

**Les délais dans une chaîne
de transformation**

*Dominique Page - Maître de conférence
IAE d'Aix-en-Provence*

Introduction

Relativement aux différents stades de transformation d'une chaîne de valeurs, une gestion des stocks appropriée demande des indicateurs pertinents quant aux informations relatives au temps. Dans cette perspective on présente dans ce travail trois indicateurs: le temps de cycle, le délai de réassort et le délai de propagation (de remontée) de la consommation.

Le **temps de cycle** permet d'appréhender le délai moyen qui s'écoule entre une consommation (fabrication) à un stade intermédiaire et la livraison du bien final correspondant. A ce titre, cet indicateur est surtout indiqué pour déterminer les volumes de stock souhaitables pour pouvoir satisfaire les demandes **pévisionnelles** futures. Il est considéré comme indicatif du degré de flexibilité du processus de fabrication et de distribution considérée (cf. notamment ABADIE et al [1988]).

Relativement à un bien intermédiaire pris isolément des autres stades de transformation le **délai de réassort** mesure le délai entre le lancement de l'O.F. ou O.A. et la disponibilité en stock du bien correspondant. Il indique donc la réactivité du système au niveau du centre concerné dans le sens où il correspond au délai minimum s'écoulant entre l'expression d'un besoin nouveau et sa satisfaction. Il intervient notamment dans la détermination du point de commande.

Enfin, au niveau d'une chaîne de transformations, les **délais de propagation de la consommation** mesurent les délais qui s'écoulent entre les sorties de stock en bout de chaîne et les sorties des biens intermédiaires **induites par les mécanismes de réassort** et ce aux différents stades de transformation.

A partir de la demande connue ou prévisionnelle en bout de chaîne, la connaissance de ces délais de propagation permet de mieux prévoir les demandes futures relatives aux biens qui se situent en amont dans la chaîne de transformation.

Ainsi, par exemple, lorsque relativement à un stade intermédiaire, ce délai est inférieur au délai commercial,- sous certaines conditions, notamment des conditions de bonne circulation de l'information,- les besoins à considérer lors des lancements des O.F. ou des O.A. peuvent être traités comme des variables déterministes connues et non comme des variables prévisionnelles aléatoires.

Une formalisation et une visualisation de ces indicateurs est d'abord proposée. Dans un deuxième temps, une analyse comparative de ces indicateurs permet de mieux comprendre l'intérêt et les limites de chacun des indicateurs.

I Présentation des délais dans la chaîne d'exploitation

I-1 Formalisme adopté

Dans le cadre d'une chaîne de transformation on définit, dans ce paragraphe, un formalisme qui permet de visualiser l'enchaînement des délais relatifs aux flux physiques aussi bien que ceux attachés aux flux d'informations. Pour ce faire, on se centre d'abord sur le chaînon (i,j) dans lequel on transforme un bien i en un bien j puis on extrapole en considérant la succession de chaînons (h,i), (i,j) de la chaîne (h,i,j).

Dans une chaîne de transformation, relativement au bien de type i, on distingue le centre fournisseur du centre utilisateur (cf.figure 1). On marque cette distinction en notant :

i_f = indice spécifiant qu'on considère le stock de bien i au centre fournisseur de i
 i_u = indice spécifiant qu'on considère le stock de bien i au centre utilisateur de i.

De part et d'autre de l'opération de transformation de i en j, le même centre est perçu comme un centre utilisateur de i et comme un centre fournisseur de j.

Relativement à chacun de ces stocks i_f (ou i_u) on indique les **mouvements physiques** en spécifiant les états: entrée ou sortie de stock par l'adjonction sur la même colonne, que l'indice spécifiant le stock, des exposants e ou s . Ainsi, attachée à une variable (.) la

notation $(.)_{i_f}^e$ indique qu'on considère l'état: entrée dans le stock i au centre fournisseur.

Lorsqu'on considère des **flux d'informations** transitant d'un centre à l'autre pour spécifier au niveau d'un centre qu'on émet ou qu'on reçoit un Ordre d'Approvisionnement (ou de Fabrication) on adjoint à l'indice concerné une flèche --> à droite pour indiquer l'émission ou une flèche <-- à gauche pour indiquer la réception.

Ainsi on notera

$i_U \rightarrow$ = indice spécifiant qu'on considère une information émise par le centre utilisateur de i

$\rightarrow i_f$ = indice spécifiant qu'on considère une information reçue par le centre fournisseur de i .

A ces indices on adjoint sur la même colonne les exposants OA ou OF qui indiquent respectivement s'il s'agit d'un Ordre d'Approvisionnement ou d'un Ordre de Fabrication.

Une flèche entre deux exposants matérialise la passation d'un état à un autre état.

Ainsi, par exemple, on définit:

$d_{i_U \rightarrow i_U}^{s \rightarrow OA}$ = pour le bien i , délai moyen entre les sorties de stock du centre

utilisateur et l'émission par celui ci de l'ordre de réapprovisionnement correspondant.

I-2 Temps de cycle de fabrication

Pour un processus de transformation donné, le temps de cycle peut se définir comme la somme des temps opératoires et inter opératoires qui séparent les entrants (par exemple, les matières premières) des sorties correspondantes (produits finis).

Comme composantes du temps de cycle, relativement au chaînon élémentaire (i,j) de transformation d'un bien i en bien j , on définit successivement les variables aléatoires:

* $d_{i_f \rightarrow i_f}^{e \rightarrow s}$ = durée moyenne séparant l'entrée du bien i en stock au centre fournisseur

de sa sortie (i.e. durée moyenne d'immobilisation du bien i en stock au centre fournisseur de i).

On approche l'espérance de cette durée moyenne comme suit:

$$(1) \quad E \left[d_{i_f}^{e \rightarrow s} \right] = \frac{\text{espérance du stock moyen } i_f}{\text{espérance de consommation moyenne de } i_f \text{ par unité de temps}}$$

Relatif à un ordre de fabrication (O.F.), le stock atteint son niveau minimum: $S_{i_f}^{\min}$ juste avant la première entrée en stock relative au lot lancé ¹ et son niveau maximum: $S_{i_f}^{\max}$ juste après réception de l'ensemble du lot de fabrication considéré.

* $d_{i_f}^{s \rightarrow e}$ = délai moyen s'écoulant entre la sortie du bien i au centre fournisseur de i et l'entrée (la disponibilité) de ce bien au centre utilisateur de i . Le principal de ce temps correspond souvent au temps de transport du centre fournisseur au centre utilisateur ². Mais dans certains types d'organisation, la composante réception de la marchandise et mise à disposition peut également être non négligeable. Ce délai peut être déterministe (notamment s'il est contractuel) ou aléatoire.

* $d_{i_u}^{e \rightarrow s}$ = durée moyenne d'immobilisation du bien i en stock au centre utilisateur de i .

Son espérance peut être approchée comme suit:

¹On suppose ici que la vitesse de consommation est inférieure à la vitesse de fabrication. Dans le cas contraire, le stock minimum peut être atteint après réception de la commande (cf. PAGE [95]).

²S'il existe plusieurs centres utilisateurs du même bien i , on doit alors indiquer l'indice u par un sous indice. Il en est de même lorsqu'on peut approvisionner un même type de bien i chez plusieurs fournisseurs. Cette distinction est importante notamment lorsque les délais d'approvisionnement d'un fournisseur à l'autre ne sont pas identiques. Alors, les temps de cycle ne seront pas identiques. Mais comme le suggère R TREMOLIERES [95] dans une présentation des problèmes de type M.R.P. lorsqu'il y a conflit, pour pouvoir raisonner, on fige un choix quitte à le reconsidérer par la suite.

$$(2) E \left[d_{i_u i_u}^{e \rightarrow s} \right] = \frac{\text{espérance du stock moyen } i_u}{\text{espérance de consommation moyenne de } i_u \text{ par unité de temps}}$$

Relativement à un ordre d'approvisionnement (O.A.) le stock atteint son minimum juste avant la réception de la commande et son maximum juste après réception de la commande.

* $d_{i_u j_f}^{s \rightarrow e}$ = durée moyenne de l'opération de transformation depuis la sortie du stock i_u jusqu'à l'entrée en stock j_f . Cette durée peut être considérée comme déterministe ou aléatoire.

De façon récapitulative, relativement au chaînon (i,j), on peut définir la variable aléatoire:

* $d_{i_f j_f}^{e \rightarrow e}$ = durée moyenne entre l'entrée du bien i en stock au centre fournisseur de i et l'entrée en stock du bien j correspondant au centre fournisseur de j comme la résultante des variables définies ci-dessus:

$$(3) d_{i_f j_f}^{e \rightarrow e} = d_{i_f i_f}^{e \rightarrow s} + d_{i_f i_u}^{s \rightarrow e} + d_{i_u i_u}^{e \rightarrow s} + d_{i_u j_f}^{s \rightarrow e}$$

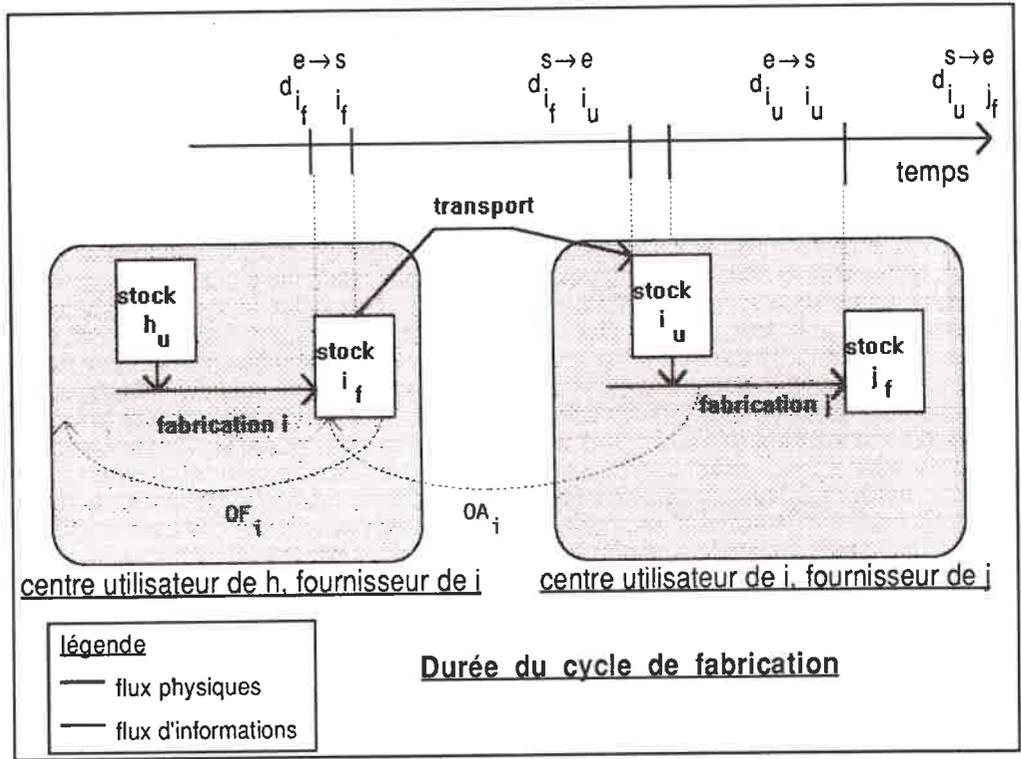


Figure 1

Lorsque, pour le bien i , le stock fournisseur et le stock utilisateur sont confondus ($i_f = i_u$) alors on a simplement

$$(4) \quad d_{i_f, j_f}^{e \rightarrow e} = d_{i_f, i_u}^{e \rightarrow s} + d_{i_u, j_f}^{s \rightarrow e}$$

Par extension, lorsqu'on considère la succession de chaînons (h,i), (i,j) de la chaîne (h,i,j) on peut écrire:

$$(5) \quad d_{h_f \quad j_f}^{e \rightarrow e} = d_{h_f \quad i_f}^{e \rightarrow e} + d_{i_f \quad j_f}^{e \rightarrow e} .$$

I-3 Délai de propagation de la consommation

Relativement au chaînon (h,i), on s'intéresse maintenant au délai moyen qui sépare la consommation du bien i au centre utilisateur de la consommation induite (par le mécanisme du réassort) du bien h au centre utilisateur (i.e. au centre fournisseur de i) (cf. figure 2).

Pour ce faire, on se place dans une tout autre optique que celle du temps de cycle. Dans le cadre du temps de cycle, on a considéré le délai entre la fabrication du bien h et son incorporation dans le bien i. Tandis que dans le délai de propagation, on s'intéresse au remplacement du bien h consommé par la fabrication du bien i.

Ainsi dans l'optique **temps de cycle**, le bien h considéré est fabriqué **AVANT** le bien i (la disponibilité du bien h conditionne la fabrication de i), tandis que dans l'optique **délai de propagation**, le bien h considéré est fabriqué **APRES** le bien i (la fabrication du bien i a consommé du bien h. Il faut reconstituer le stock h pour pouvoir satisfaire les besoins futurs)³.

Relativement au chaînon (h,i) on propose ci-après une décomposition du délai moyen de propagation entre les sorties du bien i au centre utilisateur de celles induites du bien h au centre utilisateur.

³Bien entendu, l'optique délai de propagation n'a de sens que s'il existe initialement un stock et des en cours de h qui permettent de satisfaire les besoins jusqu'à ce que les quantités de rechargement soient disponibles.

Comme composantes de ce délai moyen de propagation on définit successivement les variables:

* $d_{i_u}^{s \rightarrow OA}$ = pour le bien i , délai moyen entre les sorties de stock du centre

utilisateur et l'émission par celui ci de l'ordre de réApprovisionnement correspondant.

Le délai maximum entre une sortie de stock et l'émission de l'O.A. qui concourt à son remplacement correspond à l'intervalle de temps qui sépare deux commandes successives alors que le délai minimum tend vers zéro (les sorties de stock qui surviennent juste avant le lancement de l'O.A.) .

Lorsque le lancement de l'O.A. est déclenché par l'atteinte d'un point de commande ce délai maximum correspond au temps de consommation de la quantité approvisionnée. Dans ce contexte, relativement à une commande, lorsque les flux de sorties sont identiquement distribués, l'espérance de ce délai moyen peut être approchée comme suit⁴:

$$(6) \quad E \left[d_{i_u}^{s \rightarrow OA} \right] = \frac{\text{quantité approvisionnée}}{2 E \left[\text{cons}_{i_u}^{\text{moy}} \text{ (pdt l'intervalle séparant 2 commandes)} \right]} \quad 5,$$

l'intervalle qui sépare la commande considérée de la commande suivante peut être lui même une variable aléatoire. Cela n'a pas d'incidence lorsque les flux de sortie par unité de temps sont des variables aléatoires de même distribution et ce sur un intervalle qui excède, même légèrement, celui qui nous intéresse.

⁴Lorsqu'on s'intéresse au délai de réaction d'une organisation face à des variations de demande, on peut se demander si l'information la plus pertinente est celle de l'espérance du délai moyen ou celle de l'espérance du délai maximum.

⁵Lors de la commande $n+1$, la commande n peut ne pas avoir été livrée. Ceci se produit lorsque les délais de transport sont grands relativement aux intervalles de temps qui sépare les commandes. Il est d'ailleurs intéressant de préciser qu'une grande distance entre le fournisseur et le client n'entraîne pas forcément des stocks importants dès lors que les aléas quant à la durée et aux besoins sont maîtrisés.

* $d_{i_U \rightarrow i_f}^{OA \rightarrow OA}$ = pour le bien i , durée s'écoulant entre l'émission d'un O.A. par le centre utilisateur et sa réception par le centre fournisseur. Ce délai est souvent négligeable dans la mesure où on considère la réception au centre fournisseur et non le traitement de la commande par ce centre

* $d_{i_f \rightarrow i_f}^{OA \rightarrow s}$ = pour le bien i , délai moyen entre la réception de l'ordre d'approvisionnement au centre fournisseur et la sortie de stock correspondante (on suppose qu'au centre fournisseur le stock est suffisant pour satisfaire la commande; en d'autres mots, on n'inclut pas le temps de fabrication: on se met dans une optique dans laquelle il est trop tard pour produire lorsque la commande arrive).

Dans ce contexte, ce délai est obtenu en considérant la durée s'écoulant entre la réception d'une commande et sa connaissance par les services concernés auquel on ajoute le temps de traitement de la commande⁶

* $d_{i_f \rightarrow i_f}^{s \rightarrow OF}$ = pour le bien i , délai moyen s'écoulant entre les sorties de stock du bien i au centre fournisseur et l'émission de l'ordre de fabrication de remplacement (ou l'ordre d'approvisionnement si le centre fournisseur est un intermédiaire commercial). Le délai maximum entre une sortie de stock et l'émission de l'O.F. qui concourt à son remplacement correspond à l'intervalle de temps qui sépare deux O.F. successifs. La prise en compte de ce délai peut être rendue délicate lorsque ce centre fournisseur approvisionne plusieurs centres utilisateurs car les demandes de ceux-ci vont également influencer sur ce délai.

⁶Si les quantités commandées ne sont pas disponibles, on inclura bien entendu le temps de fabrication. Si ce cas de figure est systématique, on se situe alors dans un autre type d'organisation que celui envisagé dans ce travail. Par contre, lorsque la consommation se situe à un niveau supérieur à la "normale" on peut inclure dans ce temps le délai d'ajustement du flux des entrées par rapport aux sorties.

* $d_{i_f \rightarrow i_f}^{OF \rightarrow OF}$ = pour le bien i, indique au centre fournisseur la durée entre l'émission et la réception de l'Ordre de Fabrication. Lorsque l'émetteur et le récepteur sont confondus cette durée est nulle ($d_{i_f \rightarrow i_f}^{OF \rightarrow OF} = 0$)

* $d_{\rightarrow i_f \ i_f}^{OF \rightarrow F}$ = pour le bien i, au centre fournisseur, délai moyen séparant la réception de l'O.F. du début de la fabrication (délai qui est notamment fonction de la disponibilité des moyens de production et du maillage); l'exposant F indique le début de la fabrication au centre fournisseur de i

* $d_{i_f \ h_u}^{F \rightarrow s}$ = durée moyenne s'écoulant entre le début de la fabrication du bien i au centre fournisseur et la prise en considération de la sortie correspondante du composant h_u (le centre fournisseur de i et le centre utilisateur de h sont confondus).

Aussi de manière récapitulative on définit

* $d_{i_u \ h_u}^{s \rightarrow s}$ = délai moyen s'écoulant entre la sortie de stock du bien i chez l'utilisateur

et la sortie de stock induite du bien h chez l'utilisateur

$$(7) \ d_{i_u \ h_u}^{s \rightarrow s} = d_{i_u \ i_u \rightarrow}^{s \rightarrow OA} + d_{i_u \rightarrow \rightarrow i_f}^{OA \rightarrow OA} + d_{\rightarrow i_f \ i_f}^{OA \rightarrow s} + d_{i_f \ i_f \rightarrow}^{s \rightarrow OF} + d_{i_f \rightarrow \rightarrow i_f}^{OF \rightarrow OF} +$$

$$d_{\rightarrow i_f \ i_f}^{OF \rightarrow F} + d_{i_f \ h_u}^{F \rightarrow s}$$

Pour spécifier que la propagation de la consommation se fait en remontant la chaîne des opérations on propose de noter:

$$* \quad dp_{h_u i_u}^{s \leftarrow s} = d_{i_u h_u}^{s \rightarrow s} = \text{délai de propagation de la consommation du bien } i \text{ au bien } h$$

aux centres utilisateurs.

Par extension, lorsqu'on considère la chaîne de transformation (h,i,j) on définit:

$$* \quad dp_{h_u j_u}^{s \leftarrow s} = \text{délai de propagation de la consommation du bien } j \text{ au bien } h = \text{délai}$$

moyen s'écoulant entre les sorties de stock du bien j chez l'utilisateur et les sorties de stock induites du bien h chez l'utilisateur:

$$(8) \quad dp_{h_u j_u}^{s \leftarrow s} = dp_{h_u i_u}^{s \leftarrow s} + dp_{i_u j_u}^{s \leftarrow s}$$

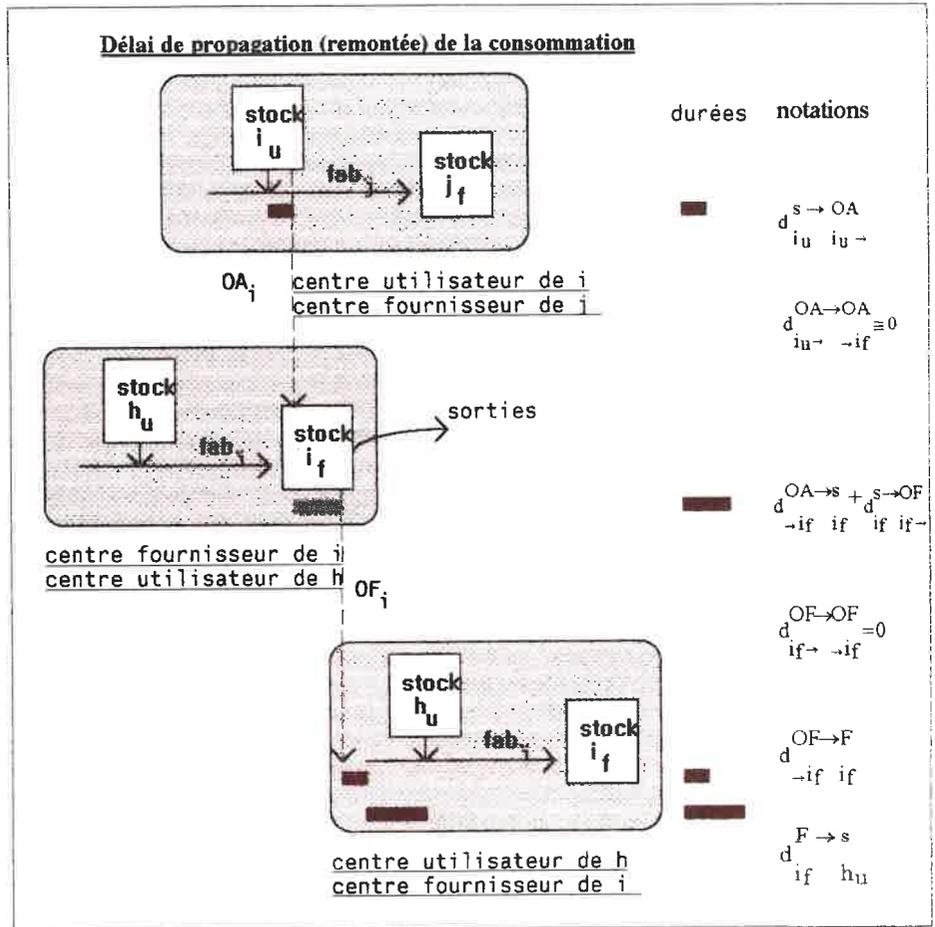


Figure 2

I-4 Délais de réassort

Le délai de réassort correspond à l'intervalle de temps séparant l'émission par un centre aval donné d'un Ordre d'Approvisionnement (ou de Fabrication) de la disponibilité en stock du bien commandé correspondant (fourni par le centre amont).

De cette définition, par rapport à ce qui précède, deux spécificités peuvent être soulignées:

- cette information intéresse directement un seul centre: celui qui émet les O.A. (ou les O.F). En effet, pour éviter la pénurie, lorsqu'il émet son ordre d'approvisionnement, son stock potentiel (physique et en cours d'approvisionnement) doit être tel que la consommation maximale puisse être satisfaite jusqu'à la disponibilité en stock de la quantité commandée. S'il y a lieu, c'est en fonction du délai de réassort que ce centre déterminera le point de commande qui déclenchera les ordres d'approvisionnement⁷.

- dans le délai de réassort on intègre des données relatives à la remontée de flux d'informations du centre aval au centre amont ainsi que des données relatives aux flux physiques du centre amont vers le centre aval. De par cet effet de boucle, comme on le montre par la suite, le délai de réassort va s'exprimer comme une combinaison d'éléments constitutifs du temps de cycle ainsi que d'éléments constitutifs du délai de propagation. Nous avons distingué, ci-après, les cas où le centre aval est un centre utilisateur de celui où il est un centre fournisseur.

I-4 a Délais de réassort au centre utilisateur:

Relativement au stock i , le délai de réassort au centre utilisateur se note:

* $d_{i_U \rightarrow i_U}^{OA \rightarrow e}$ = pour le bien i , délai s'écoulant entre l'émission de l'ordre

d'approvisionnement par le centre utilisateur vers le centre fournisseur et l'entrée en stock correspondant au centre utilisateur.

⁷Si ce délai est aléatoire et si on veut éviter la pénurie, on devra retenir la borne maximale de cette durée. Cependant si les pics de demande sont trop importants, on peut se contenter, par exemple, de retenir comme valeur celle qui assure que dans 80% des cas la durée est inférieure à la valeur retenue.

On propose de décomposer ce délai de réassort comme suit:

$$(9) \quad d_{i_U \rightarrow i_U}^{OA \rightarrow e} = d_{i_U \rightarrow i_f}^{OA \rightarrow OA} + d_{i_f \rightarrow i_f}^{OA \rightarrow s} + d_{i_f \rightarrow i_U}^{s \rightarrow e}$$

Les deux premières variables ont trait aux flux d'informations et ont été définies lors de la présentation du délai de propagation de la consommation alors que la dernière variable concerne les flux physiques et constitue une composante du temps de cycle⁸.

Par ailleurs, en aval de de l'émission de l'ordre d'approvisionnement par le centre utilisateur, on propose d'introduire la composante du délai de propagation:

$$* \quad d_{i_U \rightarrow i_U}^{s \rightarrow OA} = \text{pour le bien } i, \text{ délai moyen entre les sorties de stock du centre}$$

utilisateur et l'émission par celui ci de l'ordre de réapprovisionnement correspondant qui est intéressant de prendre en considération car son ajout au délai de réassort permet de déterminer le temps moyen qui sépare les sorties de stock utilisateur des entrées de remplacement:

$$* \quad d_{i_U \rightarrow i_U}^{s \rightarrow e} = \text{pour le bien } i, \text{ au centre utilisateur, délai moyen s'écoulant entre une}$$

sortie de stock et son remplacement par le mécanisme de réassort

$$(10) \quad d_{i_U \rightarrow i_U}^{s \rightarrow e} = d_{i_U \rightarrow i_U}^{s \rightarrow OA} + d_{i_U \rightarrow i_U}^{OA \rightarrow e} = d_{i_U \rightarrow i_U}^{s \rightarrow OA} + d_{i_U \rightarrow i_f}^{OA \rightarrow OA} + d_{i_f \rightarrow i_f}^{OA \rightarrow s} +$$

$$d_{i_f \rightarrow i_U}^{s \rightarrow e}$$

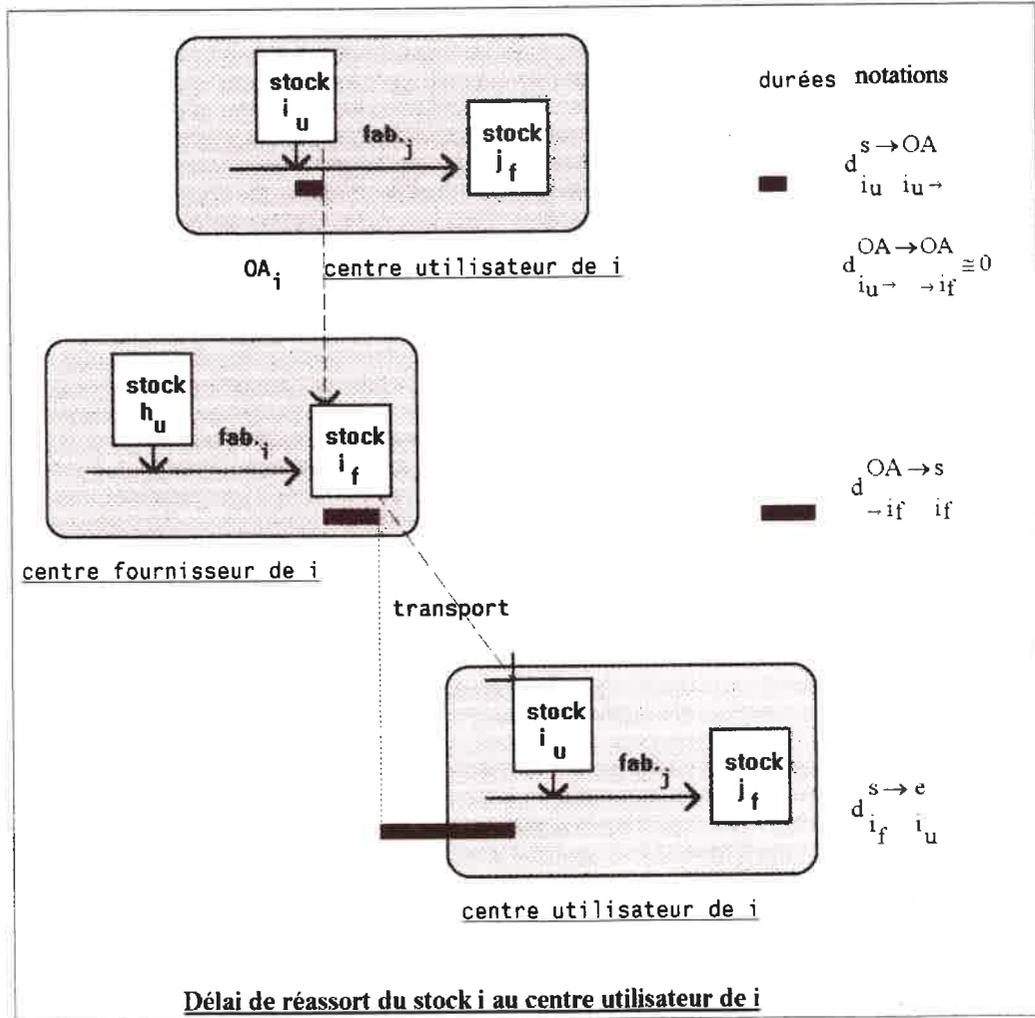
Pour marquer les relations de cause à effet entre les sorties de stock et leur remplacement on propose de noter

⁸Pour simplifier, on a considéré qu'à une commande donnée ne correspond qu'une livraison.

* $dr_{i_u i_u}^{e \leftarrow s}$ = pour le bien i, au centre utilisateur, durée moyenne de remplacement des consommations

$$dr_{i_u i_u}^{e \leftarrow s} = d_{i_u i_u}^{s \rightarrow e}$$

Cette durée n'est pas sans rappeler le temps moyen du "cycle" d'une étiquette dans un système d'information de type kanban.



Délai de réassort du stock i au centre utilisateur

Figure 3

I-4b Délais de réassort au centre fournisseur:

Relativement au stock i , le délai de réassort au centre fournisseur se définit comme suit:

* $d_{if \rightarrow if}^{OF \rightarrow e(1)}$ = pour le bien i , délai s'écoulant entre l'émission de l'O.F. par le centre

fournisseur et l'entrée en stock du premier conteneur au stock fournisseur.

On propose de décomposer ce délai de réassort en trois composantes successives:

$$(11) d_{if \rightarrow if}^{OF \rightarrow e(1)} = d_{if \rightarrow if}^{OF \rightarrow OF} + d_{if \rightarrow if}^{OF \rightarrow F} + d_{if \rightarrow if}^{F \rightarrow e(1)}$$

Les deux premières variables ont trait aux flux d'informations et ont été définies lors de la présentation du délai de propagation de la consommation. La troisième variable est propre à la détermination du délai de réassort au centre fournisseur et se définit comme suit:

* $d_{if \rightarrow if}^{F \rightarrow e(1)}$ = pour le bien i , durée s'écoulant entre le début d'exécution de la

fabrication et l'entrée du **premier** "sous lot" en stock au centre fournisseur. Attention, dans le délai de réassort on ne doit pas considérer la durée moyenne relative à tout le lot mais bien le premier moment où une partie de la fabrication (un "sous lot) est disponible au stock fournisseur; c'est à dire, la durée entre le lancement de la fabrication et la disponibilité en stock du premier conteneur. Cette durée est notamment fonction des temps fixes de réglage.

Par ailleurs, en aval de de l'émission de l'ordre de fabrication émis par le centre fournisseur, on propose d'introduire la composante du délai de propagation:

* $d_{if \rightarrow if}^{s \rightarrow OF}$ = pour le bien i , délai moyen entre les sorties de stock du centre

fournisseur et l'émission de l'ordre de fabrication de remplacement correspondant qui est intéressant de prendre en considération car son ajout au délai de réassort permet de déterminer le temps moyen qui sépare les sorties de stock fournisseur du début des entrées de remplacement:

$$(12) \quad d_{if}^{s \rightarrow e(1)} = d_{if}^{s \rightarrow OF} + d_{if \rightarrow if}^{OF \rightarrow e(1)} = d_{if}^{s \rightarrow OF} + d_{if \rightarrow \rightarrow if}^{OF \rightarrow OF} + d_{\rightarrow if}^{OF \rightarrow F} + d_{if}^{F \rightarrow e(1)}$$

ou encore pour marquer la relation de causalité:

$$dr_{if}^{e(1) \leftarrow s} = d_{if}^{s \rightarrow e(1)}$$

Cette durée n'est pas sans rappeler le temps moyen du "cycle" d'une étiquette dans un système d'information de type kanban, notamment lorsque les ordres de fabrication concernent la fabrication d'un seul conteneur.

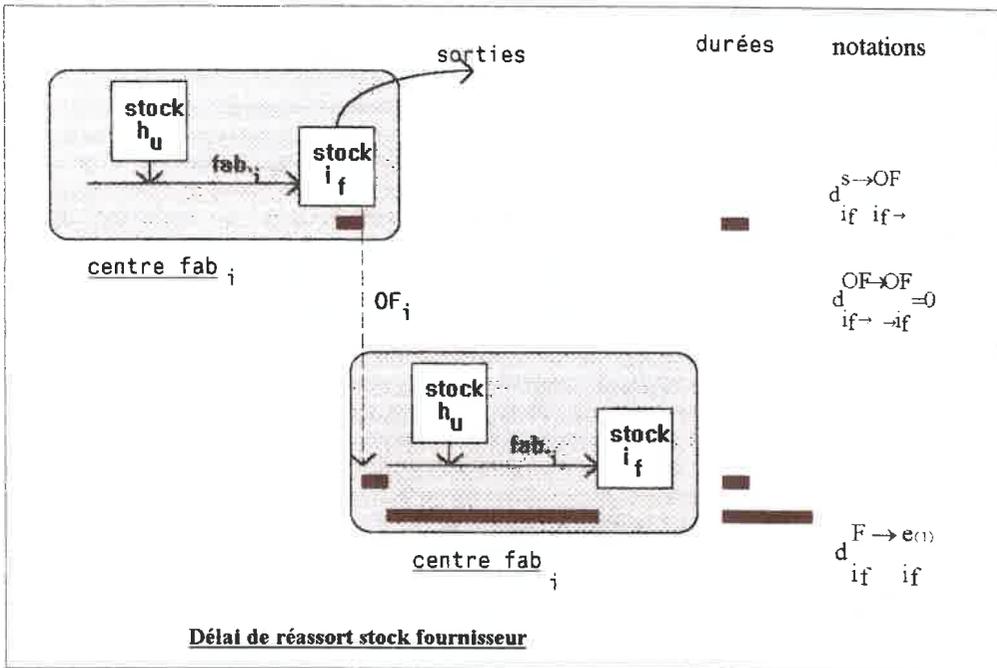


Figure 4

II Relations entre les notions introduites

De façon récapitulative, relativement à la chaîne (h,i,j), dans le tableau 1 ci-après pour chacun des indicateurs présentés, on spécifie les variables concernées (cf. éq. (3), (7), (10) et (11)). Dans un deuxième temps, des relations significatives entre certaines de ces variables sont mises en évidence.

variables	temps de cycle	propagation de la consommation	délai de réassort centre utilisateur	délai de réassort centre fournisseur
$d_{i_f \rightarrow i_f}^{e \rightarrow s}$	X			
$d_{i_f \rightarrow i_u}^{s \rightarrow e}$	X		X	
$d_{i_u \rightarrow i_u}^{e \rightarrow s}$	X			
$d_{i_u \rightarrow j_f}^{s \rightarrow e}$	X			
$d_{i_u \rightarrow i_u \rightarrow}^{s \rightarrow OA}$		X	X	
$d_{i_u \rightarrow \rightarrow i_f}^{OA \rightarrow OA}$		X	X	
$d_{\rightarrow i_f \rightarrow i_f}^{OA \rightarrow s}$		X	X	
$d_{i_f \rightarrow i_f \rightarrow}^{s \rightarrow OF}$		X		

$d_{if \rightarrow \rightarrow if}^{OF \rightarrow OF}$		X		X
$d_{\rightarrow if \rightarrow if}^{OF \rightarrow F}$		X		X
$d_{if \rightarrow h_u}^{F \rightarrow s}$		X		
$d_{if \rightarrow if}^{F \rightarrow e(1)}$	(X) cf. éq. (16)	(X) cf. éq. (16)		X

Tableau 1

Au vue de ce tableau, on s'aperçoit que les variables qui interviennent dans la composition des délais de réassort proviennent aussi bien d'éléments constitutifs du temps de cycle que du délai de propagation de la consommation.

II-1 Relation entre $E \left[d_{i_u \rightarrow i_u}^{e \rightarrow s} \right]$ et $E \left[d_{i_u \rightarrow i_u}^{s \rightarrow OA} \right]$

Comme composant de l'espérance du temps de cycle, l'espérance du délai séparant les entrées des sorties en stock du bien i au centre utilisateur a été définie comme pouvant être approchée, sous certaines conditions, par le rapport:

$$2) E \left[d_{i_u \rightarrow i_u}^{e \rightarrow s} \right] = \frac{\text{espérance du stock moyen } i_u}{\text{espérance de consommation moyenne de } i_u \text{ par unité de temps}}$$

Relativement à un ordre d'approvisionnement (O.A.) ce stock atteint son minimum juste avant la réception de la commande et son maximum juste après réception de la commande.

Si nous définissons comme stock initial le stock juste avant réception de la commande concernée et comme stock final le stock juste avant réception de la commande suivante, on peut écrire:

$$\text{espérance du stock moyen } i_u = (E[S_{i_u}^{\text{initial}}] + \text{quantité approvisionnée} + E[S_{i_u}^{\text{final}}])/2$$

et donc en reportant ce résultat dans l'éq. (2) on obtient

$$(13) \quad E \left[\begin{matrix} e \rightarrow s \\ d \\ i_u \quad i_u \end{matrix} \right] = \frac{E[S_{i_u}^{\text{initial}}] + \text{quantité approvisionnée} + E[S_{i_u}^{\text{final}}]}{2(\text{espérance de consommation moyenne de } i_u \text{ par unité de temps)}}$$

Toutes choses égales par ailleurs (indépendance et stationnarité de la consommation, même règles de décision) les espérances du stock initial et du stock final sont identiques et sont égales à l'espérance du stock minimum. Ils peuvent s'interpréter comme un stock de sécurité servant à couvrir les risques liés au caractère aléatoire de la consommation autour de la moyenne:

$$(14) \quad E[S_{i_u}^{\text{initial}}] = E[S_{i_u}^{\text{final}}] = \text{stock de sécurité.}$$

En tant que composante de l'espérance du délai de propagation de la consommation, l'espérance du délai moyen entre les sorties de stock du centre utilisateur et l'émission de l'O.A. correspondant a été définie comme pouvant être approximée, sous certaines conditions, par le rapport:

$$(6) E \begin{bmatrix} d_{i_u}^{s \rightarrow OA} \\ i_u \rightarrow \end{bmatrix} = \frac{\text{quantité approvisionnée}}{2(\text{espérance de consommation moyenne de } i_u \text{ par unité de temps})}$$

Compte tenu des équations (13), (14) et (6), relativement à une même commande approvisionnée, on peut établir la relation:

$$(15) E \begin{bmatrix} d_{i_u}^{e \rightarrow s} \\ i_u \end{bmatrix} = E \begin{bmatrix} d_{i_u}^{s \rightarrow OA} \\ i_u \rightarrow \end{bmatrix} + \frac{\text{stock de sécurité}}{\text{espérance de cons. moyenne de } i_u \text{ par unité de temps}}$$

Cette relation provient de ce que pour le temps de cycle moyen, on calcule la durée moyenne en stock comme le stock moyen divisé par la consommation moyenne par unité de temps. Or, dans ce stock moyen figure le stock de sécurité qui, par définition, n'existe que pour répondre à des demandes supérieures à l'espérance de demande. Par conséquent, ce stock de sécurité sera présent dans le calcul des durées moyennes. Par contre, la présence de ce stock de sécurité dans un stock utilisateur (ou fournisseur) n'intervient pas dans la détermination de l'espérance du délai de propagation de la consommation.

Les développements relatifs au stock de bien i au centre utilisateur sont parfaitement

transposables au stock de bien i au centre fournisseur lorsqu'on compare

$$E \begin{bmatrix} d_{i_f}^{s \rightarrow OF} \\ i_f \rightarrow \end{bmatrix} \text{ et } E \begin{bmatrix} d_{i_f}^{e \rightarrow s} \\ i_f \end{bmatrix}.$$

II-2 Relations entre $d_{if}^{F \rightarrow s}$, $d_{h_u i_f}^{s \rightarrow e}$ et $d_{if}^{F \rightarrow e(1)}$

La composante $d_{if}^{F \rightarrow e(1)}$ du délai de réassort du bien i au centre fournisseur peut pour les besoins de l'analyse se décomposer (cf. figure 4) comme suit:

$$(16) \quad d_{if}^{F \rightarrow e(1)} = d_{if}^{F \rightarrow s(1)} + d_{h_u i_f}^{s(1) \rightarrow e(1)},$$

avec

* $d_{if}^{F \rightarrow s(1)}$ = durée s'écoulant entre le début d'exécution de la fabrication du bien i au centre fournisseur et la sortie du composant h_u correspondant à la fabrication du premier sous lot⁹ (on rappelle que le centre fournisseur de i et le centre utilisateur de h sont

confondus). Cette durée est une composante de la variable $d_{if}^{F \rightarrow s}$ définie dans le délai de propagation de la consommation.

* $d_{h_u i_f}^{s(1) \rightarrow e(1)}$ = durée s'écoulant entre la prise en considération de la sortie $s(1)$ du composant h_u pour la fabrication du premier sous lot et la disponibilité en stock

fournisseur de ce sous lot $e(1)$. Cette durée est une composante de la variable $d_{h_u i_f}^{s \rightarrow e}$ définie dans le temps de cycle.

⁹pour simplifier, on a supposé, ici, que les sorties de h concernaient des sous lots entiers de fabrication de i . Mais dans la pratique, bien d'autres cas de figure peuvent être envisagés notamment en raison des tailles de conditionnement relatives aux biens h et i .

Lors de la détermination des délais $d_{if}^{F \rightarrow s(1)}_{h_U}$ et $d_{if}^{F \rightarrow s}_{h_U}$, on considère le moment où la consommation de h est prise en considération au centre utilisateur et non le moment où elle se produit effectivement: i.e. les O.A. issus du centre utilisateur sont émis au vue du stock h_U perçu et non du stock physique ¹⁰. Par conséquent, si lors d'un lancement de fabrication de i on retire des stocks (que ce soit physiquement ou par jeu d'écriture) la totalité des quantités de h nécessaires à la fabrication de l'ensemble du lot, on a l'identité:

$$(17) \quad d_{if}^{F \rightarrow s}_{h_U} = d_{if}^{F \rightarrow s(1)}_{h_U}$$

Et si par ailleurs, les entrées en stock fournisseur se font à la fin de chaque projet, on aura l'égalité:

$$(18) \quad d_{h_U}^{s \rightarrow e}_{if} = d_{h_U}^{s(1) \rightarrow e(1)}_{if}$$

Conclusion

Chacun des indicateurs étudié a son utilité propre. Les délais de réassort donnent des indications pertinentes au niveau du seul centre concerné. Par contre, les temps de cycle ainsi que les délais de propagation de la consommation considèrent la chaîne de transformation dans sa globalité.

Le temps de cycle moyen permet de **mesurer la performance** de l'organisation des flux physiques dans une chaîne de transformation. Il intègre, notamment, les délais consécutifs à la présence de stocks de sécurité.

¹⁰Dans certains types d'organisation, on peut même considérer que l'enregistrement de la sortie de stock du bien h au centre utilisateur survient avant le début de fabrication de i. Cela peut être notamment le cas lorsqu'une fabrication n'est lancée que si les composantes nécessaires à sa réalisation sont disponibles en stock.

Le délai de propagation de la consommation est, quant à lui, plus à considérer comme un outil à vocation **opérationnelle** dans le sens où sa connaissance permet d'améliorer les prévisions des demandes futures aux différents stades de transformation.

Comme une utilisation judicieuse de ce délai de propagation requiert une fiabilité suffisante quant à sa mesure, il serait intéressant d'intégrer dans des études ultérieures la dimension aléatoire de cette mesure. Selon les objectifs recherchés, on pourrait notamment s'interroger sur la pertinence de retenir comme indicateur le délai maximum (ou minimum) de propagation de la consommation plutôt que le délai moyen.

BIBLIOGRAPHIE

ABADIE J.-P., COHENDET P., HERAN F., KRASA A., LLERENA P., Réduire les délais de réaction pour améliorer la production, RFG, pp. 91 à 102, janv-fev. 1988

PAGE D., Flexibilité et stocks de sécurité dans une chaîne de valeurs, Actes des premières rencontres internationales de la recherche en logistique, Université d'Aix-Marseille 2, pp. 61 à 76, 1995

TREMOLIERES R., Une nouvelle approche des problèmes MRP, RFG, n°102, pp. 86 à 101, janv-fev. 1995.