organiser le parcours des pièces entre les postes de travail pour assurer les quantités prévues et tenir les délais.



Pour faire cette double répartition, les techniciens de l'ordonnancement utilisent généralement, un graphe basé mettant en relation la chronologie des opérations de fabrication avec les temps requis sur chaque poste pour chaque opération. Il en résulte la détermination d'une date de livraison compatible, ou non, avec la commande-client. Le modèle utilisé est appelé **diagramme de Gantt**². C'est ce diagramme qui, en regroupant toutes les opérations de fabrication du produit, permet d'intégrer tous les temps élémentaires associés respectivement à l'exécution de chacune de ces opérations et donc de déterminer le temps total requis, depuis le lancement de la fabrication, pour sortir le produit.

Ce temps total, qui dépend directement de l'organisation mise en place, peut être décomposé en des durées de deux types : les temps productifs et les temps non-productifs.

- Les **temps productifs** sont ceux au cours desquels le processus produit des pièces « bonnes ». Ce sont les seuls temps financièrement rentables. Ces sont les temps de transformation physique, les temps de transfert et les temps de contrôle.
- Les **temps non-productifs** sont ceux au cours desquels le processus de fabrication ne produit pas. Ce sont donc des temps qui coûtent au moins en temps perdu purement et simplement ou en temps passé à préparer ou réparer un poste de travail. Ces temps non-productifs eux-mêmes se répartissent à l'intérieur des deux catégories suivantes :
 - les **temps de réglage ou changement de série** que l'on peut diminuer par l'application de méthodes particulières relevant de la TGAO ;
 - les **temps d'arrêts** dus aux aléas du système de production (pannes, rupture d'approvisionnement des matières, etc.) que l'on cherche à diminuer par une politique de *zéro panne*.

La diminution des temps non-productifs reste un gisement réel mais limité de gains de productivité.

2.3. Gestion des données techniques & économiques

On appelle données de production, l'ensemble des informations nécessaires à la gestion d'un atelier. Ces données se répartissent en deux groupes : les données techniques et les données économiques.

Les **données techniques** regroupent :

- les données relatives aux produits (nomenclatures, dessins, familles de pièces, etc.) qu'ils soient fabriqués, assemblés ou sous-traités ;
- les données relatives aux procédés (gammes, spécifications, programmes de pilotage, etc.) qu'ils soient manuels, mécanisés ou automatisés, le taux d'occupation des machines, la disponibilité des personnes, etc.

² Du nom d'un ingénieur américain spécialiste de l'organisation

Les **données économiques** regroupent :

- les ODF et ODV correspondants,
- les quantités à livrer et les dates de livraison prévues,
- les délais d'approvisionnement des matières ou composants des produit,
- les stocks-matières et stocks-produits au fur et à mesure de la fabrication.

Le technicien d'ordonnancement est donc amené à maîtriser un très grand nombre d'informations et ne pourra être efficace que si elles sont exactes à tout instant, c'est-à-dire actualisées en permanence.

3. Optimisation par gestion de la production (productivité)

On vient de voir, dans ce qui précède, que produire passe par la conduite d'opérations à la fois nombreuses et de nature très différente. Ces multiples opérations relèvent de logiques distinctes et exigent des délais d'exécution qui vont de l'instant à plusieurs semaines. On a donc vu que produire passe, non seulement par une répartition dans le temps de tout ce qui est à faire, mais surtout par le déclenchement au bon moment de chacune des opérations à exécuter.

On a vu également que produire conduit à renseigner et à traiter un nombre considérable de données techniques et économiques. On comprend donc aisément qu'il n'y a pas de production industrielle possible sans une authentique gestion de cette production, c'est-à-dire sans disposer de très puissants outils informatisés, voire d'authentiques méthodes de gestion de cette production.

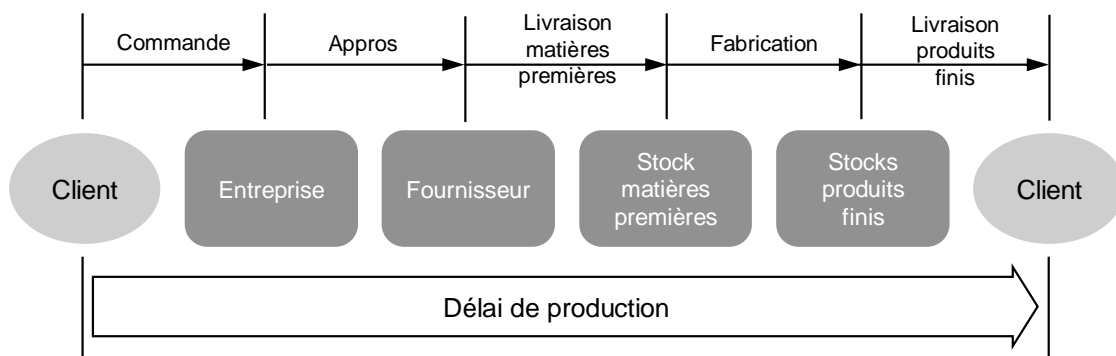
On va voir que ces outils et méthodes informatisés sont de trois types qui tous dépendent fondamentalement du niveau de stocks de matières premières et de produits finis.

- Ce sont d'abord ceux qui adaptent le niveau des stocks, tant de matières premières que de produits finis, en fonction des délais de livraison souhaités par les clients ; c'est la méthode *DRP* ou *Distribution Requirements Planning*.
- Ce sont ensuite ceux qui acceptent encore l'existence de stocks de matières premières et de produits finis, mais les maintiennent au niveau le plus faible possible : c'est la méthode *MRP* ou *Materials Requirements Planning* ;
- Ce sont enfin ceux qui s'interdisent de bénéficier de stocks, ni de matières premières, ni de produits finis, et qui ont recours à la méthode du juste-à-temps ; c'est la méthode *Kanban*.

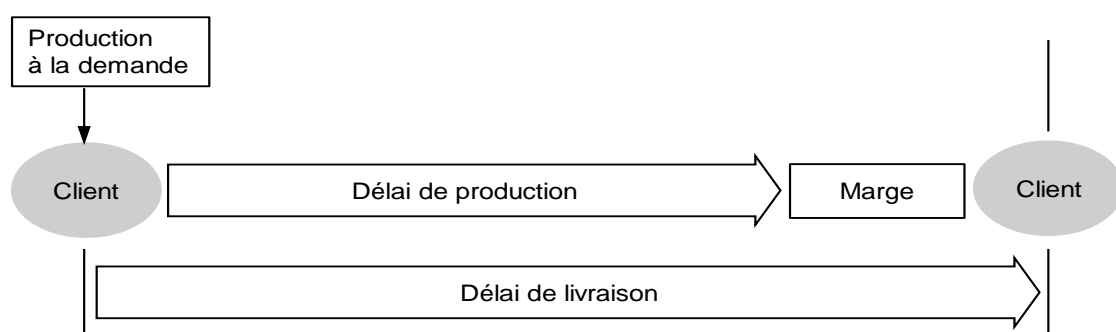
3.1. Gestion par le délai de livraison : *Distribution Requirements Planning (DRP)*

On appelle temps de production le temps total écoulé entre la demande explicite du client (la commande) et la date effective de sortie (la livraison) des produits. Comme l'indique le schéma ci-dessous, ce laps de temps se décompose en :

- un temps de **prise en compte et de transmission de la commande** entre le service commercial et le service de production du fournisseur ;
- un temps d'**approvisionnement des matières premières et des composants** nécessaires au fournisseur pour répondre à la demande ;
- un temps de **livraison de ces matières premières et de ces composants** ; ce qui, dans le monde industriel, peut être très long car le fournisseur a exactement les mêmes problèmes à résoudre que l'entreprise demandeuse ;
- un temps de **fabrication du produit**, correspondant au temps passé dans l'atelier en opérations d'usinage, d'assemblage, etc., mais aussi en attentes ;
- un temps de **livraison du produit fini**, correspondant au délai entre le départ de l'entreprise et l'arrivée chez le client.



Si le temps de production est plus petit que le temps de livraison accepté par le client, on peut attendre la commande pour produire, c'est la **production à la commande** encore appelée **production au délai de livraison**.



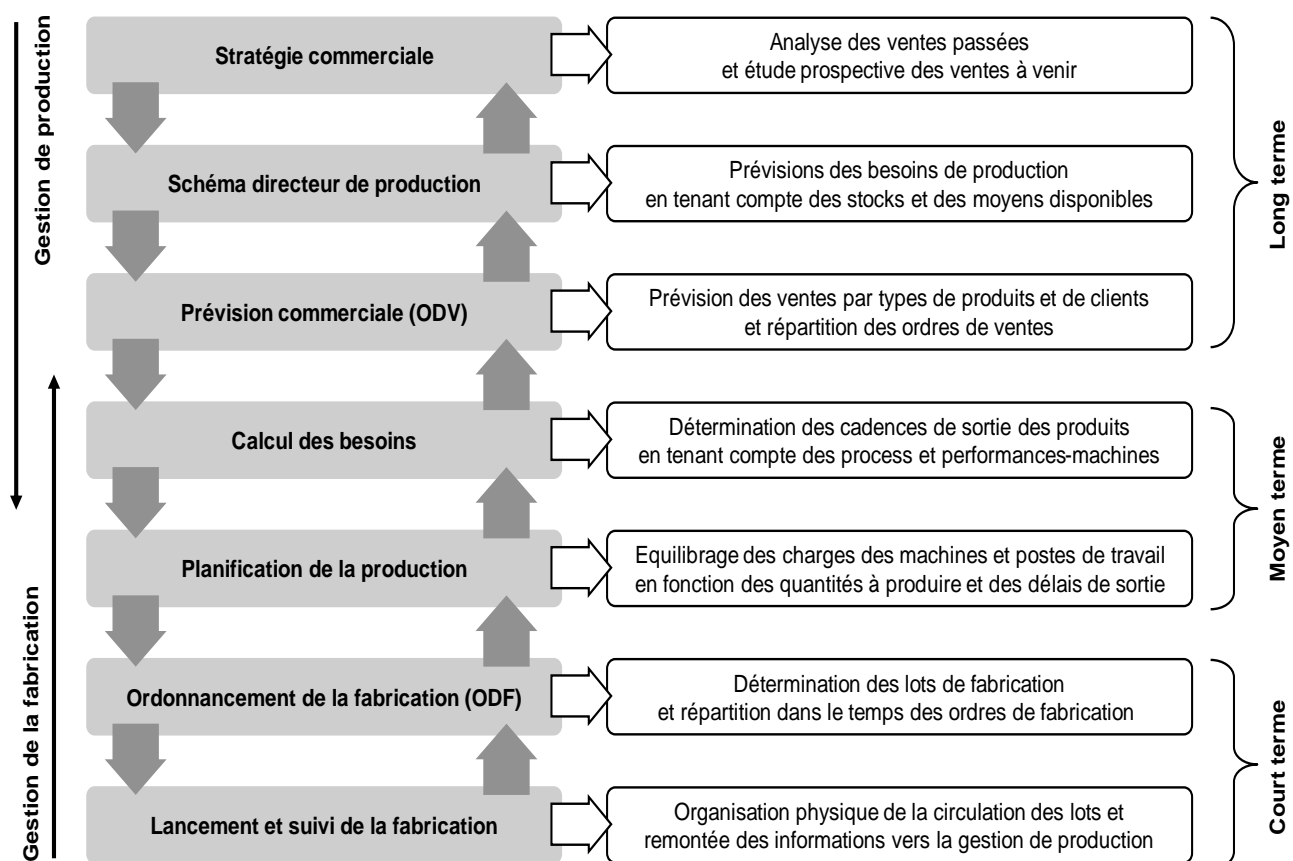
3.2. Gestion par la prévision : *Materials Requirements Planning (MRP)*

Ce type de mode de gestion a été mis au point aux États-Unis sous le nom de *Materials Requirements Planning (MRP)*. Il est utilisé dans les entreprises fabriquant, à grande échelle, des produits complexes.

Il s'agit d'anticiper les demandes réelles des clients et de produire avec des stocks aussi faibles que possible tant en matières premières, en produits semi-finis qu'en produits finis avant livraison. Ce mode de gestion repose sur un ajustement permanent entre le planning de production et les prévisions commerciales ; elles-mêmes actualisées à tout moment.

La méthode MRP se décline sur les trois niveaux de gestion déclinés précédemment, le long, le moyen et le court terme. A partir d'une analyse permanente du marché, des ventes antérieures et d'études prospectives, est établi **le schéma directeur** de la production à long terme.

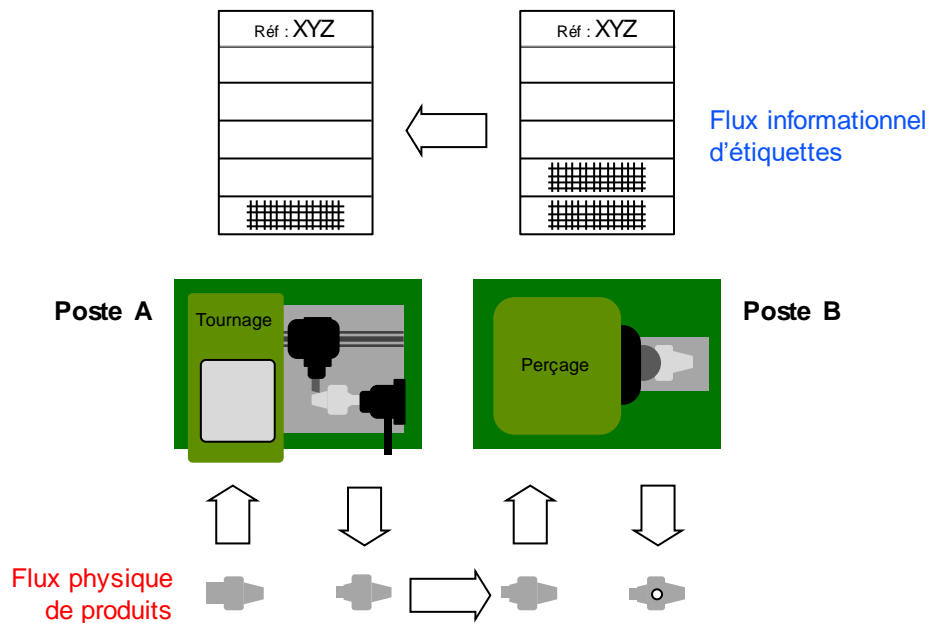
Puis, à partir d'un calendrier des ODV des différents produits de l'entreprise, est établie une planification de la production à moyen terme sous la forme d'**un programme prévisionnel**. Ce programme est réactualisé plusieurs fois par an, par mois ou par semaine selon le temps total mis à sortir les produits (quelques secondes pour des boîtes d'allumettes, quelques heures pour des automobiles, quelques semaines pour des avions, etc.). Il explicite, sur le moyen terme, les objectifs du schéma directeur, il tient compte des capacités de production du site, du stock des en-cours et de celui des approvisionnements.



Enfin, à très court terme, l'organisation locale de l'atelier permet d'atteindre les objectifs résultant de la planification de la production. On retrouve alors le mode classique d'**ordonnement de la fabrication** dans l'atelier. Dès que les produits deviennent complexes, l'informatique devient incontournable pour actualiser les données, modifier les plannings de production et éditer les ODF.

3.3. Gestion par la demande : double-flux de produits & d'étiquettes (*Kanban*)

Principe et objectif de la **méthode *Kanban*** s'illustrent sur le schéma ci-dessous.



Soit un même processus industriel qui demande que B soit exécuté après A. Le schéma ci-dessus présente le principe de la double circulation des flux de produits dans un sens et d'étiquettes dans l'autre sens entre deux postes successifs A et B :

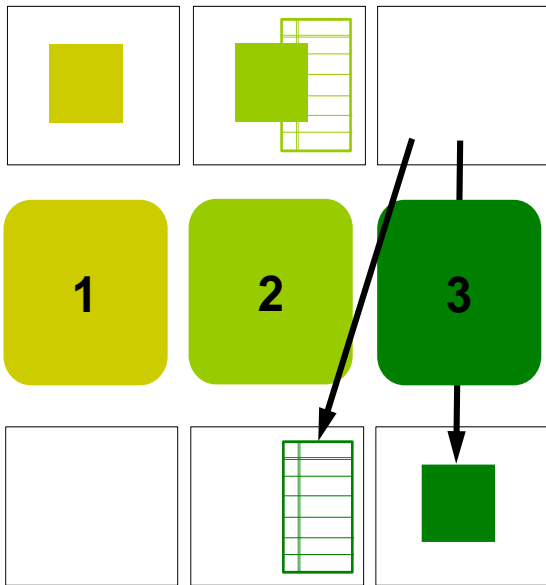
- au **flux informationnel des étiquettes** du poste aval B vers le poste amont A correspond le **flux physique des produits** du poste amont A vers le poste aval B ;
- pour qu'il puisse, le moment venu, exécuter son opération de perçage, le poste B émet une étiquette vers le poste A lui indiquant d'exécuter l'opération de tournage pour que soit ensuite exécutée sur ce même produit l'opération de perçage ;
- **c'est le principe du *juste-à-temps*** qui veut que le poste aval B déclenche l'opération du poste amont A.

Concrètement, après avoir défini la taille des lots de produits à fabriquer (en fonction de critère technico-économiques), le responsable de fabrication met en service des containers recevant ces lots aux différentes étapes de leur production. Et en fonction de la quantité de pièces à produire, il définit le nombre de ces containers qui vont circuler d'un poste à l'autre.

Il n'y a donc production que si le besoin existe et au moment où ce besoin apparaît : c'est ça, le principe du *juste -à-temps*. Ce qui évite, en cas de panne d'une machine sur la ligne, la surproduction des postes amonts qui, prisonniers de leur prévision de production, continueraient d'alimenter la machine à l'arrêt.

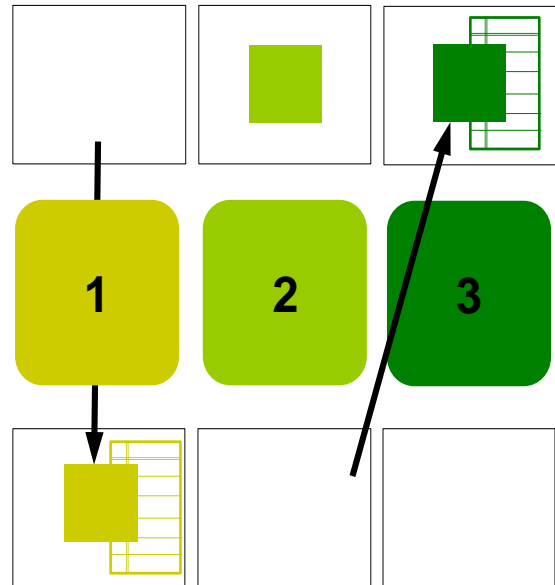
Etape 1

- Usinage du lot en attente au poste 3
- Demande d'un nouveau lot au poste 2 ...
- ... par transfert d'une étiquette du poste 3 au poste 2



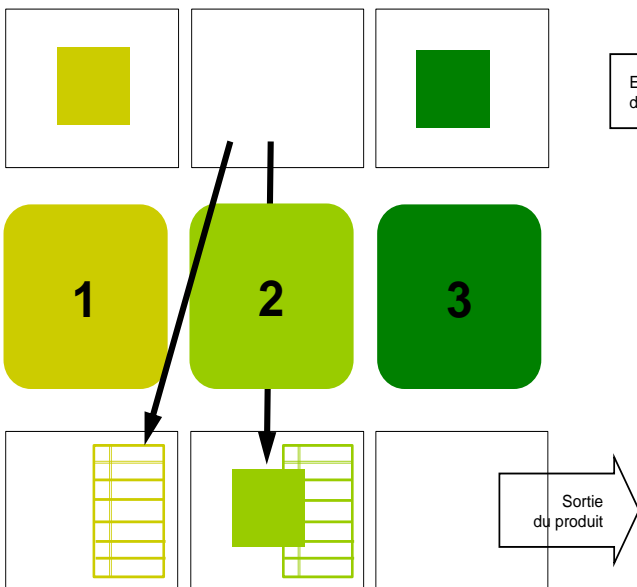
Etape 3

- Usinage du lot en attente au poste 1
- Etiquette attachée au container sorti du poste 1
- Transfert du lot du poste 2 au poste 3



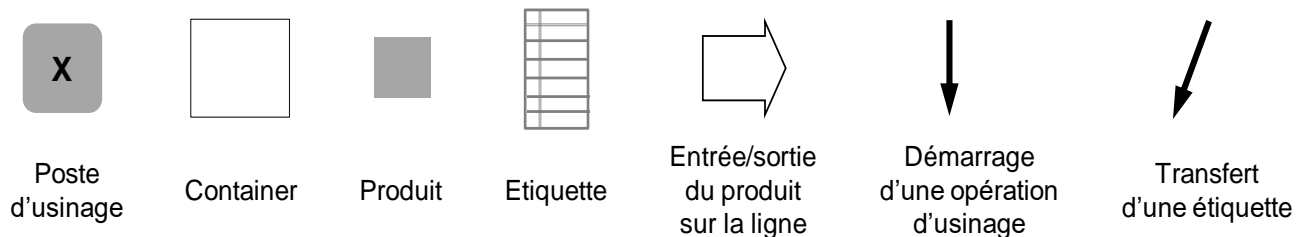
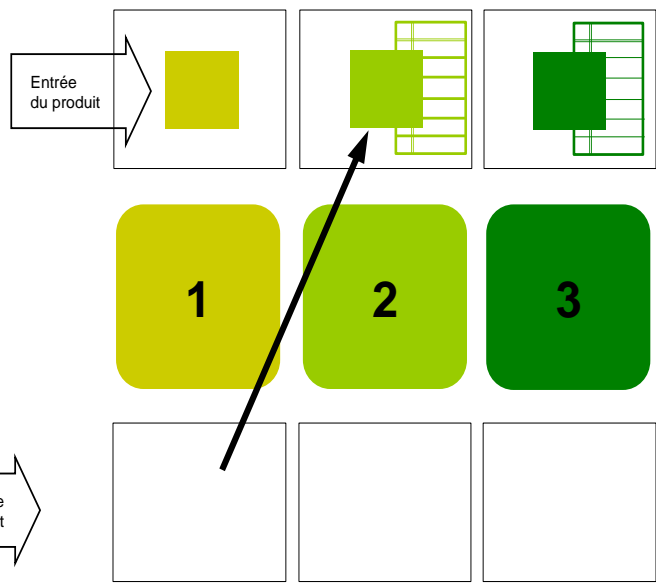
Etape 2

- Usinage du lot en attente au poste 2
- Demande d'un nouveau lot au poste 1 ...
- ... par transfert d'une étiquette du poste 2 au poste 1



Etape 4

- Transfert du lot du poste 1 au poste 2
- Réapprovisionnement du poste 1 à partir du magasin
- Retour à la situation initiale



Le schéma précédent illustre, sur trois postes consécutifs 1, 2 et 3, le principe de fonctionnement, étape après étape, de ce mode de gestion de la production et d'organisation de la fabrication. Afin de faciliter la compréhension du principe, on ne tiendra pas compte des valeurs de stocks minimum. On se placera dans une configuration où chaque poste est en attente de travail avec un lot de pièces en attente d'usinage.

Lorsqu'un poste reçoit un container plein et son étiquette, s'il sait qu'il a besoin d'un autre container pour continuer son travail, il détache l'étiquette et la renvoie au poste précédent. Lorsque le technicien de ce poste reçoit cette étiquette, il la considère comme une commande et se met à produire de quoi livrer un nouveau container. Au moment de cette livraison, il attachera l'étiquette au container, l'ensemble étant amené au poste qui l'attend. Tant que les pièces d'un container n'ont pas été usinées sur un poste donné, l'étiquette de ce container n'est pas renvoyée au poste en amont.

Si le poste suivant est trop éloigné, il faut passer par un moyen de transport. L'échange d'étiquettes se fait alors entre le poste d'usinage et un poste intermédiaire, incluant le stockage et le déplacement des containers. On parle alors de *Kanban* de transfert.

La difficulté de mise en œuvre de la méthode *Kanban* réside dans le calcul de la taille des lots par container et du nombre de containers à prévoir. Des formules empiriques existent, mais seule l'expérience permet d'ajuster ces quantités (formes des pièces définissant la taille du lot, empilages de containers matérialisant directement les niveaux des stocks et des demandes, etc.).

Dans le schéma ci-dessous figurent les éléments d'information généralement présents sur les étiquettes attachées aux containers et donc aux lots de pièces contenus dans ces containers.

Référence du fournisseur	Référence du produit	Référence du client
Dates et délais de livraison	Code de l'étiquette	Nombre quotidien de livraisons
Lieu de stockage	Nombre de pièces dans le container	Lieu de livraison

La **méthode KANBAN**³ est un mode de gestion de la production fondamentalement différent du mode prévisionnel présenté auparavant. Il s'applique facilement aux produits peu complexes, dont la fabrication est composée de phases courtes et dont le temps total de fabrication reste court.

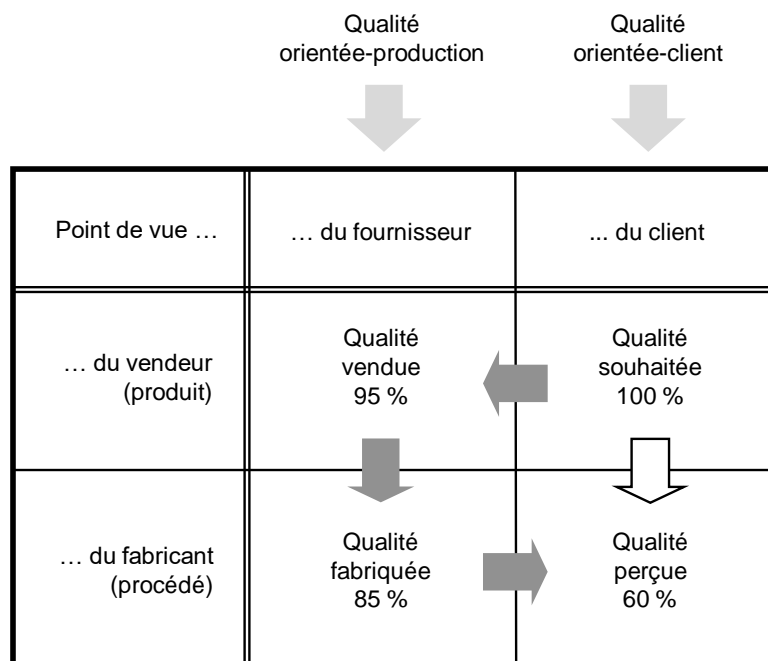
³ Kanban signifie Etiquette en japonais.

4. Optimisation par « qualification » de la production (qualité)

Après le recours à la standardisation, à la planification et à la gestion, il reste un dernier mode d'optimisation à examiner : par la « qualification », c'est-à-dire par la recherche d'un niveau donné de qualité des produits assuré par l'entreprise à ses clients.

Seront dans ce qui suit passées en revue les différents domaines possibles d'action de nature à garantir un niveau donné de qualité des produits :

- selon que la qualité privilégie les attentes du client, c'est la **qualité orientée-client** ;
- selon que la qualité privilégie les conditions de production, c'est la **qualité orientée-production**.



Le client, qui vient d'acheter le produit, espère un niveau maximum de qualité : ce sont les **100 % de la qualité souhaitée par le client**.

Or le vendeur sait que le produit qu'il vient de vendre a un niveau de qualité qui ne peut être qu'inférieur : ce sont les **95 % de la qualité vendue par le fournisseur**.

Mais le fabricant, qui peine à garantir les 95 % vendus, n'atteint en réalité qu'un niveau de qualité sensiblement inférieur : ce sont les **85 % de la qualité fabriquée par le fournisseur**.

Et pour finir, le client s'aperçoit qu'à l'usage le niveau de qualité qu'il a acheté s'avère très inférieur à ce qui a pu lui être promis : **ce sont les 60 % de la qualité perçue par le client**.

Ainsi, selon le point de vue adopté, un même produit présente des niveaux de qualité très différents, que ces niveaux soient réels ou perçus. Ces notions posées, seront passées en revue dans ce qui suit les différents domaines possibles d'action de nature à garantir un niveau donné de qualité des produits qui relèvent :

- soit de la qualité orientée-client.
- Soit de la qualité orientée-production.

4.1. Qualité orientée-client

Le niveau obtenu d'une **qualité orientée-client** dépend d'actions tournées vers les attentes du client, donc vers l'extérieur de l'entreprise. Ces actions portent à la fois :

- sur l'engagement à fournir, puis à maintenir le niveau de performances attendu par le client, c'est la **qualité gérée contractuellement** ;
- sur le soin apporté à la conception puis à la fabrication du produit, c'est la **qualité gérée industriellement**.

Ces deux modes de gestion de la qualité se déclinent ensuite selon que l'on agit :

- sur le produit, c'est la **qualité conçue**,
- sur le procédé, c'est la **qualité fabriquée**.

Qualité gérée industriellement	... contractuellement
... en agissant sur le produit	Qualité conçue	Garantie de qualité
... en agissant sur le procédé	Qualité fabriquée	Assurance-qualité

Actions sur le produit : qualité conçue et garantie de qualité

Le tableau ci-dessous illustre les combinaisons possibles des différents types de contrôles effectués sur le produit et fait apparaître succinctement les types de productions qui y sont associées.

Types de contrôle	Contrôles à la réception	Contrôles en cours de production
Contrôle à 100%	Petites séries de produits spéciaux	Produits unitaires à forte valeur ajoutée
Contrôle par échantillonnage	Grandes séries de produits standardisés	Grandes séries au procédé maîtrisé

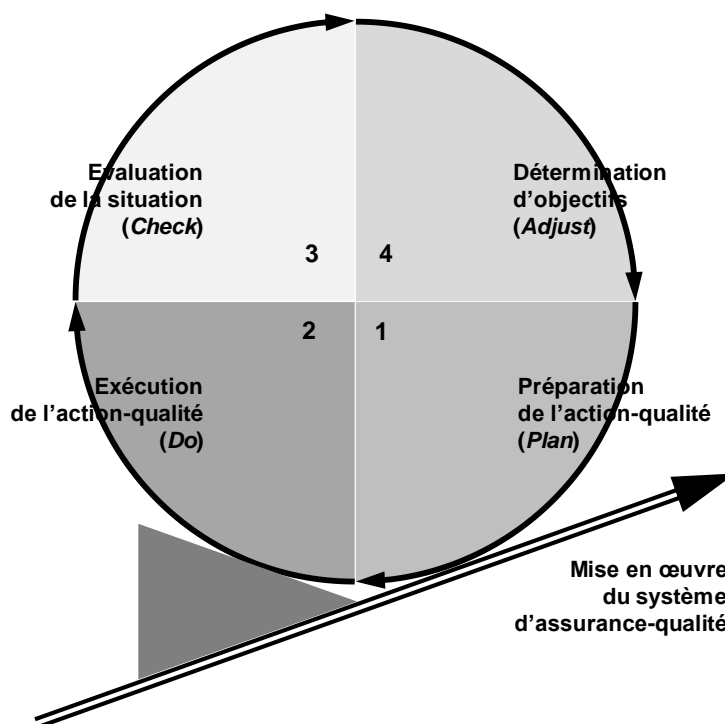
Historiquement, l'évolution des contrôles est passée de :

- **pas ou peu de contrôles**, les pièces mauvaises étant éliminées par le client : *c'est la solution basée sur une logique de production de masse ;*
- **à des contrôles de réception à 100 %**, chers, faisant apparaître les défauts, *mais ne permettant plus d'intervenir pour les corriger ;*
- **puis, à des contrôles de réception par échantillonnage**, moins coûteux, *mais exigeant des procédés plus fiables pour être significatifs ;*
- **et finalement, à un autocontrôle associé à la maîtrise complète du procédé**, *permettant de corriger préventivement le processus et de ne livrer que des pièces bonnes, au risque statistique près.*

Action sur le procédé : qualité fabriquée et assurance-qualité

En agissant non plus sur le produit, mais sur le procédé, on cherche améliorer la qualité du système de production et donc à **fabriquer la qualité** du produit ; ce qui nécessite de mettre en œuvre les cinq étapes du **système d'assurance-qualité**.

- Etape 1 : **évaluation de la situation** caractérisée par des indicateurs et des éléments mesurables (coûts, temps, défauts, retards, taux de rebuts, etc.)
- Etape 2 : **détermination d'objectifs** d'amélioration à partir du relevé des indicateurs précédents (diminution des rebuts, du nombre de pannes, des coûts, etc.)
- Etape 3 : **préparation de l'action-qualité** par un travail de groupe afin d'intégrer tous les problèmes, (techniques, organisationnels, humains, logistiques, financiers, etc.)
- Etape 4 : **exécution de l'action-qualité** amenant à une nouvelle situation
- Etape 5 : **évaluation de cette nouvelle situation** et mesure des écarts entre l'ancienne et la nouvelle afin de définir de nouveaux objectifs



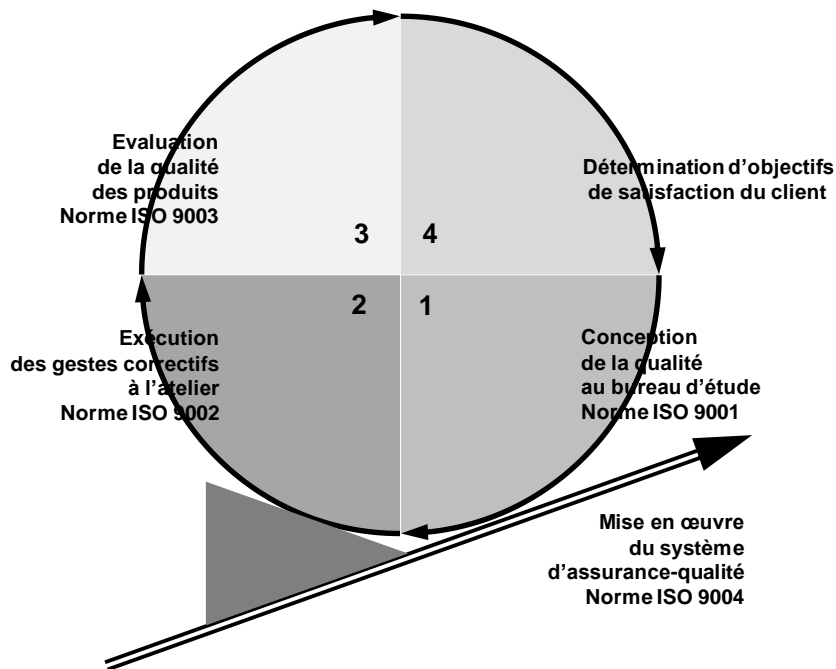
Illustre par la *roue de Deming*⁴, le **système d'assurance-qualité** est une démarche dynamique basée :

- sur l'évaluation et la correction permanentes de ce qui se fait,
- sur la mobilisation de toutes les personnes impliquées dans ce qui se fait.

⁴ du nom d'un statisticien américain spécialiste du management de la qualité

La mise en place d'un système d'assurance-qualité conduit à énoncer des règles temporaires et à définir procédures garantissant un niveau donné de qualité. L'utilisation de telles procédures entraîne généralement la rédaction d'un manuel-qualité. Il s'agit d'un livret destiné à chacune des personnes concernées dans l'ensemble du système de production pour leur rappeler ce qu'ils ont en particulier à faire et les consignes qu'ils ont singulièrement à suivre dans l'exercice de leurs fonctions.

Mais, en tant que clients, de plus en plus de donneurs d'ordres exigent de leurs fournisseurs qu'ils mettent en place un système de management de la qualité leur garantissant la **qualité totale** des produits qu'ils achètent. Aussi, devant des exigences de plus en plus fortes et de plus en plus diversifiées, différents pays ont élaboré des normes définissant ce qu'est et ce que recouvre précisément l'**assurance-qualité**.



Au niveau international, les normes ISO 9000 ont repris les travaux menés dans ces différents pays et préconisent un ensemble de dispositions requises pour mettre en œuvre un système d'assurance-qualité. Le fait d'adopter ces dispositions pour respecter ces normes présente de nombreux avantages :

- la garantie de la qualité de ses produits et de son savoir-faire,
- la confiance et une meilleure image auprès de ses clients et de ses prospects,
- l'exigence d'une organisation interne performante et s'inscrivant dans une dynamique de progrès.

La démarche **ISO 9000** est donc un ensemble complexe de normes à appliquer. Comme l'indique le schéma précédent, il se décompose en quatre séries de normes destinées à :

- la préparation et la mise en place du système qualité (norme ISO 9004),
- la connaissance des défauts par la maîtrise des contrôles requis (norme ISO 9003),
- la prévention des défauts par la maîtrise des conditions de production (norme ISO 9002),
- la prévention des défauts dès la conception des produits et des procédés (norme ISO 9001).

Ces normes demandent, pour être appliquées, de profonds changements dans l'organisation de l'entreprise, le management des hommes et la répartition des tâches ; elles sont donc toujours difficiles à mettre en place. Leur intégration se fait souvent sur de longs mois et permet à l'entreprise de demander sa certification ISO 9003, 9002 ou 9001.

4.2. Qualité orientée-production

Le niveau obtenu d'une **qualité orientée-production**, comme son nom l'indique, dépend d'actions tournées vers le système de production, donc vers l'intérieur de l'entreprise. Ces actions portent :

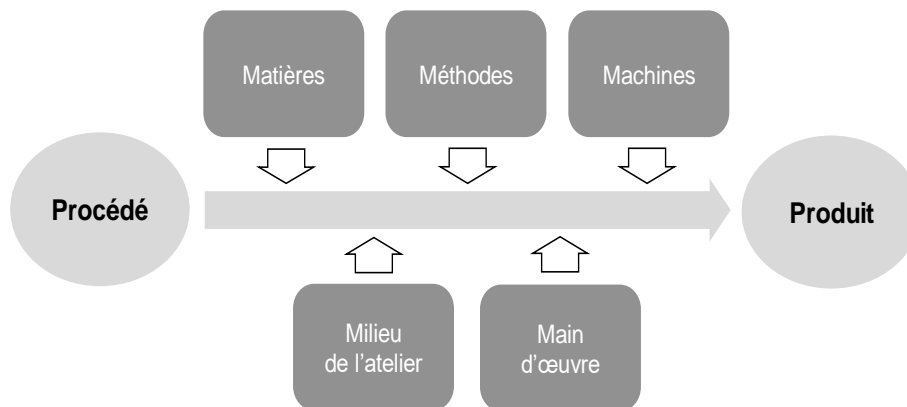
- soit sur la vérification dans l'instant des performances du produit (suivi d'actions correctives apportées au procédé de fabrication, donc à sa conception), c'est le **contrôle de conformité** ;
- soit sur la vérification dans le temps des performances à terme du produit (suivi d'actions correctives apportées au produit, donc à sa conception), c'est le **contrôle de fiabilité**.

Le tableau ci-dessous est le même que celui de la page 23 relative à la qualité orienté-client. Il substitue, à la dualité qualité gérée industriellement ou contractuellement, celle de la qualité gérée dans l'instant (t) ou dans le temps (Δt).

Qualité gérée dans l'instant (t)	... dans le temps (Δt)
... en agissant sur le produit	Contrôle de conformité	Contrôle de fiabilité
... en agissant sur le procédé	Démarche corrective	Démarche préventive

Actions sur le procédé : démarche corrective (t) et préventive (Δt)

Un procédé de fabrication se définit comme une suite d'actions de transformation de matières, se déroulant dans un certain milieu, mobilisant des équipements de production sur et autour desquels interviennent différentes personnes selon une procédure préalablement définie. Cette définition associe donc, à tout couple produit-procédé, cinq facteurs influents figurant sur le schéma ci-dessous.



La **matière** influe sur la qualité des produits car elle peut varier d'un lot à un autre et donner, pour des réglages identiques, des résultats différents.

La **méthode** utilisée dans la fabrication intègre la détermination de la gamme, le choix des machines et des outillages, les réglages des machines et les programmes de commande.

La **machine** a ses caractéristiques propres ; le niveau de qualité qu'elle produit est variable dans le temps et ses caractéristiques de précision plus ou moins élevées.

La qualité de la **main-d'œuvre** dépend de sa formation et de son implication dans l'action.

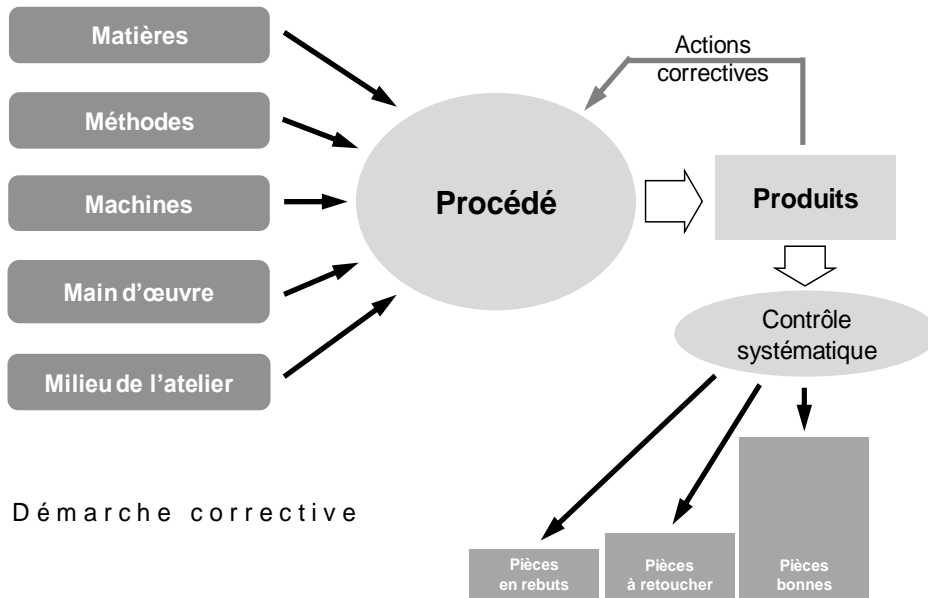
Enfin, le **milieu de l'atelier** (atmosphère, température, humidité par exemple) peut intervenir sur la précision des machines et leur fiabilité, sur les matières et leur comportement, sur les contrôles, etc.

Lorsque le technicien maîtrise l'influence et l'évolution de chacun de ces cinq facteurs, l'atelier est capable de produire de façon stable et fiable : on dit que le procédé est maîtrisé.

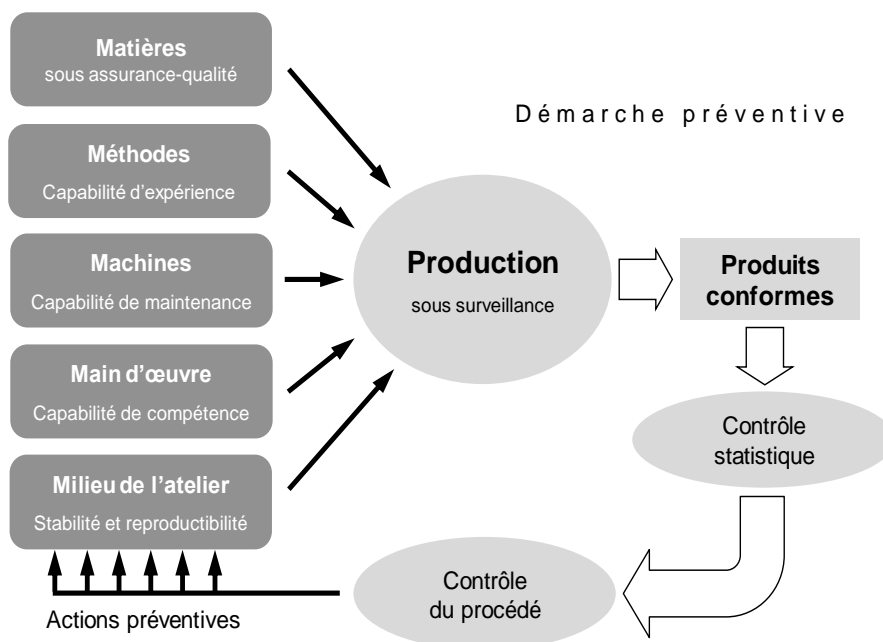
Traditionnellement, les procédés étaient conduits à partir du contrôle des pièces produites : si un défaut apparaît sur le produit contrôlé, on corrige le processus en intervenant sur les réglages. Les pièces mauvaises sont éliminées ou retouchées. Dans les deux cas, ces opérations coûtent cher :

- directement car ce sont des pièces transformées qui disparaissent,
- indirectement car ces retouches ou rebuts diminuent la productivité et augmentent les délais.

La **démarche de type correctif** est illustrée par le schéma ci-dessous. L'opérateur n'intervient pas directement sur les facteurs précédents. Il doit, après contrôle et constat des erreurs ou défauts, modifier les réglages en utilisant autant son expérience que ses connaissances. Ce principe peut se concevoir dans le cas de petites séries lorsque les opérateurs ont une grande expérience de la production. En grande série, les rebuts importants sont souvent très importants.



La **démarche de type préventif** est illustrée par le schéma ci-dessous ; elle permet de corriger les réglages avant qu'un défaut ne se produise. Mise en œuvre dans les productions de grandes séries, là où les défauts s'accumulent très vite et coûtent très cher, cette surveillance peut aussi être utilisée dans des fabrications de séries plus limitées. Après avoir connu une période de contrôle de type *barrage*, on peut privilégier aujourd'hui la prévention plutôt que la détection des défauts.



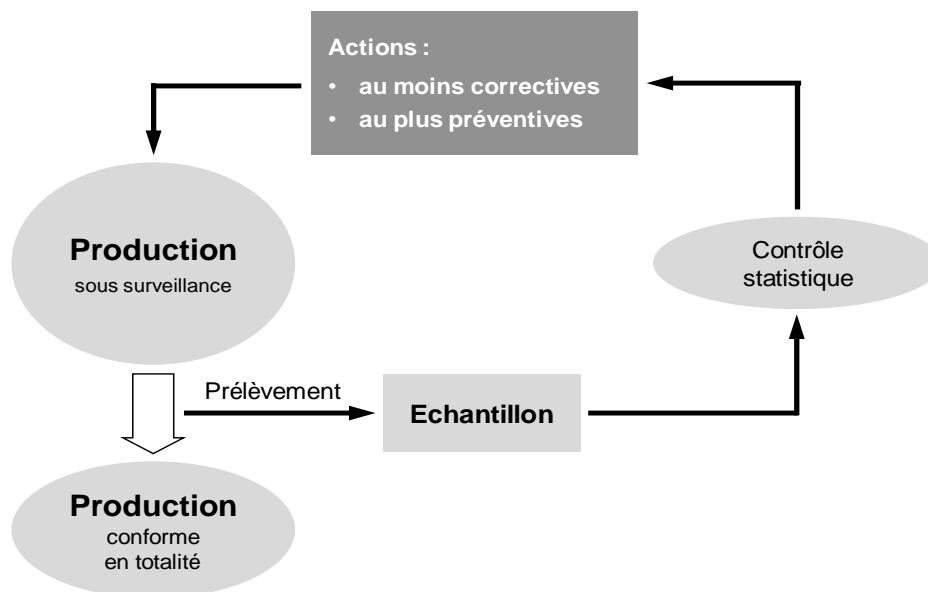
Action sur le produit : conformité (t) et fiabilité (Δt)

Le suivi statistique de production, appelé en général *Statistical Process Control (SPC)*, a pour but de prévenir l'apparition de défauts. On distingue deux types de causes (ou de dispersions) de défauts :

- les causes communes (dites aussi aléatoires) liées aux variations internes des machines,
- les causes spécifiques (dites aussi assignables) causées par des facteurs externes à la machine (milieu, matière, main-d'œuvre, méthode, etc.).

On ne peut jamais éliminer les causes communes, mais il faut en observer les effets pour savoir si elles risquent de dégrader le processus de fabrication. On peut, en revanche, essayer d'éliminer les causes spécifiques. Mais comment savoir si le processus subit ou non l'influence de l'une d'entre elles ?

Le suivi statistique de la production permet, à travers l'analyse de *fiches de contrôle*, de faire rapidement et régulièrement des *sondages* sous la forme de contrôle d'échantillons et d'en déduire l'état de santé du processus piloté. L'opérateur peut ainsi prendre les mesures, si possibles préventives, qui s'imposent pour garantir la conformité de la tout ou partie d'une production.



Fréquence d'échantillonnage

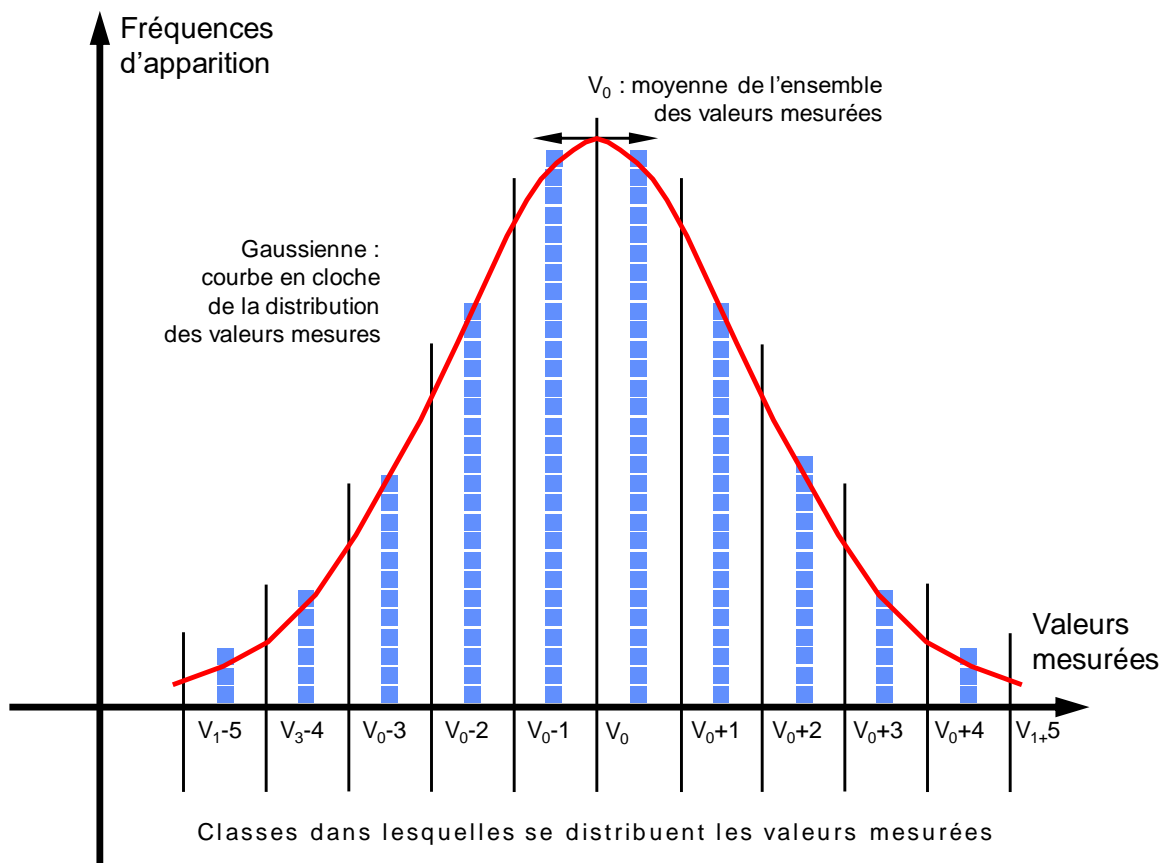
C'est le rythme de prélèvement des échantillons. C'est lui qui permet d'évaluer l'état de santé du processus. Il faut trouver un compromis entre un rythme trop rapide et un rythme trop lent. Le rythme trop rapide impose aux opérateurs un travail excessif et coûteux. Un rythme trop lent détecte peu ou pas les aléas. Il s'avère incapable de repérer, suffisamment longtemps à l'avance des dérives qui ont pu s'instaurer dans le processus. Une règle empirique indique que la fréquence d'échantillonnage doit être de 4 prélèvements entre deux réglages consécutifs de la machine. Par exemple, si un procédé est stable et nécessite un réglage de la machine toutes les quatre heures, on fera un prélèvement toutes les heures.

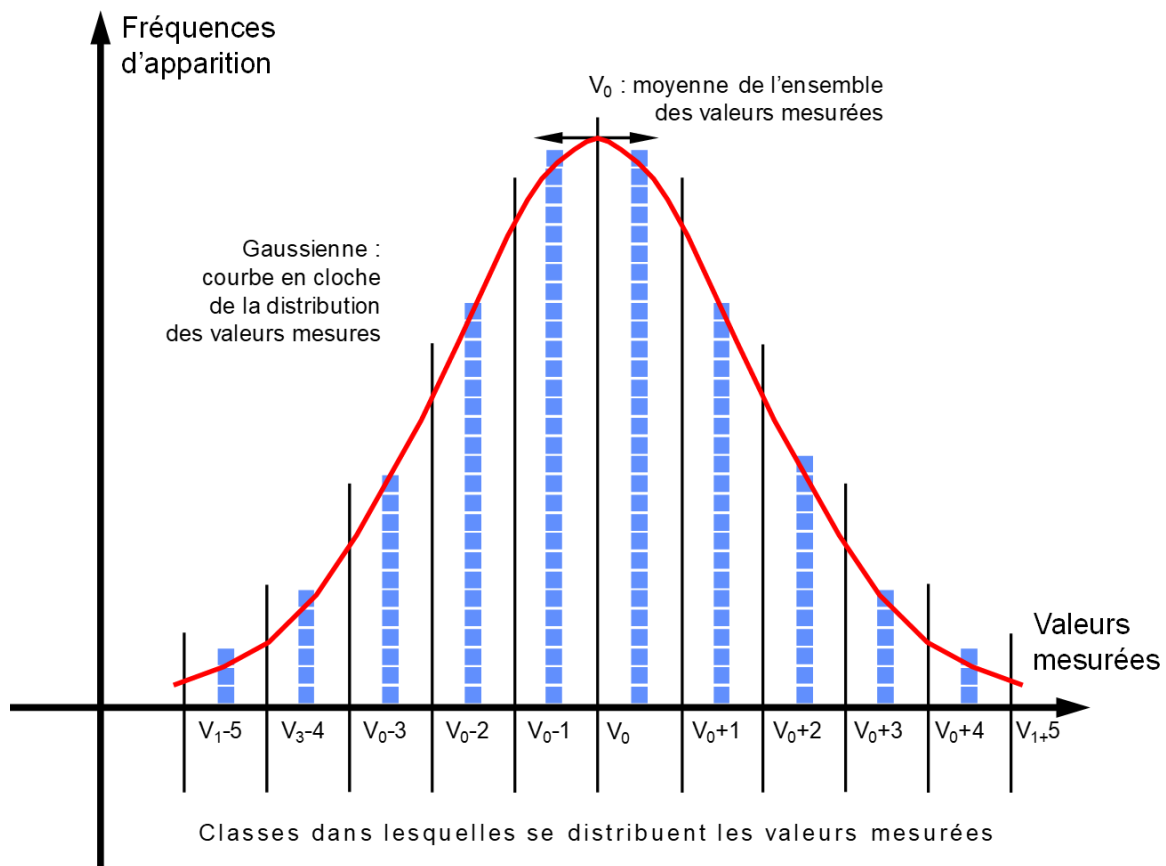
Taille des échantillons

Là encore, il faut trouver un compromis entre représentativité de l'échantillon et temps passé au contrôle de cet échantillon. Traditionnellement, en production de pièces mécaniques et pour des raisons de facilité de calcul, on retient une taille d'échantillon de cinq pièces consécutives. Des tables statistiques indiquent des tailles optimales dans différents cas particuliers.

Modélisation d'une production

Le suivi statistique est basé sur l'interprétation de résultats ponctuels pour en déduire une vision juste de l'ensemble de la production. Dans la démarche *SPC*, le technicien applique des lois mathématiques précises pour calculer les limites de contrôle de son processus. Il est donc nécessaire de vérifier que la production surveillée correspond bien au modèle mathématique utilisé. Lorsqu'un technicien règle sa machine pour obtenir, par exemple, une dimension, dite *cote visée*, les résultats réels obtenus s'écartent toujours de cette cote visée.





Lorsqu'il mesure la dimension visée et qu'il en répartit les valeurs trouvées dans des classes, il constate le plus souvent que cette répartition se fait de part et d'autre d'une valeur moyenne selon une courbe en cloche caractéristique d'une répartition dite *gaussienne*⁵. Cette répartition montre que la majorité des dimensions des pièces contrôlées est proche de la cote visée. Plus on s'éloigne de cette valeur, plus le nombre de pièces ayant ces dimensions diminue.

Cette distribution se rencontre fréquemment dans le contrôle du résultat d'un usinage sur une pièce mécanique ; encore faut-il vérifier cette caractéristique avant d'appliquer, à la production, un modèle statistique de contrôle.

⁵ Du mathématicien Gauss

Conclusion

Dans ce chapitre, le dernier à s'intéresser à l'ensemble du système de production, ont été successivement examinées quatre façons totalement différentes mais complémentaires d'optimiser une production industrielle :

- la standardisation aussi bien des pièces et des nomenclatures que des outils et des gammes pour ne pas refaire ce qui a été déjà fait ;
- la planification à long, moyen et court terme pour prévoir ce que l'on va devoir faire et anticiper le plus possible les demandes émanant des clients ;
- la gestion, non seulement pour répartir dans le temps tout ce qui est à faire par la planification, mais surtout pour déclencher au très bon moment chacune des opérations à exécuter ;
- et enfin la qualification, c'est-à-dire la recherche d'un niveau donné de qualité des produits assuré par l'entreprise à ses clients.

Ces quatre façons d'optimiser une production industrielle sont complémentaires : non seulement aucune n'exclut l'autre, mais chacune est favorisée par l'instauration des trois autres ; chacune est nécessaire à la mise en œuvre des trois autres. Elles sont donc toutes les quatre absolument requises pour la bonne conduite d'un système de production.

Ainsi s'achève, avec ce chapitre 5, l'étude de l'ensemble du système de production. Les trois chapitres 6, 7 et 8 ciblent, à l'intérieur du système de production, la fonction fabrication. Ils vont respectivement s'intéresser :

- à l'implantation des postes de travail dans différents types d'ateliers de fabrication manufacturière ;
- à l'architecture de tout système automatisé de fabrication et au fonctionnement de sa partie commande et de sa partie opérative ;
- et au fonctionnement et à la sécurité des systèmes automatisés, aux formats des informations et à l'écriture de la logique, aux interfaces homme-machine et machine-machine.

Pour finir, les chapitres 9 et 10 vont s'éloigner du *quoi technique* pour s'intéresser au *comment méthodologique*. Il s'agira respectivement dans ces deux derniers chapitres d'apprendre :

- d'abord à élaborer une stratégie de développement de la productique,
- ensuite à modéliser et à conduire des projets en productique.