
Chapitre VII

LE JUSTE - À - TEMPS

Les techniques de planification de la production du type *MRP* appartiennent à la famille dite de **production à flux poussés** qui anticipe la demande de composants par une programmation prévisionnelle s'appuyant sur un échéancier de livraison de produits finis. Dans les années soixante-dix est apparue une philosophie diamétralement opposée, reposant sur une logique dite de **production à flux tirés** dans laquelle la production d'un composant est déclenchée par la demande *effective* des centres de production demandeurs de la référence, au lieu de l'être par la demande *prévisionnelle* de ces centres. La production **juste-à-temps** (connue sous son sigle **JAT**) se fonde sur cette seconde approche et résout à la fois des problèmes de planification et d'ordonnancement. Elle constitue une alternative intéressante aux techniques de *MRP* pour certains types de production. On parle encore, dans la littérature spécialisée, d'**appel par l'aval** ou encore de production à flux tendus.

Depuis quelques années, on parle également d'**approvisionnement synchrone** pour désigner un approvisionnement à flux tirés dans lequel le délai qui sépare l'ordre d'approvisionnement, de la livraison, est très court (rarement plus de quelques heures). La brièveté de ce délai oblige le fournisseur à une organisation logistique contraignante. Lorsque l'approvisionnement porte¹ sur des composants ou de modules interchangeables ou sur des composants optionnels, pour introduire de la variété dans une production de masse, le fournisseur peut être amené à pratiquer un assemblage à la commande pour respecter la contrainte de délai. Si les composants sont directement utilisés sur une ligne d'assemblage, le fournisseur peut être tenu en outre de livrer ces articles en bord de chaîne dans un ordre prédéterminé² lié à la « personnalisation » des produits qui « défilent » devant le poste consommateur de ces articles (cas des sièges de voiture, par exemple) ; on parle alors d'**encyclage**. La brièveté du délai imparti au fournisseur peut l'obliger à s'implanter près du client, pour des raisons de compatibilité du temps de transport avec ce délai³.

Pour faire appel à cette approche de Juste-À-Temps, deux conditions doivent être réunies :

- Il faut d'abord que l'on ait affaire à une production de masse visant à satisfaire des demandes relativement stables,

1. Voir la définition et la discussion de ces concepts au [chapitre II, page 103](#) et suivantes.

2. Dans l'industrie automobile, la métaphore couramment utilisée est celle de **film** qui correspond à une suite d'images, chacune d'entre elles correspondant à un véhicule produit pour un client particulier et donc doté de spécifications propres. Le problème de l'ordonnancement de produits personnalisés sur une ligne de production (création du film) est traité aux [§ I-2, page 599](#), et [§ II-2, page 614](#) du [chapitre IX](#).

- Il faut ensuite que le « contexte de production » soit conforme à la philosophie du *JAT*.

La première remarque exclut du champ d'application un certain nombre d'entreprises et explique l'échec de certaines d'entre elles qui ont voulu « passer au juste à temps » pour « suivre une mode ». Cela étant, un certain nombre de principes du *JAT* sont utilisables avec profit par toutes les entreprises. La seconde condition est plus complexe. Elle s'appuie sur une certaine vision du rôle joué par les stocks et la main-d'œuvre ([section I](#)). Techniquement, le *JAT* utilise, tout comme la *MRP*, un Plan Directeur de Production ([section II, page 512](#)). C'est au niveau du système d'informations, connu sous le nom de système *KANBAN* ([section III, page 513](#)), que le *JAT* semble se différencier le plus des autres systèmes (en grande partie parce qu'il semble aller à contre-courant de l'information croissante observée des systèmes d'information occidentaux), mais cette différence apparente ne doit pas faire oublier qu'un système d'information n'est qu'un sous-ensemble d'un système de gestion et que le plus important réside, sans doute, dans les remarques faites en [section I](#). Nous terminerons ([section IV, page 524](#)) par quelques remarques complémentaires.

SECTION I L'ENVIRONNEMENT DE PRODUCTION DU *JAT*

Ce n'est sans doute pas un hasard si la philosophie du *JAT* est apparue au Japon. En effet, elle vise fondamentalement à éliminer toutes les sources de gaspillage dans la production, en fournissant le bon composant au bon endroit et au bon moment. Cette hantise du gaspillage des Japonais s'explique par l'exigüité de l'espace disponible au Japon et l'absence quasi complète de ressources minières ou énergétiques. Il s'ensuit que tout ce qui ne contribue pas directement à la valeur d'un produit est considéré comme du gaspillage. Dans cette perspective, le stock est à bannir puisqu'il ne génère pas de valeur ajoutée. Le non-respect des spécifications d'une fabrication est également à prohiber puisqu'il se traduit par un rebut ou par des procédures de rectification des défauts constatés qui ne contribuent pas non plus à la création d'une valeur ajoutée. Enfin, les équipements productifs doivent être maintenus en état de marche par une maintenance préventive pour éviter non seulement les pertes de temps et de matières consécutives à des pannes mais également la constitution de stocks de sécurité pour pallier les conséquences de cette source de perturbations.

La notion de gaspillage ne s'arrête pas aux produits et aux équipements. Elle vise également la bonne utilisation des ressources humaines. On doit alors considérer comme gaspillage toute sous-utilisation du potentiel des travailleurs. De par leur qualification polyvalente (capacité à travailler sur des machines fort différentes) et leur haut niveau (capacité à accomplir non seulement des tâches simples mais aussi des tâches complexes, comme les réglages), les travailleurs sont à

3. *Note de la page précédente.* La généralisation, par une grosse entreprise, de ce type d'exigence à plusieurs fournisseurs, peut conduire à la création de **Parcs Industriels de Fournisseurs** ou **PIF** (on parle encore de **Sites Avancés Fournisseur** ou **SAF**) à proximité du centre d'utilisation des références commandées. Ces parcs ne doivent pas être confondus avec les **Magasins Avancés Fournisseurs (MAF)** qui se situent dans l'emprise du site du client (ou en bordure de celui-ci) et correspondent à une externalisation par le client des problèmes de stockage et de gestion des contraintes d'encyclage, sans opération de production, dans le cadre d'un approvisionnement à flux tendus.

même d'assumer la responsabilité qui leur incombe : fournir à temps les composants requis. Il s'ensuit notamment qu'en cas d'incidents, on assistera à une mobilisation collective pour résoudre les problèmes ponctuels posés. Sur le moyen terme, cette « philosophie » conduit à impliquer fortement les travailleurs dans la recherche permanente d'une amélioration des processus de fabrication et ce, à travers des systèmes participatifs divers (cercles de qualité, systèmes de suggestion...).

Une dernière caractéristique japonaise explique l'émergence du *JAT* dans ce pays. Historiquement, les industries européennes et nord-américaines ont défini leurs gammes de production dans une optique de production de masse (tendance encore très largement observable de nos jours). Elle s'expliquait à l'origine par le fait que l'on était fondamentalement en présence de marchés « offreurs », c'est-à-dire dans lesquels la demande solvable devait s'adapter à une offre relativement peu variée. Dans ce contexte, le **bureau des méthodes** (qui définit les gammes de fabrication et d'assemblage) ne prête qu'une attention très limitée au temps de préparation préalable au lancement d'une série en production parce qu'il considère que les temps de préparation devant être répartis sur des lots importants, il vaut mieux se focaliser sur les temps unitaires de production pour baisser les coûts. En partant d'un temps de lancement élevé (et donc d'un coût de lancement élevé), le calcul économique préconise l'usage de lots de production importants (ce qui a été considéré, à tort¹, comme une justification de l'hypothèse de départ de l'inutilité de prêter attention aux coûts de lancement). La philosophie japonaise, considérant les stocks comme du gaspillage, a conduit à prêter une attention aussi grande aux temps de préparation qu'aux temps de fabrication proprement dits. Dans la mesure où un temps de préparation réduit implique un coût de lancement faible et donc des séries économiques courtes, la diminution drastique des stocks devient économiquement intéressante.

Ce raccourcissement des temps de préparation est facilité notamment par la polyvalence du personnel qualifié qui rend le plus souvent inutile l'intervention d'un régleur. Avec des outillages et des produits finis similaires, il n'est pas rare² de voir des temps de préparation dans un rapport d'un à plus de dix entre les entreprises japonaises et les entreprises européennes ou nord-américaines (à temps de production unitaire sensiblement équivalents). On doit ajouter enfin que cette conception japonaise conduisant à une réduction sensible des stocks présente en outre l'avantage considérable d'accroître la **flexibilité** du système productif,

1. Le fait que l'*effet* justifie la *cause* conduit, à l'évidence, à une circularité causale dans le raisonnement, erreur logique que bon nombre d'ingénieurs et de gestionnaires n'auraient jamais dû commettre. Une discussion plus approfondie de cet usage des modèles, en s'appuyant sur cet exemple, est proposée à la [page 652](#).

2. Shingo (1987, [383]), et Monden (1998, [307], chap. VI) décrivent les techniques à mettre en œuvre pour faire tomber les temps de changement d'outillage à moins de 10 minutes. Ces approches, connues sous le nom de **SMED** (*Single Minute Exchnange of Die*), reposent sur quelques idées simples : le temps de changement d'outillage θ se décompose en un temps θ_1 nécessitant l'arrêt de la machine (réglage, essais...) et un temps θ_2 ne le nécessitant pas (préparation des outils à monter...); il faut limiter l'arrêt de la machine au temps θ_2 (les autres opérations s'effectuant en temps masqué), essayer de transformer des opérations impliquant l'arrêt de la machine en opérations ne l'impliquant pas, essayer de supprimer les opérations d'ajustement, etc.

L'ouvrage de Womack, Jones & Roos (1991, [450]) expose un travail remarquable de comparaison internationale effectué sur l'industrie automobile, par une équipe du MIT. Enfin, le chapitre II de l'ouvrage de Hall (1983, [213]), qui reste sans doute l'un des meilleurs disponibles sur le *JAT*, est tout à fait instructif sur ce point.

laquelle se définit comme la capacité à réagir rapidement à toute variation de l'environnement et qui est d'autant plus forte que les stocks sont faibles.

On ne saurait trop insister sur la cohérence d'une telle vision. En effet, l'une des fonctions des stocks est de permettre un découplage des problèmes : le stock servant de tampon entre l'unité productrice sujette à des aléas divers de production et l'unité demandeuse dont la demande est parfois fort difficile à prévoir ; on reviendra sur ce problème à la [page 619](#) (avec une illustration de ce mécanisme de retardement de la propagation d'incident assuré par les stocks) et à la [page 624](#). Pour retarder la propagation de perturbations tout en limitant au maximum les stocks-tampons, il faut, d'une part, jouer sur les autres ressources (hommes et équipements) qui doivent être légèrement surdimensionnées et polyvalentes et, d'autre part, chercher à éliminer les sources d'aléas qu'il est possible de maîtriser, notamment par le biais de la maintenance préventive et de la qualité de la production. À ce propos, on peut remarquer que maintenance et qualité sont liées puisque le respect des spécifications¹ d'un produit dépend notamment de la stabilité des caractéristiques de la machine et de son outillage, de la qualité des réglages, du respect des gammes par l'opérateur et, enfin, de la qualité des composants utilisés.

La flexibilité des entreprises japonaises utilisant le *JAT* est largement facilitée dans l'adaptation des capacités de production aux fluctuations mensuelles du *PDP* (inférieures à 10 % chez Toyota, par exemple), par la possibilité de faire varier mensuellement l'horaire journalier de travail.

SECTION II LE PLAN DIRECTEUR DE PRODUCTION DU *JAT*

À la base du *JAT*, se trouve un Plan Directeur de Production (*PDP*). À la différence du *PDP* établi pour la *MRP*, le *PDP* du *JAT* est établi sur un horizon prévisionnel ne dépassant pas habituellement trois mois. Ce délai est le plus souvent très inférieur au cycle de fabrication mais la relative stabilité du *PDP* et la souplesse de l'environnement du *JAT* lui permettent de fonctionner dans des conditions satisfaisantes.

La production mensuelle de chaque référence est divisée par le nombre de jours ouvrables du mois. Ces productions journalières correspondent à un objectif duquel il convient de ne pas s'écarter et qui permet de limiter au maximum les stocks. Dans la mesure du possible, cette production journalière sera fragmentée en lots de production qui seront panachés pour constituer une séquence répétitive de production.

Il est peu probable que la charge de travail qui découle de l'application de ce *PDP* corresponde exactement aux capacités disponibles. Si la charge de travail désirée est inférieure au potentiel disponible, le temps excédentaire sera utilisé pour la maintenance ou pour réfléchir en groupe aux améliorations possibles des processus de production (cercles de qualité). En aucun cas, cet excédent n'est utilisé pour fabriquer une production destinée à être stockée. Dans le cas inverse,

1. On notera en passant que le contrôle statistique de la qualité dans le *JAT* diffère du contrôle «classique» parce qu'il accepte un risque important de rejet à tort de l'hypothèse de bon fonctionnement, ce qui conduit à préférer d'intervenir à tort que d'avoir des problèmes de qualité.

il est fait appel aux heures supplémentaires ou à des ressources d'autres ateliers (ce que permet la polyvalence des travailleurs).

Le *PDP* est habituellement recalculé tous les mois ainsi que l'incidence de cette actualisation sur la gestion des flux.

SECTION III LE SYSTÈME KANBAN DE GESTION DES FLUX

Le *JAT* est très souvent confondu avec le *Kanban*. En réalité, le *Kanban* est un mode de gestion décentralisé des flux d'information et des flux de production qui n'est que l'une des composantes du *JAT*, les autres composantes ayant été évoquées précédemment. Le caractère décentralisé et «manuel» de ce système d'information prend fortement le contre-pied de systèmes fortement centralisés s'appuyant sur des logiciels lourds axés sur la *MRP*. C'est sans doute la raison essentielle qui fait que les responsables européens et nord-américains n'ont retenu au départ que cet aspect des choses.

III-1 Les étiquettes de production

Kanban, en japonais, signifie étiquette (ou carte ou ticket); nous retiendrons ici le terme français **étiquette**. À chaque référence utilisée est associé un nombre fixe d'étiquettes qui mentionnent notamment le numéro de la référence et la quantité que contient le conteneur. Celles-ci sont nécessairement:

- soit accrochées à des conteneurs pleins,
- soit accrochées à un tableau situé dans le centre de fabrication de la référence ou à un tableau situé dans le centre de consommation de cette référence,
- soit, enfin, en transit entre le centre de consommation de la référence et celui de sa fabrication (sans être accrochées à des conteneurs pleins).

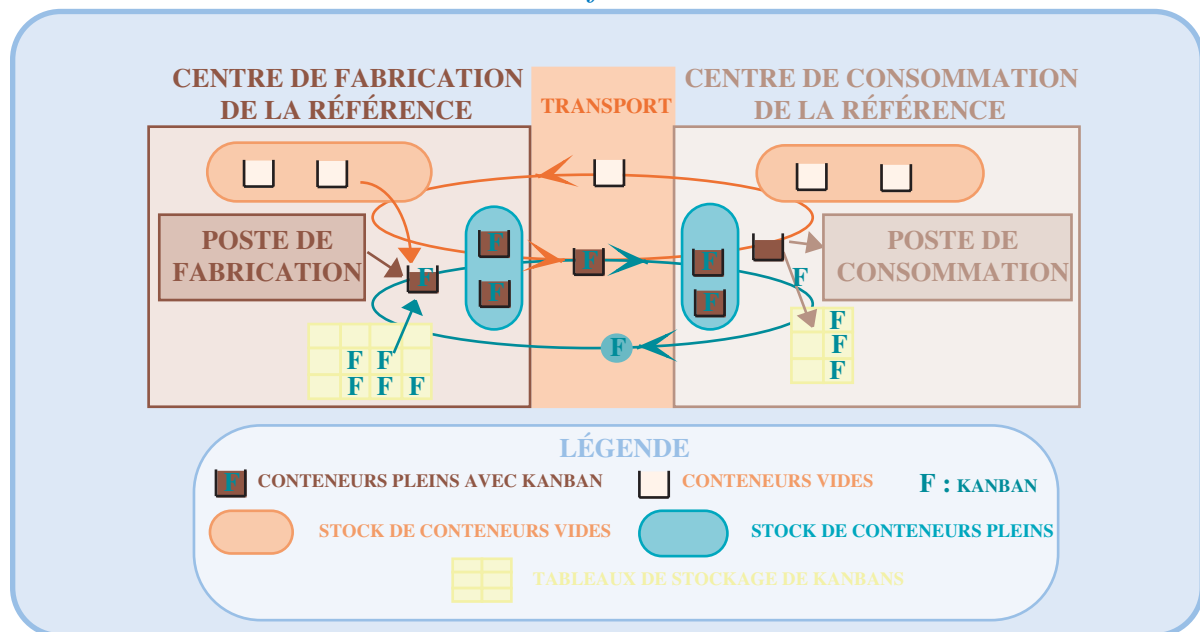
Le cas étudié dans ce paragraphe est celui d'un centre unique de fabrication et d'un centre unique de consommation, ce qui fait qu'un seul type d'étiquette suffit que l'on qualifie indifféremment d'**étiquette de production** ou d'**étiquette de fabrication**. Chaque étiquette correspond alors à un **ordre de fabrication ouvert**, c'est-à-dire exécutable dès réception, émis implicitement par un centre de consommation de la référence, à destination du centre de production de cette référence (ce qu'illustre la **figure 145** avec la boucle inférieure représentant la circulation des informations *et l'animation disponible en cliquant dans l'icône en marge du texte*¹). Aucune fabrication ne peut être lancée par le centre de fabrication de la référence sans qu'il ne dispose d'étiquettes correspondant à cet ordre de fabrication ouvert. Si, à la suite d'un incident quelconque, le centre de consommation de la référence s'arrête de produire (et donc de consommer), des conteneurs pleins s'accumuleront en amont de ce centre de consommation de la référence; au bout d'un certain temps, aucune étiquette ne parvenant au centre fabriquant la référence, la fabrication de celle-ci ne sera plus possible, faute d'ordre de fabrication. Ce système connaît donc, par construction, un butoir au montant des encours physiquement observable.



1. Voir avertissement de la note du bas de la **page 8**.

FIGURE 145

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



Les conteneurs sont normalement banalisés et sont donc utilisables pour plusieurs références. Quelques entreprises «individualisent» les conteneurs en les associant à des références auquel cas le conteneur joue le rôle d'étiquette (avec, presque toujours, une rapidité moins grande dans la circulation des flux d'informations). Par ailleurs, il n'est pas rare au Japon de trouver des étiquettes de couleur différente, chaque couleur correspondant à une zone géographique de fabrication de référence. Le rappel de la couleur sur le sol constitue l'un des éléments de la signalétique qui facilite l'organisation matérielle de la circulation des flux d'informations et de matières dans l'usine.

Depuis une dizaine d'années, on observe un processus de dématérialisation des kanbans, ce qui permet, sous certaines conditions, de gagner du temps et de l'argent (si la diminution des encours fait plus que compenser l'accroissement de charges habituellement observé lors du passage du système manuel au système informatisé). On parle alors de **kanban électronique**. L'information est transmise automatiquement au centre de production à un point clé du processus pour provoquer l'approvisionnement du bon composant au bon endroit. Par exemple, dans l'industrie automobile, un système de lecture optique permet au passage d'une caisse à un certain endroit de la chaîne, de déclencher l'approvisionnement de certains composants auprès d'équipementiers, directement sur leur Site Avancé Fournisseur ou auprès de leur Magasin Avancé Fournisseur¹ selon les spécifications précises du véhicule². Dans les organisations en ateliers spécialisés, c'est souvent l'opérateur qui prélève la première pièce d'un conteneur qui saisit l'information sur un clavier. Les ERP disposent généralement d'un module de JAT qui gère les kanbans électroniques

1. Voir définition en page 510.

2. Les perturbations qui peuvent se produire postérieurement à cette réquisition ont des incidences qui sont analysées au § I-3.2.1, page 603 du chapitre IX.

III-2 Étiquettes de fabrication et étiquettes de transfert

Le schéma de principe de la [figure 145](#) n'est utilisé dans la pratique que lorsqu'un seul centre de production utilise la référence fabriquée. Dans le cas contraire, le système d'information est modifié: en plus des étiquettes de fabrication, des **étiquettes de transfert** sont créées pour chaque centre de consommation de la référence. Les étiquettes de fabrication circulent alors exclusivement entre le centre de production et l'aire de stockage située en aval de ce centre, tandis que les étiquettes de transfert circulent exclusivement entre l'aire de stockage aval du centre de fabrication (où un second tableau mural leur est consacré) et les centres de consommation de la référence concernés.

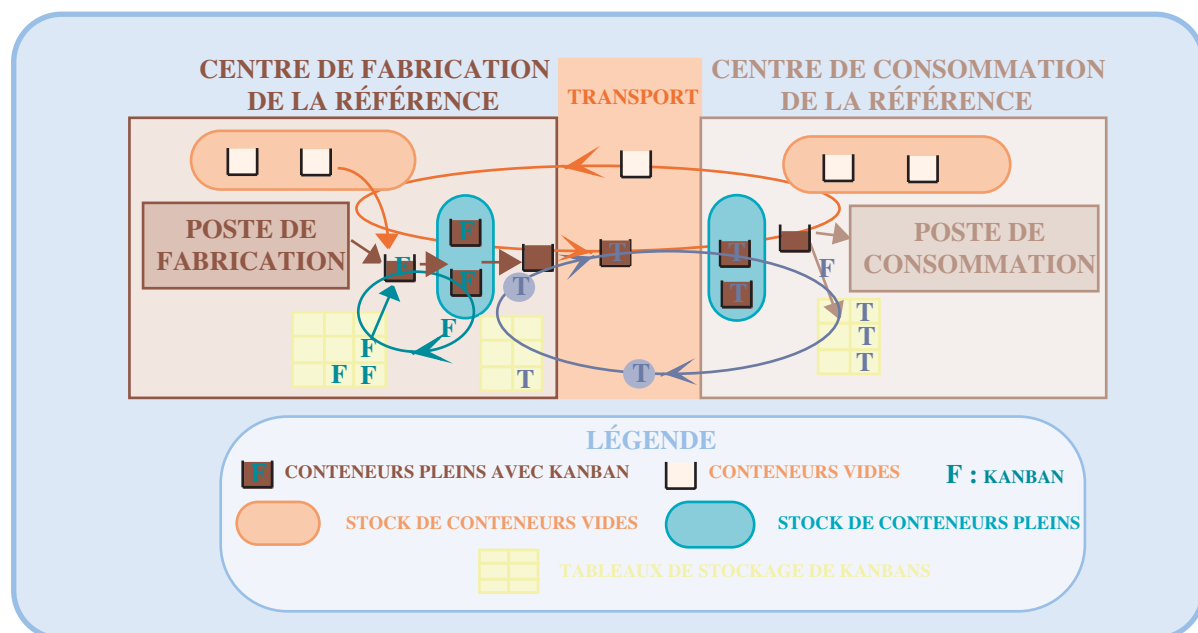
Pour chaque centre de consommation de la référence, on définit un nombre précis d'étiquettes de transfert mentionnant le centre de consommation et celui de production. Pour procéder à l'envoi d'un conteneur de la zone de stockage aval du centre de fabrication à un centre demandeur:

- on prend un conteneur plein dans le stock aval du centre de fabrication,
- on retire du tableau mural des étiquettes de transfert une étiquette de transfert de ce centre demandeur,
- on la substitue à l'étiquette de fabrication accrochée au conteneur,
- on accroche l'étiquette de fabrication au tableau mural des étiquettes de fabrication de ce centre de fabrication.

Le schéma de la [figure 146](#) illustre ce second type d'organisation par étiquettes de fabrication et de transport, qui sera *illustré par une animation* à la [page 523](#), dans la situation qui justifie pleinement l'usage de ces deux types d'étiquettes, celle de plusieurs centres de consommation de la référence.

FIGURE 146

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



Cette variante du système assure la même maîtrise de la circulation des flux de conteneurs et des flux d'informations, puisque les trocs d'une étiquette de transfert contre une étiquette de fabrication (dans les deux sens) reviennent seulement, par

rapport au schéma de principe de la [figure 145 de la page 514](#), à modifier le texte de l'étiquette indifférenciée de cette figure et à disposer, pour des raisons de commodité, de deux tableaux muraux au lieu d'un, dans le centre de fabrication de la référence.

Il est bien évident que ces principes généraux de circulation d'informations sont susceptibles d'adaptation pour réduire les délais d'acheminement des informations. C'est ainsi que l'on trouve des systèmes dans lesquels les étiquettes seront munies de codes à barres. Celles-ci seront lues optiquement par un poste de saisie d'informations situé dans le centre de production demandeur de la référence lors de l'utilisation d'un conteneur, à la suite de quoi de nouvelles étiquettes sont mises en circulation directement au niveau du centre producteur et les « anciennes » étiquettes détruites. D'autres procédures (télécopie, téléphone, liaison informatique directe...) sont également envisageables. Cette sophistication du système d'information ne présente d'intérêt que lorsque le centre producteur et les centres demandeurs sont éloignés. C'est le cas, en particulier, pour les flux de marchandises et d'informations circulant entre une usine et les interlocuteurs privilégiés de l'entreprise que sont les fournisseurs et les principaux clients (dépôts régionaux, grands comptes...). Ces dernières remarques visent le cas d'entreprises ayant réalisé une forte intégration verticale du suivi de la production et de la distribution dans une optique de juste à temps.

III-3 Détermination du nombre d'étiquettes

Le système *Kanban* permet de maîtriser les flux de façon sûre sans prendre parti sur leur importance, c'est-à-dire sur le nombre d'étiquettes à mettre en circulation. Cela dit, la logique sous-jacente à la détermination de ce nombre est simple : on en créera le strict minimum pour que le système productif marche (sinon, il y aura gaspillage !). Il est évident que ce nombre d'étiquettes est fonction de la taille du conteneur. Une règle empiriquement utilisée par certaines entreprises consiste à limiter la taille du conteneur à moins de 10 % de la demande quotidienne et à chercher à atteindre le lot de transport à véhiculer dans un conteneur de taille standard, qui soit le plus faible possible (cela dit, le coût de manutention vient « tempérer » cet objectif). Par ailleurs, la variété des conteneurs est à limiter au maximum car leur banalisation facilite leur gestion.

Pour comprendre la logique de détermination du nombre d'étiquettes, il faut passer par l'étude de cas de figure de plus en plus complexes en commençant par le cas d'un centre unique de consommation approvisionné par un centre de fabrication ne produisant qu'une seule référence (§ III-3.1) ou plusieurs références (§ III-3.2, [page 523](#)), avant d'attaquer le cas plus général d'un centre de fabrication approvisionnant plusieurs centres de consommation (§ III-3.3, [page 524](#)).

III-3.1 Centre de production ne produisant que cette référence

Pour une référence donnée produite par le système, circule dans l'usine un nombre N d'étiquettes, somme de N_F étiquettes de fabrication et N_T étiquettes de transfert. Notons D la demande quotidienne de la référence (par exemple, $D = 48$ unités par jour) qui découle de la mise en œuvre du *PDP*, et k , le nombre d'unités de la référence que contient un conteneur plein (par exemple, $k = 4$). On peut alors convertir cette demande quotidienne exprimée en nombre d'unités de la référence

(c'est-à-dire $D = 48$ unités), en nombre de conteneurs demandés chaque jour pour cette référence (c'est-à-dire $D/k = 48/4 = 12$ conteneurs/jour).

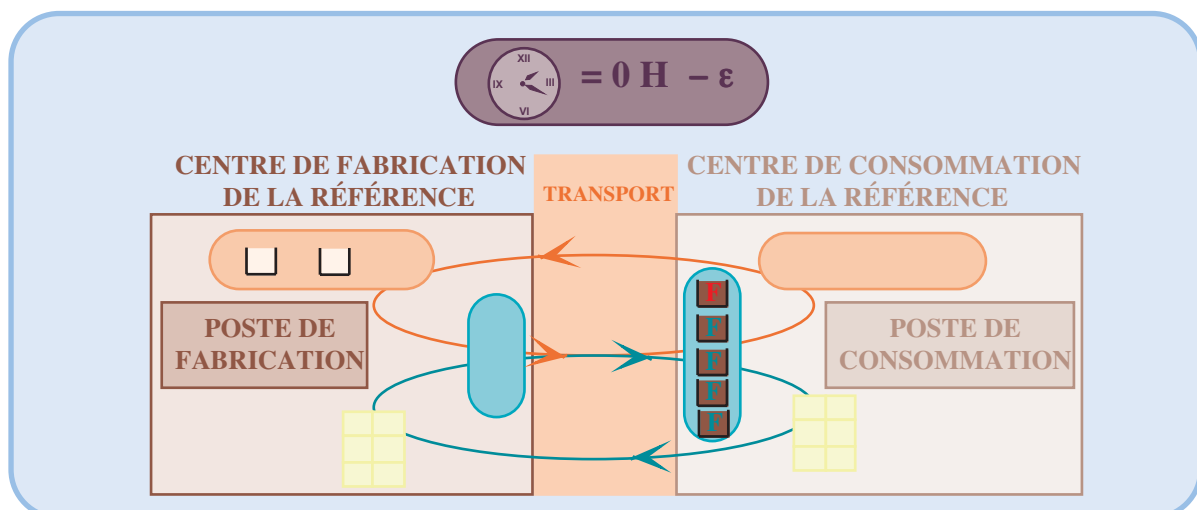
On examinera successivement le cas d'une utilisation exclusive d'étiquettes de fabrication sans prise en compte de série à lancer en production (§ III-3.1.1), puis en prenant en compte cette possibilité (§ III-3.1.2, page 521), avant d'aborder l'introduction d'étiquettes de transfert (§ III-3.1.3, page 522).

III-3.1.1 Cas d'un lot de production égal à un seul conteneur et d'une utilisation exclusive d'étiquettes de fabrication

Faisons momentanément abstraction des étiquettes de transfert ($N_T = 0$; $N = N_F$), et supposons que la journée de travail soit de 8 heures. Le centre demandeur consommera un conteneur toutes les 40 minutes (c'est-à-dire le quotient de 8 heures de travail d'une journée par les 12 conteneurs consommés quotidiennement). Puisque, dès qu'un conteneur est entamé, son étiquette de fabrication est aussitôt décrochée pour permettre son retour au centre de production qui exécutera cet ordre de fabrication ouvert en 15 minutes, il suffit que le temps mis par cette étiquette pour revenir accrochée à un conteneur plein soit inférieur à 40 minutes, pour qu'une seule étiquette suffise. Si ce **temps de cycle C** (appelé encore **délai de réaction**) est de 120 minutes, trois étiquettes suffiront.

Pour s'en persuader, il suffit d'effectuer une petite simulation en univers certain, dans laquelle on surdimensionne le nombre d'étiquettes en le portant, par exemple, à cinq unités. Partons d'une situation où, juste avant le début de la simulation (instant 0 heure, moins une durée très brève, notée ϵ), les cinq étiquettes se trouvent toutes sur des conteneurs pleins, tous situés dans le stock-amont du centre de consommation de la référence (voir figure 147). Au tout début de la simulation

FIGURE 147
Initialisation

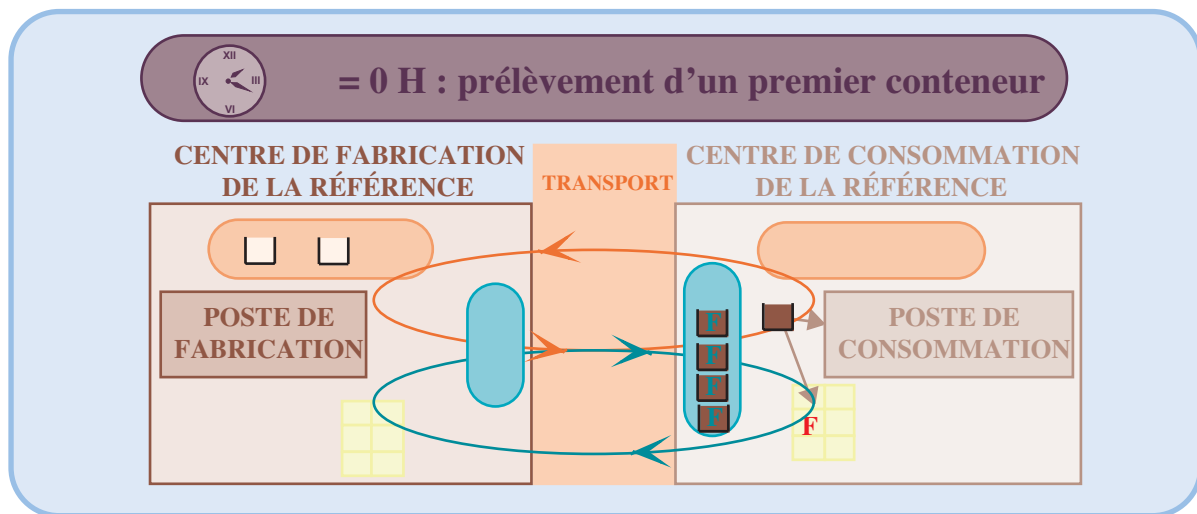


(instant 0 heure, voir figure 148, page 518), le centre de consommation prélève un conteneur plein parce qu'il a besoin d'une pièce; il pose aussitôt l'étiquette sur le tableau mural du centre de consommation. On notera cette étiquette **F**, pour la différencier des autres et pouvoir suivre son périple dans les figures.

Quarante minutes plus tard (voir figure 149, page 518), un second conteneur est prélevé par le centre de consommation et son étiquette est accrochée au tableau

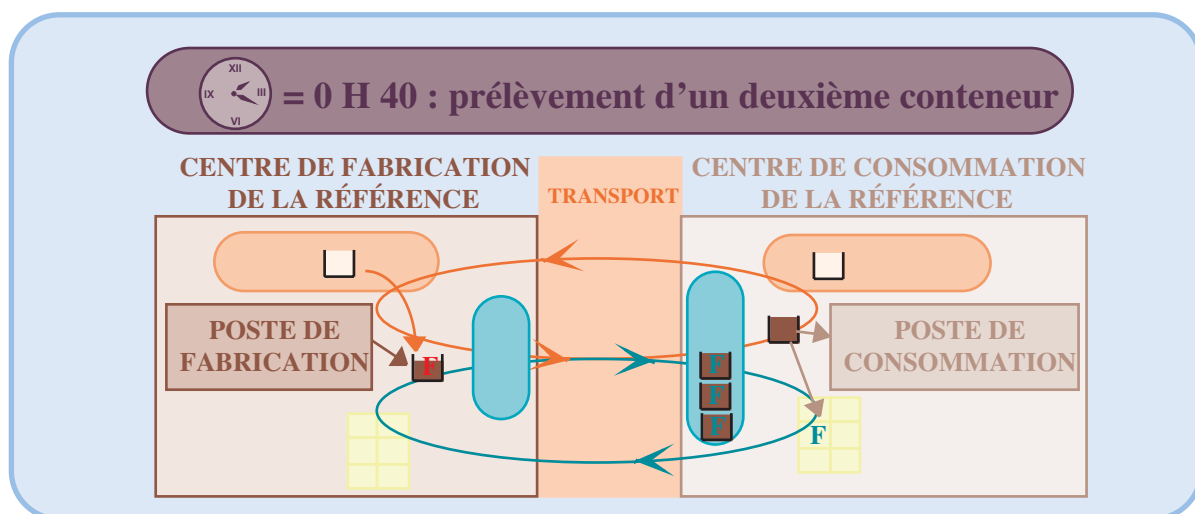


FIGURE 148
Prélèvement d'un premier conteneur



mural. Entre temps, la première étiquette (celle notée **F**) a été acheminée au centre de production qui, n'ayant rien d'autre à faire, l'a accrochée à un conteneur vide (prélevé sur le stock de conteneurs vides de cet atelier) et est en train de le remplir à cet instant.

FIGURE 149
Prélèvement d'un deuxième conteneur à 0 heure 40

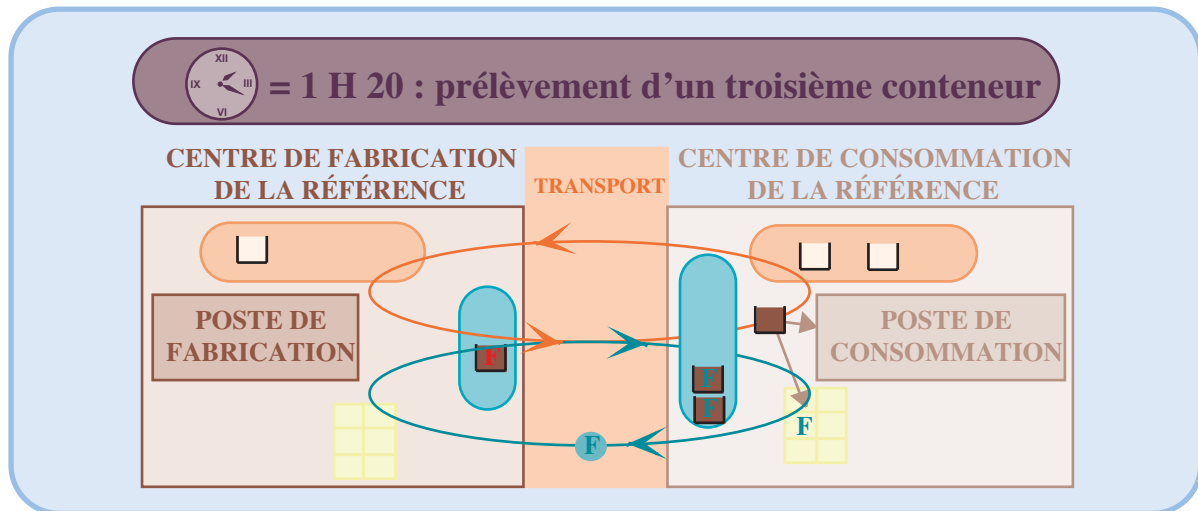


Quarante minutes plus tard (c'est-à-dire à une heure et vingt minutes, voir [figure 150](#)), un troisième conteneur est prélevé par le centre de consommation et son étiquette est accrochée au tableau mural. Entre temps, deux faits se sont produits :

- la seconde étiquette utilisée depuis le début de la simulation est en cours d'acheminement au centre de production ;
- le conteneur auquel l'étiquette **F** a été accrochée a été complété puis stocké dans le stock-aval du centre de production de la référence à laquelle on s'intéresse ici.

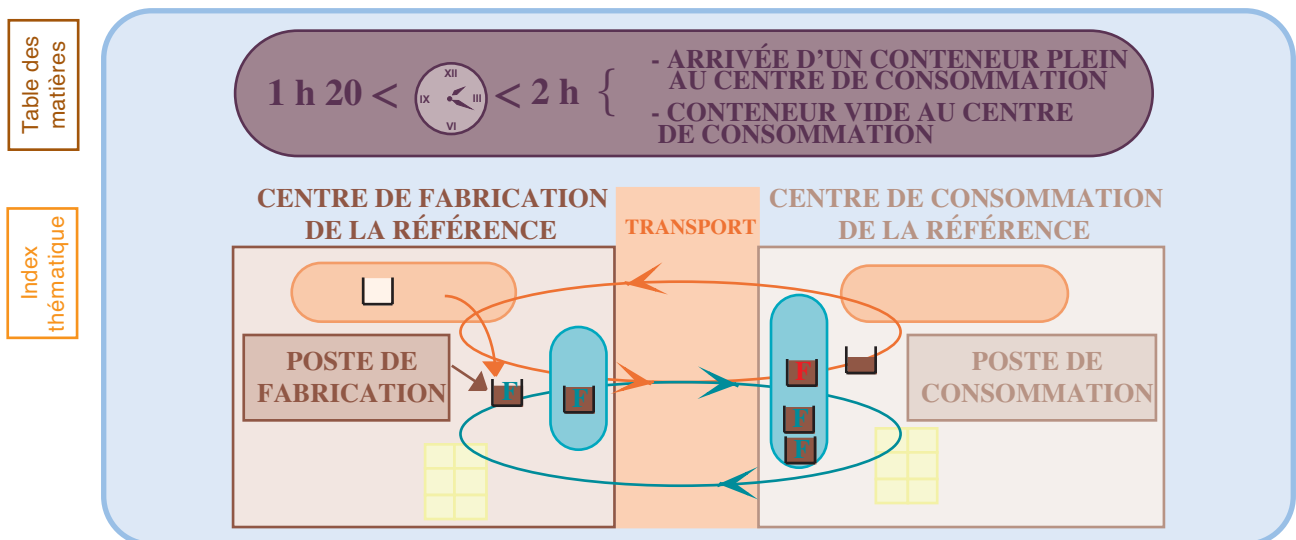
Moins de quarante minutes plus tard (au maximum quelques secondes avant que deux heures ne s'écoulent avant la fin de la simulation, voir [figure 151](#), page

FIGURE 150
Prélèvement d'un troisième conteneur à 1 heure 20



519), le conteneur auquel l'étiquette **F** a été accrochée est arrivé dans le stock-amont du centre de consommation.

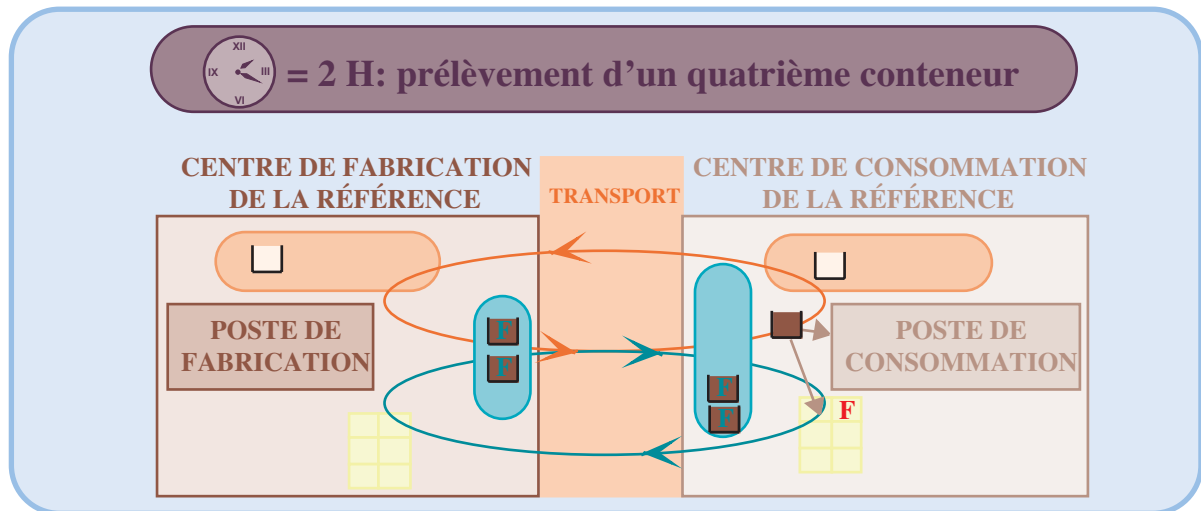
FIGURE 151
Événements se produisant entre 1 heure 20 et 2 heures



Dès que deux heures se sont écoulées (instant ponctuel: 2 heures, voir [figure 152](#)), le conteneur auquel l'étiquette **F** a été accrochée est prélevé par le poste de consommation (qui consomme un conteneur toutes les quarante minutes avec la régularité d'un métronome, puisque l'on est en univers certain). Il s'ensuit que les deux derniers conteneurs ne pourront jamais être utilisés et que les deux étiquettes qui ont permis de les remplir sont parfaitement inutiles. Trois étiquettes suffisent donc.

Généralisons le raisonnement permettant de calculer le nombre nécessaire d'étiquettes de fabrication d'un produit consommé par un seul centre. Le temps de cycle étant exprimé en jours ($120 \text{ minutes} = 2 \text{ heures} = 2/8 = 0,25 \text{ jour}$), il suffira de multiplier sa valeur ($C = 0,25$) par la demande quotidienne exprimée en conte-

FIGURE 152
Prélèvement d'un quatrième conteneur à 2 heures



neurs ($D/k = 48/4 = 12$), pour obtenir le nombre minimal d'étiquettes nécessaires ($12 \times 0,25 = 3$).

$$N_F = \frac{D}{k} \cdot C$$

relation 77

Le seul problème posé est donc celui de la détermination du temps de cycle de l'étiquette qui s'analyse comme un délai d'obtention et comporte donc un temps de transport de l'étiquette au centre de fabrication et un temps de séjour de l'étiquette sur le tableau mural du centre de consommation (durée qui dépend de la cadence d'enlèvement des étiquettes), le temps de fabrication proprement dit, le temps de transport du centre producteur au centre demandeur et le temps d'attente du conteneur au stock-aval du centre de production (durée qui dépend de la cadence d'enlèvement des conteneurs); on peut y ajouter un délai de sécurité (le plus faible possible) pour tenir compte des aléas et incidents divers.

La simulation permet de comprendre que le nombre minimal d'étiquettes à mettre en circulation dépend exclusivement de la durée du cycle C , laquelle est à peu près indépendante de la demande de la référence. En effet, dans notre exemple, si le conteneur auquel l'étiquette **F** a été accrochée revient au bout d'un peu plus de 1 heure 20 dans le stock-amont du centre de consommation, il faudra malgré tout attendre jusqu'à 2 heures pour avoir besoin des unités mises dans ce conteneur marqué de l'étiquette **F**. L'incidence du rythme de consommation de la référence se limite donc au temps d'attente du conteneur plein dans le stock-amont du centre de consommation. Concrètement, le temps de cycle est obligatoirement égal à un multiple du temps unitaire nécessaire à la consommation d'un conteneur. Il est intéressant de noter que la baisse de ce temps de cycle n'implique pas de gagner une durée égale à ce temps unitaire de consommation: il suffit en effet de gagner la différence entre ce temps unitaire de consommation et le temps d'attente du conteneur plein dans le stock-amont du centre de consommation.

III-3.1.2 Cas d'un lot de production égal à plusieurs conteneurs et d'une utilisation exclusive d'étiquettes de fabrication

Supposons maintenant que l'importance du temps de lancement en fabrication conduit, pour la référence considérée, à une production par lot. Cette possibilité se justifie explicitement, n'en déplaise aux tenants du zéro-stock, par un arbitrage entre une économie de coût de lancement et une économie de coût de possession du stock additionnel : le problème de la taille du lot à lancer en fabrication se posera tant que le coût de lancement ne sera pas nul (ce qui implique un temps de lancement nul ou effectué en temps masqué à un coût nul).

Retenons, pour notre exemple, l'hypothèse d'une quantité q lancée en production, égale à 28 unités, valeur numérique qui est nécessairement un multiple du nombre d'unités retenu pour l'étiquette. Ce lot permet de remplir $q/k = 28/4 = 7$ conteneurs. Le temps de fabrication de ces 28 unités peut n'être que de quelques minutes, mais il faudra quand même attendre d'avoir six étiquettes supplémentaires accrochées au planning, avant de pouvoir lancer en fabrication de quoi remplir sept conteneurs. Ce temps de cycle s'accroît donc d'un délai supplémentaire de 4 heures (= 6 conteneurs \times 40 minutes) et l'on passe de 3 étiquettes à $3 + 6 = 9$ étiquettes. Pour modifier la formule de détermination du nombre minimal d'étiquettes, deux possibilités techniques sont envisageables :

- La première possibilité consiste à modifier la [relation 77](#) pour tenir compte de la quantité à lancer et, dans ce cas, la définition du temps de cycle reste inchangée :

$$N_F = \frac{D}{k} \cdot C + \left(\frac{q}{k} - 1 \right) \quad \text{relation 78}$$

- ce qui donne bien, dans notre exemple $N_F = \frac{48}{4} \times 0,25 + \left(\frac{28}{4} - 1 \right) = 3 + (7 - 1) = 9$ étiquettes.
- La seconde solution consiste à inclure au temps du cycle C , dans notre exemple 0,25 jour, le temps d'attente avant fabrication, c'est-à-dire 4 heures.

Ce temps de cycle passe alors de 0,25 à $\frac{2+4}{8} = 0,75$ jour. On conserve alors

la [relation 77](#) dont l'application donne ici $N_F = \frac{48}{4} \times 0,75 = 9$ étiquettes.

L'explicitation de la transformation du temps de cycle est facilement généralisable : on ajoute à la valeur initiale de C (0,25, valeur définie sans prise en compte du lotissement ou, plus exactement, avec le lot incompressible d'un conteneur), la valeur ΔC calculée par la relation suivante :

$$\Delta C = \frac{(q/k - 1)}{D/k} \quad \text{relation 79}$$

ce qui donne bien $\frac{(28/4 - 1)}{48/4} = 0,5$ dans notre exemple.

III-3.1.3 Cas d'une utilisation simultanée d'étiquettes de fabrication et d'étiquettes de transfert

Sur le plan des principes, ce cas de figure (illustré par la [figure 146, page 515](#)) est relativement simple à traiter. On a vu que l'introduction des étiquettes de transport se traduit concrètement par une sorte de « passage de relais » entre étiquettes qui se cantonnent à des zones exclusives. Il suffit alors de décomposer le temps de cycle global C en deux parties : une partie C_F spécifique au centre de production et correspondant au temps de circulation d'une étiquette de fabrication¹ et une partie C_T correspondant à la circulation d'une étiquette de transfert (avec $C = C_F + C_T$), d'où l'on tire :

$$N_F = \frac{D}{k} \cdot C_F \text{ et } N_T = \frac{D}{k} \cdot C_T \quad \text{relation 80}$$

L'application de cette [relation 80](#) est moins simple qu'il ne le paraît. Le fait que les valeurs prises par N_F et N_T soient nécessairement entières peut induire une augmentation d'une unité du nombre total d'étiquettes. Cette proposition est facile à illustrer sur l'exemple du § III-3.1.1. Supposons que le temps de cycle dans le centre de fabrication soit de 30 minutes, soit 0,0625 jour. Il reste alors 1 heure 30 minutes (soit 0,1875 jour) pour le reste du circuit. L'application de la [relation 80](#) donne :

- $N_F = 12 \times 0,0625 = 0,75$ que l'on doit amener à la valeur entière immédiatement supérieure de 1, ce qui revient à dire qu'un conteneur plein partira toutes les 40 minutes et qu'un temps de stationnement supplémentaire de 10 minutes sera effectué par le conteneur plein situé dans le stock-aval du centre de fabrication de la référence ;
- $N_T = 12 \times 0,1875 = 2,25$ que l'on doit amener à la valeur entière immédiatement supérieure de 3, *si le conteneur plein séjourne très peu de temps dans le stock-amont du centre de consommation* ; on peut ajouter que ce passage à 3 étiquettes se traduit mécaniquement par un accroissement de 30 minutes² (= du temps de séjour du conteneur plein dans le stock-amont du centre de consommation). Dans cet exemple, le nombre total d'étiquettes passe de 3 à 4.
- Par contre, *si le conteneur plein séjourne un certain temps dans le stock-amont du centre de consommation*, par exemple 22 minutes, ce temps d'attente peut être transféré n'importe où dans le circuit. Ce transfert permet d'éviter l'accroissement du nombre d'étiquettes **si** la partie décimale obtenue en application de la [relation 80](#) (ici $2,25 - 2 = 0,25$) correspond à une durée (ici $0,25 \times 40 = 10$ minutes) inférieure à ce temps d'attente. On baisse donc le temps d'attente stock-amont du centre de consommation de 22 minutes à $22 - (40 - 30) = 12$ minutes, pour transférer 10 minutes d'attente au stock-aval du centre de production (cette attente étant de toute façon inévitable, comme on l'a dit plus haut) et l'on peut faire l'économie d'une troisième étiquette de

1. c'est-à-dire le temps qui sépare l'enlèvement d'une étiquette du tableau mural du centre de fabrication, de sa substitution par une étiquette de transport sur un conteneur plein placé dans le stock-aval de centre de fabrication, suivi immédiatement de sa remise sur le tableau mural de centre de fabrication.

2. = $(3 - 2,25) \times 40$ minutes.

transfert qui conduirait, en pratique, à une attente de $12 + 30 = 42$ minutes dans le stock-amont du centre de fabrication.

L'introduction de lot supérieur à un conteneur à lancer en fabrication ne pose pas de problème particulier. En effet, les étiquettes supplémentaires sont alors nécessairement des étiquettes de fabrication et l'allongement de temps de cycle porte exclusivement sur le cycle de fabrication.

Une animation simulant le cas de deux centres de consommation vous est proposée. Les tournées d'acheminement des conteneurs et des Kanbans s'effectuent dans le cadre de tournées régulières. Les centres de consommation fonctionnent sans arrêt mais avec des taux différents de consommation de la référence. Le cumul des consommations horaires reste inférieur à la production horaire de la référence, ce qui fait que le centre de production est de temps en temps en attente de travail. L'ordre d'arrivée des tournées de kaban dans le centre de production conduit à des échanges d'étiquettes lorsque des conteurs pleins sont stockés, la règle du «premier arrivé - premier servi» étant utilisée. Une tournée d'enlèvement de conteneur plein peut ache-miner plus d'un conteneur ou ne rien prendre à défaut de conteneur prêt. Même en se situant en univers certain, la synchronisation des événements n'est pas immédiate et le temps nécessaire avant de pouvoir reproduire la même séquence d'événements est long. La prédictivité du fonctionnement du système est donc loin d'être triviale, ce qui explique la proposition habituelle d'un surdimensionnement initial du nombre de kanbans, suivi d'un retrait progressif de kanbans jusqu'au moment où le système ne répond plus correctement. De nos jours, la facilité d'usage de petits simulateurs comme Simul8 milite en faveur d'une simulation préalable permettant de tester facilement des situations relativement complexes et caractérisées par une certaine variabilité des paramètres à prendre en considération.



Table des
matières

Index
thématique

III-3.2 Cas de la fabrication de plusieurs références par le même centre de fabrication

Si le centre de fabrication produit également d'autres références, il n'est alors plus sûr que la machine soit libre au moment exact où les sept étiquettes de fabrication sont accrochées au planning mural (habituellement, à chaque référence produite par ce centre est accrochée une «zone verticale» distincte, [figure 153](#)). Cette production multiple conduisant à une interdépendance des références nécessite d'accroître le temps de cycle de chaque référence et donc le nombre d'étiquettes en circulation.

Supposons que, dans l'exemple avec lotissement, on ait estimé nécessaire d'ajouter 4 heures au cycle C qui passe alors à 10 heures; 6 étiquettes de fabrication supplémentaires sont alors nécessaires (et bien sûr, aucune étiquette de transfert supplémentaire). On repérera sur le planning mural par des couleurs ou tout autre moyen visuel (comme l'usage de trames dans la [figure 153 de la page 524](#)):

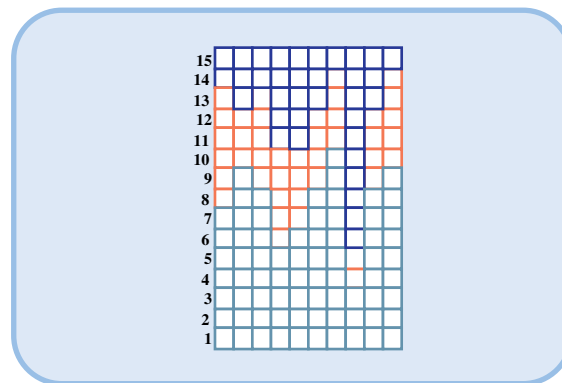
- le niveau de lancement (ici 7, pour la référence 1 de la [figure 153](#))
- et le niveau maximal (appelé encore cote d'alerte) conduisant à la rupture de stock (ici $7 + 6 = 13$).

En jetant un œil sur son planning mural, l'ouvrier sélectionnera la référence la plus urgente. Il est évident que la détermination de cette marge de manœuvre est délicate et qu'elle est d'autant plus importante que la machine est, en régime de croisière, proche de la saturation.

L'existence de réglages complique le problème lorsque ces temps de réglage dépendent de l'ordre de passage en fabrication des pièces. Aussi, a-t-on parfois intérêt à lancer en fabrication toutes les références d'une famille, ce que l'on fera lorsque l'on est en passe d'atteindre la cote d'alerte d'une référence quelconque de la famille. La prévision du comportement du système devient alors fort difficile aussi peut-on avoir intérêt à faire appel à un logiciel de simulation.

FIGURE 153

Tableau mural « multi kanbans »



III-3.3 Cas de plusieurs centres de consommation

On a examiné au § III-3.1.3, page 522, l'utilisation d'étiquettes de transfert dans le cas où la référence n'était demandée que par un seul centre. La détermination du nombre d'étiquettes de fabrication et de transfert est a priori une simple généralisation de ce qui a été dit dans ce paragraphe. Bien entendu les étiquettes de fabrication sont communes; dans notre exemple, il y en aura toujours 13, sous l'hypothèse d'un lot de 7 conteneurs à lancer en fabrication et d'une fabrication de plusieurs références par le centre de production, et ce quel que soit le nombre de centres demandeurs (voir le § III-3.2). Par contre, les étiquettes de transfert sont spécifiques à chaque centre de consommation.

On peut cependant noter que le système est plus difficilement prévisible dans la mesure où les arrivées d'étiquettes au centre de production et les départs de conteneurs à destination des centres de consommation ne se produisent plus à intervalle constant. Il peut devenir plus difficile, compte tenu d'une certaine interdépendance des demandes, d'éviter la création des étiquettes additionnelles liées à la décomposition du temps de cycle et à l'obligation d'avoir un nombre entier d'étiquettes (voir remarques de la fin du § III-3.1.3).

SECTION IV REMARQUES COMPLÉMENTAIRES

Quelques remarques complémentaires doivent être faites. Les premières visent la localisation spatiale des ressources matières et machines. Les secondes visent la mise en place du JAT.

IV-1 L'aménagement de l'espace dans les usines utilisant le JAT

L'une des conséquences du JAT est la suppression des magasins. Seules subsistent des aires de stockage destinées à accueillir en nombre très limité des conte-

neurs. Par ailleurs, les caractéristiques de la demande dans les entreprises fonctionnant suivant les principes du *JAT* font que les principes de la technologie de groupe sont très rapidement mis en œuvre afin de minimiser les problèmes de logistique. C'est ainsi que l'on trouve assez souvent des regroupements de machines spécialisées dédiées à un ensemble de références, disposées en U; les ouvriers sont à l'intérieur du U et ont à parcourir une distance réduite pour aller d'une machine à l'autre. De telles configurations sont souvent plus efficaces que celles reposant sur des machines automatisées très polyvalentes.

Il semblerait, enfin, que la mise en œuvre judicieuse de ces deux points conduise à une réduction substantielle de l'espace nécessaire pouvant aller jusqu'à plus de 50% par rapport à celle observée dans des entreprises similaires organisées suivant des principes «classiques». C'est donc à un bouleversement du «paysage industriel» que conduit la mise en œuvre du *JAT*.

IV-2 Le *JAT* en pratique

Le *JAT* est, nous avons assez insisté sur ce point, une philosophie «cohérente» et celle-ci implique une recherche permanente d'amélioration des procédures. L'un des problèmes clés à résoudre est celui de la diminution du nombre d'étiquettes à mettre en circulation. La logique retenue conduit au départ à l'inclusion de délais de sécurité dans le temps de cycle *C* évoqué ci-dessus. Cette inclusion sera d'autant plus utile que l'on a vu qu'au fur et à mesure que l'on lève les hypothèses simplificatrices, il devient de plus en plus difficile de prévoir le comportement du système (sans aide informatique). C'est pourquoi périodiquement, lorsque les conditions s'y prêtent (marge de sécurité disponible du fait d'une surcapacité momentanée, notamment), on expérimente les conséquences découlant d'une diminution d'une unité du nombre d'étiquettes (toutes choses égales par ailleurs). Si l'on est déjà à flux tendus, cette expérimentation révèle un ou plusieurs problèmes de nature à empêcher la systématisation de cette nouvelle «règle de gestion». Une réflexion est alors conduite pour tenter d'apporter des solutions aux problèmes ainsi révélés et, en cas de succès, une nouvelle valeur de temps de cycle est adoptée.

Cette approche empirique est lente et implique une souplesse organisationnelle et un «droit à l'erreur» que nombre d'entreprises occidentales ne connaissent pas. Il s'ensuit qu'assez souvent des améliorations sont encore possibles. Une alternative partielle à cette approche est envisageable. Elle consiste à faire appel à la simulation¹.

Le *JAT* n'implique pas que la totalité de la gestion des flux passe par le système *Kanban* et, en pratique, celui-ci ne gère guère plus de 60 à 70 % des flux. Les exceptions concernent habituellement les références correspondant à des options (dont la demande est logiquement fort irrégulière et dont l'importance limitée au

1. Pour tester un ensemble de règles de gestion, parmi lesquelles figurent les tailles de lots et le nombre d'étiquettes à mettre en circulation. Cette approche peut donner rapidement des enseignements précieux, mais leur qualité dépend de celle du modèle retenu et de ses paramètres. Voir à ce sujet le mémoire de CNAM réalisé en 1984, sous notre direction, par C. Moins chez Renault – Véhicules Industriels. Dans ce travail, la simulation d'un problème réel mixant l'utilisation de solutions analytiques optimales (détermination de tailles de lots de références produites périodiquement à des intervalles multiples d'une période de base, elle aussi à déterminer, sur une même machine) et de règles empiriques de gestion, a conduit à des résultats fort intéressants.

maximum par une standardisation des produits finis incluant en série ce que la concurrence propose en option) ou les pièces importantes faisant l'objet d'un assemblage sur une ligne. Ajoutons que l'on trouve, dans certaines entreprises utilisant par ailleurs la *MRP*, quelques ateliers, voire quelques usines, utilisant complètement un *JAT*, ces unités étant dédiées à la fabrication de références à consommation forte et régulière.

IV-3 Comparaison du Juste - À - Temps et de la MRP

On a vu que la pertinence de l'usage du *JAT* est conditionnée par le respect de certaines conditions. Celui de la *MRP* ne l'est pas mais il implique un système de gestion sophistiqué et présente l'inconvénient de moins pousser à l'amélioration continue. Dans la pratique, ces deux systèmes de gestion sont plus complémentaires qu'opposés.

- Dans certaines entreprises utilisant par ailleurs la *MRP*, quelques ateliers, voire quelques usines, utilisant complètement un *JAT*, ces unités étant dédiées à la fabrication de références à consommation forte et régulière.
- De nombreuses entreprises travaillent en Juste-A-Temps, à partir d'une programmation faite par une *MRP*, pour gérer de manière détaillée les flux au cours de la première période de la *MRP* (souvent une semaine), en partant des lancements décidés pour cette période. De ce point de vue, le *JAT* est un outil d'ordonnancement et la différence d'usage entre ces approches porte principalement sur l'horizon décisionnel.