

## LE REDEPLOIEMENT DES STOCKS, UNE AUTRE ALTERNATIVE A LA MAITRISE DES COÛTS DE TRANSPORT

Bruno DURAND\*

---

Résumé. - Stocker ou transporter ? Que décider aujourd'hui dans le cadre d'une démarche de minimisation des coûts logistiques ? Le temps de la multiplicité des dépôts semblait révolu. En effet, de 1990 à 2006, force a été de constater la nette diminution du nombre de sites de stockage de petite taille, les dépôts laissant progressivement la place à des entrepôts moins nombreux mais beaucoup plus grands. Cette tendance à la réduction du nombre de lieux de stockage a largement dominé pendant une quinzaine d'années : l'intérêt financier était particulièrement motivant. Parallèlement, on a assisté à la multiplication du nombre de plates-formes de distribution, conséquence directe du développement du flux tendu et alternative indispensable à la maîtrise des coûts de transport. Aujourd'hui, du fait de l'augmentation sensible et durable des coûts de transport, la légitimité de la théorie de la centralisation de l'entreposage, plus précisément celle de la Loi de la Racine Carrée (« Square Root Law »), semble contestée. Certains acteurs économiques (en particulier des distributeurs) ont ainsi commencé à ré-éclater leurs stocks sur plusieurs sites. Le redéploiement du stockage, autre alternative possible à la maîtrise des coûts de transport, serait donc en marche. Qu'en est-il exactement ? L'objet de cet article est de préciser sous quelles conditions une décentralisation des stocks peut devenir pertinente.

Mots-clés : Centralisation de l'entreposage ; Coût de transport ; Coût de stockage ; Loi de la Racine Carrée.

---

\* Maître de Conférences en Sciences de Gestion à l'Université de Nantes.  
Courriel : bruno.durand@univ-nantes.fr.

## 1. Introduction

Au cœur d'un environnement international en constante évolution, les entreprises se trouvent sans cesse confrontées à des mutations organisationnelles et logistiques et ce, quels que soient leur taille, leurs fournisseurs, leurs clients ou leurs secteurs d'activités. Rappelons par exemple que, après avoir été polyvalentes, les unités de production se sont progressivement spécialisées. Parallèlement, la fabrication s'est délocalisée pour partie dans les pays émergents (Europe de l'Est, Maghreb, Chine, etc.). Ces deux pratiques industrielles sont à l'origine de la complexification des flux d'approvisionnement et de distribution, conférant ainsi aux infrastructures logistiques, entrepôts de stockage et plates-formes d'éclatement, une dimension de plus en plus stratégique. La fonction logistique connaît par conséquent une dynamique de recomposition à l'échelle mondiale, impulsée aussi bien par des facteurs environnementaux que par les mutations des stratégies industrielles et de distribution (Dornier et Molet, 1999). Face à une concurrence exacerbée, les entreprises se doivent en effet de rester compétitives, tant au niveau du service (disponibilité des produits, respect des délais de livraison, etc.) qu'au niveau des coûts. Leur savoir-faire en matière de pilotage des flux de marchandises et d'information constitue un atout fondamental dans le management de la supply chain.

De centre de coût, la logistique est progressivement devenue un levier de profitabilité des entreprises. De fait, nous assistons régulièrement à l'évolution des solutions logistiques dans le but de répondre au mieux aux nouveaux défis imposés par l'environnement. C'est notamment le cas au niveau de la distribution : tantôt l'évolution se fait dans le sens de la baisse du niveau des stocks, obtenue par la centralisation de l'entrepôt et la mobilisation de plates-formes de distribution, tantôt elle privilégie la proximité vis-à-vis des clients et favorise ainsi le redéploiement du stockage. Dans tous les cas, l'objectif est d'offrir une solution optimale en termes de quantité, qualité, coût et délais (Caron et Marchet, 1996 ; Wanke et Zinn, 2004). Force est aujourd'hui de constater que les dépôts semblent avoir disparu au profit de sites de grande taille, plus centraux. Effectivement, au début des années 1990, des concepts nouveaux, en particulier ceux d'entrepôt régional (RDC pour « regional distribution centre ») et d'entrepôt européen (ELC pour « European logistics centre »), sont apparus. Ces infrastructures désignent des sites logistiques qui desservent généralement plusieurs pays, voire même des continents entiers tels que l'Europe. Dans cette approche, un continent est considéré comme un marché unique ou comme un ensemble de zones regroupant des pays proches géographiquement et culturellement.

Au cœur de la supply chain, les sites logistiques, entrepôts et plates-formes, constituent de véritables leviers de performance et de compétitivité. Thème de recherche académique à part entière, l'entrepôt fait donc partie des préoccupations récurrentes des logisticiens, donnant lieu parfois à des contradictions étonnantes. Ainsi, comment expliquer par exemple que l'on ait

construit autant de sites de stockage à l'époque où les mérites du 0 stock étaient particulièrement soulignés ? Aujourd'hui, face à la question du redéploiement des stocks, les entreprises ont perçu le danger de rester passives, d'autant que le temps presse. En raison du renchérissement durable des coûts de transport, les logisticiens se demandent effectivement si la centralisation des stocks est toujours aussi pertinente qu'elle a pu l'être et si elle n'a donc pas atteint ses limites. L'objet de cet article est justement d'apporter quelques éléments de réponse. Dans une première partie, nous nous proposons de reprendre les questionnements concernant les stratégies d'entreposage : stocker ou ne pas stocker ? Où le faire et dans quelle proportion ? Nous revisiterons ensuite la théorie de la centralisation de l'entreposage, et en particulier la Loi de la Racine Carrée (« Square Root Law »). Nous en rappellerons les fondamentaux et en proposerons un prolongement. Enfin, dans une troisième partie, nous en préciserons les limites actuelles.

## **2. Stratégies d'entreposage : l'éternelle interrogation**

S'il est une thématique qui revient plus qu'à son tour sous les feux de la « rampe logistique », semble-t-il, c'est bien celle de l'entreposage et plus précisément celle des différentes théories envisageables dans ce domaine. Ainsi, managers et chercheurs s'interrogent de manière quasi permanente sur la pertinence du stockage, sur son intérêt mais aussi sur ses inconvénients (Vallin, 1999). La tension des flux est-elle sans limite ? Faut-il alors stocker ? Si oui, dans quelle proportion ? Et où le faire ? En privilégiant des sites de proximité de petite taille ou bien des infrastructures conséquentes à vocation internationale ? Les questions sont nombreuses et, en même temps, elles sont récurrentes. Afin de brosser l'état de l'art en la matière, nous nous proposons dans un premier temps de préciser la contribution de l'entrepôt à la performance logistique. Nous nous arrêterons ensuite sur l'arbitrage qui s'opère en fonction des coûts de transport et d'entreposage. Enfin, nous insisterons sur les dernières mutations en œuvre : la centralisation des stocks et leur redéploiement éventuel.

### **2.1 L'entrepôt au cœur de la performance logistique**

La performance de la chaîne logistique se mesure en termes de satisfaction des clients, mais également de résultat économique. Concernant la satisfaction du client, nous devons souligner l'augmentation sensible des exigences, en particulier en termes de délai de mise à disposition des produits. La généralisation du flux tendu (synonyme de réduction des stocks), qui se traduit par une hausse des fréquences de livraison, l'illustre parfaitement. Précisons que la satisfaction du client découle des réponses apportées aux quatre questions suivantes (Sohier, 2001) : quel produit livrer ? A quel endroit livrer ? A quel moment livrer ? Quels moyens mettre en œuvre pour livrer ? La démarche logistique doit, par conséquent, se centrer sur l'optimisation

de l'acheminement et du stockage : des matières premières et des produits semi-finis entre unités de production ; des produits finis au sein du canal de distribution. Il appartient donc à la fonction logistique de combler le décalage qui existe entre le moment et le lieu où le bien est fabriqué et le moment et le lieu où le client en a l'usage. Il s'agit là de la dimension spatio-temporelle de la logistique, qui recouvre le stockage des produits en attente de leur vente et de leur distribution.

L'entrepôt occupe, par conséquent, une place stratégique dans la supply chain du fait de son rôle de « régulateur » (Mocellin, 2004). Il est d'ailleurs courant de s'interroger sur le nombre et la localisation des sites logistiques. Pour sa part, l'entrepôt désigne généralement une unité de stockage de grande taille : plusieurs dizaines de milliers de mètres carrés. On peut lui attribuer une vocation de site central, soit dans un groupe industriel international en qualité, par exemple, d'entrepôt mondial de stockage des produits en provenance des différentes unités de production, soit dans un groupe de distribution, par exemple en tant que site européen de stockage des produits importés d'Asie ou d'Amérique. Précisons que, généralement, les sites centraux sont également appelés à jouer un rôle de hub. Quant au dépôt (on parle d'ailleurs souvent de dépôt régional), de taille beaucoup plus modeste, il désigne une unité de stockage plutôt localisée près des lieux de distribution, unité qui garantit des délais de livraison relativement courts.

Si l'efficacité de l'entrepôt implique bien sûr l'optimisation des opérations internes (de la réception à l'expédition, en passant par la préparation de commandes et la différenciation retardée), elle implique encore, et tout d'abord, la détermination du nombre de sites et leur localisation. Or, sur ce point qui concerne alors l'optimisation des opérations externes, les décisions dépendent de plusieurs facteurs : du niveau de l'activité, de la nature des produits, du réseau de distribution utilisé, des infrastructures de communication, de la couverture géographique des marchés, de la nature des fournisseurs, de celle des clients, mais aussi de la pression fiscale locale (Drapier, 2004). Force est alors de constater que deux grandes logiques dominent actuellement les débats au cœur des supply chains :

- ⇒ celle qui privilégie un niveau élevé de service, en particulier une minimisation des délais, et qui se traduit par des livraisons nombreuses à partir d'entrepôts de proximité ou de plates-formes de distribution (voir encadré 1) au détriment des coûts de transport (d'autant que les volumes transportés sont généralement faibles) ;
- ⇒ celle qui, au contraire, permet de minimiser les coûts logistiques, notamment les coûts de transport, en privilégiant des opérations de massification espacées dans le temps (nous ne sommes plus alors en « jour A pour A' » ou en « jour J pour J+1 », mais plutôt sur des livraisons hebdomadaires, par exemple en camion complet).

*Le passage sur une plate-forme, souvent nommé cross docking, constitue une alternative logistique couramment utilisée lors de la distribution de produits à durée de vie courte : produits frais, presse quotidienne, etc. Après leur réception sur une plate-forme, les marchandises en provenance des différents (et nombreux) fournisseurs sont tout d'abord dégroupées avant d'être regroupées quasiment aussitôt selon leurs destinations. Ainsi, un produit qui arrive sur un hub d'éclatement y reste en général moins de 24 heures : il s'agit de transit pur. L'intérêt majeur de cette alternative est d'éliminer le stockage, opération qui s'avère en général onéreuse.*

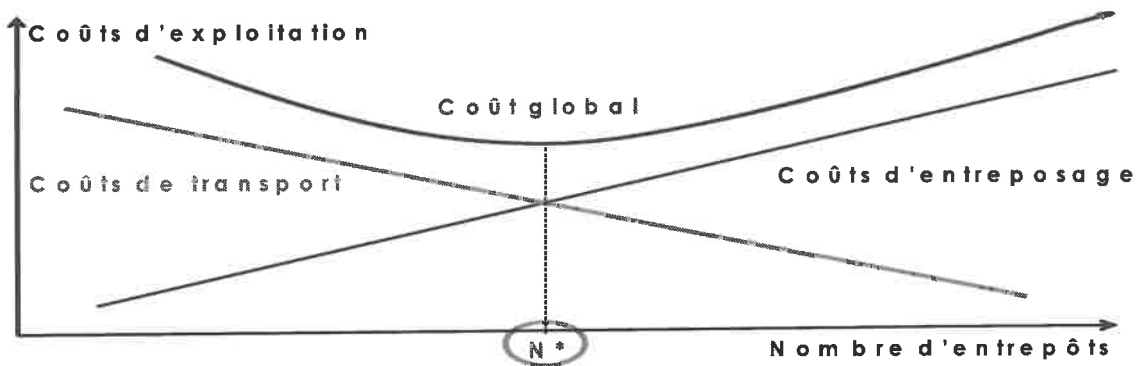
*Au cours des années 1990, la centralisation des stocks a entraîné une mutation des réseaux de distribution (Vallin, 1999) : les structures à deux niveaux de stockage (site central et dépôts régionaux) se sont transformées en structures à un seul niveau constitué de plates-formes de distribution. C'est le cas de Compaq, qui est passé de sites nationaux à un entrepôt unique, implanté aux Pays-Bas et relayé par des unités d'éclatement.*

#### Encadré 1 : Le concept de plate-forme de distribution

## 2.2 Les coûts de transport et d'entreposage, éléments d'arbitrage

La localisation des sites vise à rendre la supply chain plus performante (Vallin, 2008). Quelle que soit la logique adoptée, qu'elle se fonde sur un taux de service élevé ou sur une limitation des coûts logistiques, l'objectif est bien d'améliorer l'efficacité de la chaîne logistique. Dans certains cas, en particulier celui de la recherche d'un coût de transport minimal, la localisation au plus près des points de vente (ou des clients en général) peut sembler *a priori* préférable. Cependant, cette logique implique un nombre plus important d'entrepôts, ce qui entraîne évidemment une augmentation du coût d'entreposage. Soulignons, par ailleurs, que la localisation des sites doit se mener en même temps que la détermination du nombre optimal de sites. Le contraire constituerait en effet un non-sens.

Ce deuxième élément revêt une importance capitale car le coût logistique global dépend du nombre total de sites (Cooper et al., 1992). Or, si un entrepôt donne lieu, dans un premier temps, à un investissement conséquent (de l'ordre de 500 € au mètre carré hors aménagement), il se traduit ensuite par des coûts d'exploitation (ou de fonctionnement) non négligeables. Ainsi, plus on dispose d'unités de stockage et plus le coût d'entreposage est élevé. En revanche, plus le coût de livraison finale est faible, dans la mesure où ces unités sont *a priori* plus proches (car plus nombreuses) des points de livraison, dans l'hypothèse bien sûr de leur répartition homogène. La Figure 1 propose une représentation stylisée de ces variations opposées. Il s'agit, dès lors, de déterminer le nombre d'entrepôts qui permet de minimiser le coût total de distribution.



(Source : d'après Cooper et al., 1992)

Figure 1 : L'arbitrage en fonction des coûts d'entreposage et de transport.

La localisation et le nombre d'infrastructures logistiques relèvent en fait d'une décision stratégique. Il n'existerait pas, en effet, de modèles permettant de déterminer exactement le nombre optimal d'entrepôts à mettre en œuvre (Drapier, 2004), car le nombre de variables à prendre en considération (coût de transport, coût d'entreposage, coût de possession des stocks, niveau de service, nature des produits, type de clients, etc.) est élevé. Dès lors, peut-on vraiment dire qu'une solution est meilleure qu'une autre ? Pourtant, le choix du nombre d'infrastructures et de leurs implantations ne peut se faire de façon arbitraire.

L'arbitrage doit se faire *a priori* en fonction des coûts de transport et d'entreposage. Ainsi, une augmentation du nombre de sites de stockage peut être rentable pour peu que les économies constatées en termes de transport couvrent les coûts qu'imposent ces infrastructures. Par ailleurs, la proximité du client (par exemple du point de vente) conditionne le niveau de service apporté : ainsi plus l'entrepôt est proche du point à desservir, plus la réactivité est facilitée et plus le niveau de service peut être élevé (sous réserve que le produit commandé soit bien sûr disponible sur le site). Ainsi, si des entreprises décident de privilégier des stratégies de site unique afin de centraliser l'ensemble de leur logistique, d'autres choisissent au contraire d'adopter des stratégies basées sur un éclatement des sites avec la proximité comme objectif prioritaire. Il n'y a donc pas une stratégie unique en matière d'entreposage.

### 2.3 De la centralisation des stocks à leur redéploiement

Il semble donc opportun d'analyser les principales tendances observées en termes d'entreposage. Quand on s'intéresse aux dernières décennies, trois périodes semblent s'y succéder :

- ⇒ Avant 1995, l'éclatement des stocks sur un ensemble parfois important (voire anarchique) de sites, nommés « dépôts ».
- ⇒ De 1995 à 2007, la centralisation des stocks sur quelques sites, voire un seul (période de la centralisation).
- ⇒ Depuis quelques mois, le redéploiement progressif des stocks sur un nombre réfléchi et limité d'unités. Dans un contexte d'euphorie et de mondialisation, où les niveaux de service se sont sensiblement améliorés et où le JAT s'est considérablement développé, la gestion des stocks a ainsi progressivement cédé la place au pilotage des flux et à leur massification via des plates-formes de distribution (voir Encadré 1).

Parallèlement, après s'être longtemps appuyée sur des réflexions uniquement menées au niveau national, la localisation des unités logistiques s'appuie désormais sur des raisonnements qui intègrent des groupes de pays. Il suffit de se reporter au milieu des années 1990 et de se souvenir de la diminution du nombre d'implantations nationales au profit de structures transnationales, en particulier européennes, plus importantes en superficie. Notons cependant que, concernant les distributeurs (en particulier les groupes de GSA [grandes surfaces alimentaires]), si la tendance de la centralisation est également avérée, les logiques retenues restent tout de même plus nationales que transfrontalières (Tixier et al., 1996).

Le degré de polarisation des entrepôts (c'est-à-dire de leur centralisation) s'avère donc plus ou moins élevé. Il semble lié à quatre principaux facteurs :

- ⇒ L'internationalisation des marchés, favorisée par une certaine standardisation des cultures et des comportements des consommateurs (concept de « village global »), notamment au niveau des biens d'équipements.
- ⇒ Le développement des réseaux de transport, physiques et informationnels, nécessaire à la limitation des obstacles spatio-temporels.
- ⇒ La recherche d'économies d'échelle, amplifiables par la massification des flux.
- ⇒ Les caractéristiques intrinsèques des produits ; plus la valeur des produits est élevée (et par conséquent leur rotation faible) et plus la centralisation des entrepôts est de rigueur. Ainsi au cours des années 1990, c'est-à-dire à la période « glorieuse » de la concentration des stocks, la stratégie des logisticiens fut-elle de veiller à la disponibilité des produits et à la fiabilité de leurs délais de livraison via des réseaux continentaux voire mondiaux (Dornier et Molet, 1999).

Il suffit d'ailleurs de se remémorer les deux types de configurations de stockage qui se sont alors développés en Europe :

- ⇒ Celle de l'entrepôt central unique (nommé « ELC »), retenue par des firmes multinationales comme Xerox, Compaq ou encore Nike qui, pour sa part, est passé de 25 unités européennes à un site unique basé à Rotterdam et qui a ainsi vu chuter ses dépenses d'exploitation, principalement ses coûts de stockage (Mezouari, 2005).
- ⇒ Celle de plusieurs entrepôts à vocation régionale, le degré de polarisation y étant moindre ; l'Europe est dans ce cas découpée en zones homogènes (habitudes de consommation proches), la plus grande proximité géographique des sites de stockage garantissant un bon niveau de service. Défendant l'idée que la configuration type n'existe pas, des chercheurs ont montré qu'il existait en Europe, en fonction du degré de polarisation, une dizaine de configurations possibles de réseaux logistiques (Tixier et al., 1996).

Par ailleurs, quand on analyse la « vague » des concentrations, on y perçoit des liens avec deux stratégies dominantes (Estampe et Tsapi, 1997) : celle de la standardisation des produits ; plus les produits sont standard (cas d'une partie des PGC), plus la polarisation semble aisée au point de ne s'appuyer que sur un seul entrepôt central ; celle du service client qui impose la proximité des lieux de stockage via des sites à vocation régionale, sur lesquels des opérations de différenciation retardée sont tout à fait envisageables (en particulier l'adaptation de standards aux spécificités locales). Nous devons cependant nous demander pourquoi le processus de centralisation des structures de distribution ne s'est pas généralisé. Certains obstacles au premier rang desquels le transport, point sur lequel nous allons revenir, en auraient *a priori* limité l'expansion. Ajoutons que le manque d'infrastructures de transport de certains pays (d'Europe de l'Est par exemple), ajouté aux différences culturelles et à des problèmes de congestion routière, ne plaide pas forcément en faveur de la centralisation. Dans ce cas, des sites nationaux lui sont alors naturellement préférés.

Si pendant une quinzaine d'années, du début des années 1990 jusqu'en 2006-2007, la tendance dominante fut bien la concentration à outrance des infrastructures logistiques, force est aujourd'hui de constater que de plus en plus de chargeurs sont pris d'un véritable doute. Ainsi, industriels et distributeurs s'interrogent désormais sur le fait de redéployer leurs stocks et sur l'intérêt réel que cela peut représenter. Déjà, certains d'entre eux sont « passés à l'acte ». Il ne s'agit pas tant alors d'améliorer un niveau de service, jugé en général satisfaisant, que de parvenir à contenir l'augmentation des coûts logistiques liée à l'envolée attendue des coûts de transport : le « dérapage » du cours du baril de pétrole en juillet 2008 en constitue certainement le premier signal...

Analysons le comportement des coûts de transport en fonction du degré de polarisation retenu. Si ce dernier est élevé (cas d'un entrepôt unique), la traction d'approche est alors réduite



à son strict minimum : la massification des flux amont, de l'usine au site central, garantit un taux de remplissage élevé, qui limite par conséquent la facture transport. La livraison d'un entrepôt unique induit ainsi un coût de transport amont plus faible que celui d'une livraison capillaire ou diffuse. A l'inverse, le coût de la traction terminale peut s'avérer relativement onéreux pour peu que la disparité et l'éloignement des points de livraison soient élevés (Mezouari, 2005), ce qui peut alors nécessiter des opérations de massification sur des plates-formes de distribution. Au demeurant, dans le cadre d'un système centralisé, le coût du transport aval ne constitue pas systématiquement un handicap si - la couverture de son surcoût est assurée par les économies dégagées au niveau du stockage - ces réductions de coût provenant directement de la baisse du nombre de dépôts à gérer.

Malgré la dérégulation du transport terrestre, liée à l'ouverture des frontières et à l'arrivée de nouveaux et « redoutables » prestataires logistiques, les prix de transport semblent avoir aujourd'hui atteint en Europe un seuil-plancher, en dessous duquel il paraît difficile de descendre. En effet, les récentes variations du cours du baril de pétrole (tantôt à la hausse et tantôt à la baisse) ont sérieusement ébranlé les politiques longtemps jugées attractives de prix de transport tirés vers le bas, remettant du même coup en cause la pertinence de la centralisation des stocks. Aussi, après avoir connu des logiques d'entrepôtage nationales puis transnationales (en particulier paneuropéennes) lors de la « vague » de centralisation des infrastructures logistiques, mouvement qui a parfois conduit à l'unicité de site, nous pourrions assister désormais à une décentralisation réfléchie et progressive des stocks. Ce redéploiement devrait se caractériser par un redécoupage de l'espace de distribution en des zones de consommation homogènes. D'un point de vue économique, l'intérêt de ce « revirement » partiel est évident : le redéploiement des stocks devrait en effet permettre de limiter la hausse, estimée durable, du coût du transport.

### **3. La loi de la racine carrée : rappel et prolongement**

L'état de l'art des stratégies d'entrepôtage étant dressé, il nous faut maintenant revisiter la théorie de la centralisation de l'entrepôtage, et en particulier la Loi de la Racine Carrée. Dans un premier temps, nous allons donc en rappeler les fondamentaux puis, en nous appuyant sur l'étude d'un cas, nous serons amené à proposer une extension.

#### ***3.1 Les fondamentaux de la théorie de la centralisation de l'entrepôtage***

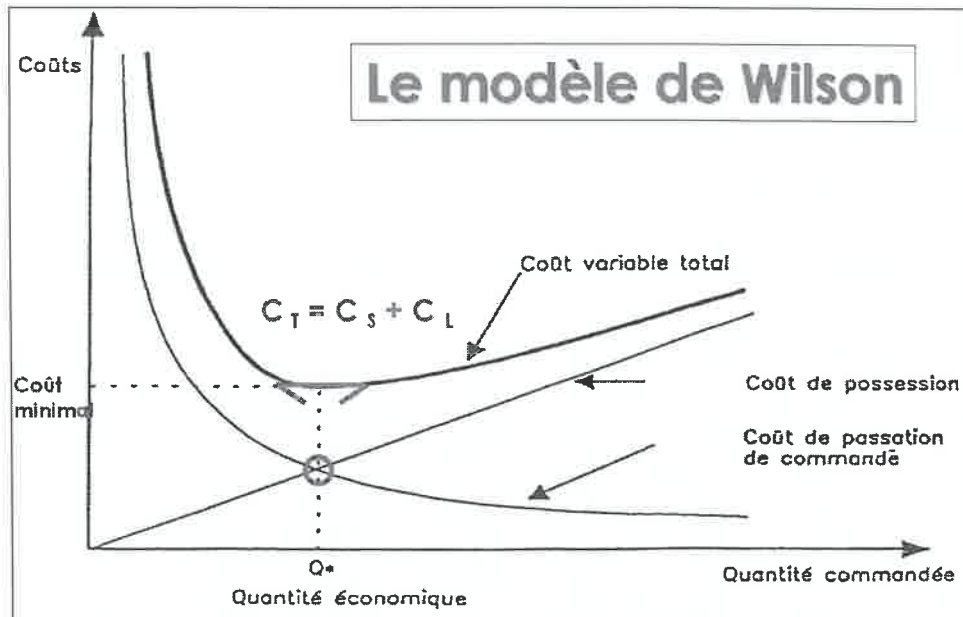
L'approche la plus classique pour déterminer le volume optimal de réapprovisionnement d'un stock réside dans le calcul de la quantité économique à commander (Slack et al., 2004), valeur que nous noterons  $Q$ . Cette méthode souvent désignée sous le nom de modèle de Wilson

(1934), mais que l'on doit en fait à Harris (1913), permet de trouver la meilleure alternative dans la détention d'un stock en mesurant les avantages et les inconvénients : un niveau faible de réapprovisionnement entraîne des coûts de possession des stocks ( $C_s$ ) réduits, mais en revanche des coûts de passation ou de lancement des commandes ( $C_L$ ) élevés du fait de livraisons plus fréquentes. On démontre ainsi que la minimisation du coût logistique global  $C_G$  (somme des coûts de possession des stocks et de lancement des commandes) conditionne le volume  $Q$  de la commande, volume qui doit être égal à :  $\sqrt{2 D C_o / C_h}$ , quantité encore appelée « formule de Wilson ».

Dans cette formule,  $D$  représente la demande sur une période (année, trimestre, etc.),  $C_o$  (« order cost ») désigne le coût de passation d'une commande et  $C_h$  (« holding cost ») le coût unitaire de détention du stock pendant une période donnée. Déduite de cette approche, la Loi de la Racine Carrée (Starr et Miller, 1962 ; Maister, 1976 ; McKinnon, 1989 ; Fernie et Sparks, 2004) constitue la base de la théorie de la centralisation de l'entrepôt. Cette loi affirme que le passage d'un réseau de dix dépôts à un entrepôt unique central se traduit par une réduction des stocks (et donc des coûts) de 68 % (McKinnon, 1989).

- **La configuration initiale : un réseau de 10 dépôts équivalents**  
 Quantité optimale à commander par dépôt :  $Q_d = \sqrt{2 D_d C_o / C_h}$   
 où  $D_d$  désigne la demande traitée sur une période donnée par chacun des dix dépôts.  
 $Q_d$  est obtenue par annulation de la dérivée première du coût logistique global  $C_G$ .  
 $Q_d$  désigne ainsi le volume qui minimise  $C_G$ , avec  $C_G = C_s + C_L$ ,  
 où  $C_s = (Q_d / 2) \times C_h$  et où  $C_L = (D_d / Q_d) \times C_o$   
 Coût minimum global par dépôt et par période :  
 $C_G = (Q_d / 2) \times C_h + (D_d / Q_d) \times C_o = Q_d \times C_h$  puisque  $C_s = C_L$  quand la quantité commandée =  $Q_d$ .  
 Cela correspond au point d'intersection des courbes de  $C_s$ , croissante, et de  $C_L$ , décroissante (cf. Fig. 2).
  
- Coût minimal pour l'ensemble du réseau des 10 dépôts équivalents :  $C_1 = 10 \times C_G = 10 \times Q_d \times C_h$
  
- **La configuration finale : 1 seul entrepôt central**  
 Quantité optimale à commander :  $Q_w = \sqrt{2 D_w C_o / C_h}$   
 où  $D_w$  désigne la demande traitée par l'entrepôt sur la même période que précédemment.  
 On a bien sûr :  $D_w = 10 \times D_d$ , ce qui signifie que :  $Q_w = \sqrt{10} \times Q_d$   
 Coût minimal pour l'entrepôt sur la période :  $C_2 = Q_w \times C_h$   
 c'est-à-dire :  $C_2 = \sqrt{10} \times Q_d \times C_h$  ou encore :  $C_2 = [1 / \sqrt{10}] \times C_1$
  
- **Comparaison des 2 configurations et déduction de la Loi de la Racine Carrée**  
 Taux d'évolution des coûts :  $(C_2 - C_1) / C_1 = ([1 / \sqrt{10}] \times C_1 - C_1) / C_1$   
 Soit :  $(C_2 - C_1) / C_1 = [1 / \sqrt{10}] - 1$  c'est-à-dire en fait : - 68 % (c.q.f.d.).

Encadré 2 : La Loi de la Racine Carrée.



(d'après Baglin et al., 2005)

Figure 2 : Représentation graphique du modèle de Wilson.

### 3.2 Le cas Léonarson, prolongement de la Loi de la Racine Carrée

A titre d'exemple, prenons le cas d'un industriel du Choletais (49). Nous le nommerons Léonarson. Spécialisé dans les produits bruns, Léonarson distribuait, avant 1999, ses produits en Europe via un réseau de 12 dépôts équivalents, tous prestés et situés à proximité de clients importants (grossistes et distributeurs) : Strasbourg, Marseille, Madrid, Bruxelles, Manchester, Naples, Göteborg, Zurich, Hambourg, Prague, Zagreb et Varsovie. En 1998, la demande moyenne traitée par chaque dépôt fut de l'ordre de 48 conteneurs de 40 pieds et ce, sur un rythme régulier d'un conteneur par semaine. Le coût de possession ( $C_h$ ) équivalait à 33.000 € par conteneur en stock et par an (la valeur d'un conteneur approchait le million d'euros), et le coût de passation d'une commande ( $C_o$ ) à 1.375 €. L'entreprise parvint ainsi aux résultats suivants :

$$Q_d = \sqrt{2 \times 48 \times 1.375 / 33.000} , \text{ soit 2 conteneurs par commande ,}$$

Coût minimum global :  $Q_d * C_h$ , soit 66.000 € par an et par dépôt.

Ce qui donna, en 1998, un coût logistique ( $C_1$ ) pour l'ensemble des 12 dépôts proche de 800.000 €. En 1999, Léonarson entreprit de réduire ce coût en se lançant dans une démarche de centralisation des stocks. Le producteur choletais abandonna ainsi son réseau de dépôts au profit de 4 entrepôts régionaux de type RDC, également prestés. Leur localisation s'est faite en

appliquant la méthode du barycentre après avoir, au préalable, ventilé les clients en 4 zones homogènes (voir Figure 3) :

- ⇒ l'entrepôt d'Aix-en-Provence (France) pour Madrid, Marseille et Naples,
- ⇒ celui de Munich (Allemagne) pour Prague, Zurich et Zagreb,
- ⇒ celui d'Amsterdam (Pays-Bas) pour Bruxelles, Manchester et Strasbourg,
- ⇒ celui de Gdansk (Pologne) pour Göteborg, Hambourg et Varsovie.



Figure 3 : Passage du réseau des 12 dépôts à 4 RDC chez Léonarson en 1999.

Rappelons cependant que la méthode du barycentre, qui se veut simple d'utilisation, comporte des limites (Baglin et al., 2005). Cette approche se fonde en particulier sur des distances « à vol d'oiseau », qui n'intègrent donc pas suffisamment les caractéristiques réelles des réseaux de transport existants. En 2000, les 4 RDC traitèrent globalement 588 conteneurs de 40 pieds, soit en moyenne 147 unités par site, c'est à dire en fait une quantité assez proche finalement de celle distribuée en 1998 par l'ensemble des 12 dépôts. Cette fois, Léonarson constata les résultats suivants :

$$Q_w = \sqrt{2 \times 147 \times 1.375 / 33.000} ,$$

$$Q_w = 3,5 \text{ conteneurs par commande} ,$$

Coût minimum global par an et par RDC :  $Q_w * C_h$ ,

soit 115.500 € par an et par RDC.

Comparativement à 1998, le nombre annuel de commandes est ainsi passé en 2000 de 24 à 42, la couverture de stocks passant à l'inverse de 2 semaines à moins de 9 jours. Quant au coût logistique ( $C_2$ ), il s'est élevé à un peu plus de 460.000 € pour l'ensemble des 4 RDC. Ce passage d'un réseau de 12 dépôts à un système plus centralisé composé de 4 RDC s'est donc traduit par une baisse du coût logistique global de l'ordre de 40 %, même si les coûts unitaires de passation des commandes ( $C_o$ ) et de possession des stocks ( $C_h$ ) sont restés stables sur la période 1998-2000. La réduction obtenue nous permet ainsi de proposer un prolongement de la Loi de la Racine Carrée, le passage d'un réseau de  $d$  dépôts à un réseau plus concentré de  $w$  entrepôts (avec  $d > w$ ) se traduit par :

⇒ une augmentation de la quantité optimale à commander par site de :  $[\sqrt{d/w}] - 1$ ,

⇒ une réduction du coût logistique total de :  $[1 / \sqrt{d/w}] - 1$ , c'est-à-dire  $[\sqrt{w/d}] - 1$ .

Dans le cas Léonarson où  $D_w = (12 / 4) * D_d$ , la réduction du coût total,  $(C_2 - C_1) / C_1$ , aurait ainsi été estimée à  $[1 / \sqrt{12/4}] - 1$ , c'est-à-dire 42 %.

## 4. Les limites de la Loi de la Racine Carrée

Depuis 2000, les produits de Léonarson sont donc directement expédiés aux 4 RDC. De ce fait, le coût du transport amont (traction d'approche), de l'unité de production de Cholet vers chaque RDC, est moins onéreux que le coût du transport amont de la solution initiale, quand chaque dépôt était livré en direct. En revanche, le coût du transport aval (traction terminale), des 4 RDC vers les grossistes et distributeurs, constitue désormais un coût sensiblement plus élevé. Cependant, les économies dégagées sur la centralisation de l'entreposage (économies liées à la réduction du niveau global des stocks) permettent ou du moins ont permis jusqu'en 2006 de compenser l'augmentation du coût global de transport.

### 4.1 Remise en cause de la nature du coût unitaire de lancement

La théorie de la centralisation de l'entreposage fait l'objet à l'heure actuelle d'interrogations et de remise en cause. Si le coût du transport amont a baissé du fait de la centralisation des stocks, le coût du transport aval a, quant à lui, augmenté et même « explosé » en juillet 2008 dans des proportions assez imprévisibles. La principale cause en est l'envolée, *a priori* durable, du cours du baril de pétrole et donc du prix du carburant (même si le cours du

baril reste sujet à des effets conjoncturels de « yo-yo »). Conséquence directe, un renchérissement des coûts de transport a été universellement observé. Or, si la facture des prestataires de services logistiques (PSL) s'est allégée dans la mesure où la centralisation de l'entreposage s'est traduite par une diminution du nombre de sites exploités, rien ne prouve pour autant que les économies dégagées sur les coûts de possession des stocks (par réduction des niveaux de stockage), auxquelles s'ajoutent les économies réalisées sur les coûts d'entreposage (i.e. le coût des PSL), soient suffisantes pour couvrir l'augmentation des coûts de transport. C'est la raison pour laquelle la question du redéploiement des stocks (« inventory decentralization ») sur un nombre plus important de structures, plus proches des points à livrer, anime régulièrement les débats logistiques (Schmitt et al., 2008).

Revenons sur la Loi de la Racine Carrée, qui s'appuie sur deux hypothèses fondamentales : les coûts unitaires de passation des commandes ( $C_o$ ) et de possession des stocks ( $C_h$ ) y sont considérés comme des données constantes. Or, si l'hypothèse d'un coût unitaire de possession constant ne pose pas de difficulté particulière, puisqu'il s'agit d'un coût financier complètement indépendant du degré de polarisation, nous nous montrons en revanche plus réservé quant à la deuxième hypothèse. C'est justement sur ce point que la Loi de la Racine Carrée nous paraît, en l'état, discutable. Il nous semble en effet que le coût unitaire de passation ou de lancement ( $C_o$ ) n'est pas une constante, mais bien une variable car il inclut une composante transport qui dépend du nombre de sites exploités. Il suffit d'ailleurs de se rappeler la relation établie entre l'entreposage et le transport par Cooper et al. (1992). Si le nombre de sites est élevé, leur coût d'exploitation l'est également comme fonction croissante : tout d'abord du nombre de sites prestés (factures des PSL) ; ensuite du niveau de stocks détenus. En revanche, le coût de la traction terminale, composante majeure de  $C_o$ , est plus faible du fait de la proximité des points à livrer.

Considérons donc deux scénarios : le premier comprend  $d$  dépôts et le second  $w$  entrepôts. Le coût unitaire de passation de commandes du premier scénario ( $C_{od}$ ) y est plus faible que le coût unitaire de passation du deuxième scénario ( $C_{ow}$ ), dans la mesure où le coût du transport aval des dépôts aux clients est sensiblement inférieur au coût du transport aval des entrepôts aux mêmes clients. Nous montrons alors que si :

$$C_{ow} > (d / w) * C_{od},$$

la Loi de la Racine Carrée se trouve remise en cause, pour peu que l'allègement de la facture des PSL (noté  $A$ ) soit trop faible, c'est-à-dire si  $A < \Delta C$ .

$\Delta C$  représente ici l'augmentation de coût global provenant de la centralisation des stocks :

$$\Delta C = \sqrt{2 D C_h} \times (\sqrt{w C_{ow}} - \sqrt{d C_{od}})$$

où D représente la demande globale (i.e. soit  $d * D_d$ , soit  $w * D_w$ ).

#### 4.2 Le cas Léonarson revisité

A titre d'illustration, revenons sur le cas Léonarson. Avant 1999, cet industriel assurait la distribution européenne de ses produits via un réseau de 12 dépôts prestés. Le coût logistique global annuel s'élevait alors à 800.000 €. En 1999, Léonarson procéda à une centralisation de ses stocks, divisant par 3 le nombre de ses sites d'appui, ce qui lui permit d'abaisser dès 2000 son coût logistique à 460.000 €. La centralisation de l'entrepôt s'était ainsi traduite par une réduction du coût de 40 %. La démarche entreprise par la firme était donc pleinement justifiée.

Courant 2007, le fabricant de téléviseurs a jugé que, du fait du renchérissement sans doute durable des coûts de transport, il y avait une insuffisance dans la Loi de la Racine Carrée : le coût unitaire de passation des commandes, par sa constance, n'intégrait pas du tout l'incidence de la hausse du cours du baril d'or noir. Aussi, rien ne garantissait que la distribution centralisée retenue en 1999 soit bien optimale... Du coup, Léonarson a souhaité faire dépendre son coût unitaire de passation des commandes du degré de polarisation adopté, distinguant ainsi le schéma de distribution centralisée, avec  $C_{ow}$ , du schéma initial basé sur les 12 dépôts, avec  $C_{od}$ , ce dernier coût étant inférieur à  $C_{ow}$ .

En 2007, la demande annuelle s'est élevée à 200 conteneurs de 40 pieds en moyenne par RDC (soit une progression de 36 % par rapport 2000).  $C_{ow}$  ayant été évalué à 2.000 € par commande (soit une hausse de 45 % depuis 2000) et  $C_h$  à 32.000 € par conteneur et par an (soit un niveau très voisin de celui de 2000), Léonarson a obtenu les résultats suivants :

$$Q_w = \sqrt{2 \times 200 \times 2.000 / 32.000} , \text{ soit 5 conteneurs par commande,}$$

Coût minimum global :  $Q_w * C_h$ , soit 160.000 € par an et par RDC.

Le coût logistique global ( $C_2$ ) s'est donc élevé à 640.000 € pour les 4 RDC. Si Léonarson avait conservé son réseau initial de 12 dépôts, quel en aurait été le coût logistique global sous l'hypothèse d'un coût unitaire de passation des commandes différent ? La demande annuelle se serait élevée à 67 conteneurs en moyenne par dépôt et  $C_{od}$  se serait situé à environ 540 € par commande, à un niveau sensiblement inférieur à celui de  $C_{ow}$ , alors que  $C_h$  serait resté constant. Léonarson aurait alors enregistré les résultats suivants :

$$Q_d = \sqrt{2 \times 67 \times 540 / 32.000} ,$$

$Q_d = 1,5$  conteneurs par commande,

Coût minimum global par an et par dépôt :  $Q_d * C_h$ , soit 48.000 € par an et par dépôt.

Le coût logistique global ( $C_1$ ) se serait ainsi élevé à près de 580.000 € pour l'ensemble des 12 dépôts.  $C_1$  aurait donc, sous cette hypothèse de coût unitaire de lancement variable, été inférieur à  $C_2$ , ce qui signifie que  $C_{ow}$  aurait été supérieur à  $(d / w) * C_{od}$ . Or, c'est bien le cas puisque  $C_{ow} = 2.000$  € par commande contre 540 pour  $C_{od}$  :

$C_{ow} = 3,7 * C_{od}$ , ce qui prouve bien que  $C_{ow} > (d / w) * C_{od}$  puisque  $d / w = 3$ .

La Loi de la Racine Carrée, c'est-à-dire l'intérêt de la centralisation des stocks, pourrait ainsi être remise en cause dans le cas Léonarson, pour peu que l'allègement de la facture des PSL soit inférieur à  $\Delta C = \sqrt{2 D C_h} \times (\sqrt{w C_{ow}} - \sqrt{d C_{od}})$ .

Soit  $\Delta C = \sqrt{2 \times 800 \times 32.000} \times (\sqrt{4 \times 2.000} - \sqrt{12 \times 540})$ , c'est-à-dire 64.000 €.

Dans ce cas, le redéploiement des stocks semblerait *a priori* préférable.

## 5. Conclusion

Parce que l'entreposage constitue un élément majeur de la performance de la supply chain, managers et chercheurs s'interrogent régulièrement sur l'évolution des pratiques et des stratégies en la matière. Le temps de la multiplicité des dépôts semblait révolu. A la lumière de l'actualité économique, en particulier de la hausse prévisible du cours du baril de pétrole et de son impact sur les coûts de transport, la centralisation des stocks pourrait avoir atteint sa limite. Ainsi, après avoir assisté à la diminution du nombre de sites de stockage de petite taille et à l'avènement d'entrepôts gigantesques, avènement consacré par la théorie de la centralisation de l'entreposage et par la Loi de la Racine Carrée, nous observons actuellement un retour de balancier avec une vague de redéploiement des stocks. Certains distributeurs vont même jusqu'à recréer leurs réserves en magasin, alors qu'elles avaient quasiment disparu au profit des surfaces de vente. Le modèle d'Ikea est à ce titre intéressant : avec près de 1.400 fournisseurs et 300 magasins sur l'ensemble de la planète, les 30 sites logistiques du distributeur suédois ne sont finalement que des plates-formes de transit : le stockage étant en fait assuré par les magasins eux-mêmes, c'est-à-dire au plus près des clients (Bergström, 2008). Rappelons en effet que l'entrepôt fait partie intégrante du concept de magasin Ikea (le magasin étant généralement conçu sur deux niveaux), et que le consommateur y a pleinement accès afin de constituer sa commande.



Après avoir montré que la réduction du coût logistique global était lié, dans le cadre d'une démarche de centralisation des stocks, au degré de polarisation et plus précisément au rapport de  $d$  sur  $w$  ( $d$  désignant le nombre de dépôts du réseau initial et  $w$  le nombre de sites du réseau centralisé), nous avons également souligné les insuffisances de la Loi de la Racine Carrée. Nous avons notamment remis en cause l'hypothèse d'un coût unitaire de passation des commandes ( $C_o$ ) invariant selon la polarisation et suggéré, par conséquent, une différenciation des coûts unitaires de lancement dans les modèles étudiés (par exemple  $C_{od}$  et  $C_{ow}$ ) dans la mesure où l'évolution des coûts de transport impacte plus ou moins ce coût de passation. Pour terminer, avec la détermination du différentiel de coût ( $\Delta C$ ), nous avons précisé les conditions pour lesquelles la centralisation de l'entreposage n'est plus, en dépit d'une réduction des coûts de stockage, pertinente du fait de l'augmentation des coûts de transport et d'un moindre allègement de la facture des PSL.

A travers cette étude exploratoire, qui met vraiment l'accent sur l'émergence de stratégies de redéploiement des stocks, nous apportons une contribution originale aux travaux les plus récents de la communauté académique dans le domaine de l'entreposage (Croxtton et Zinn, 2005). Cette première investigation nous invite bien sûr à poursuivre notre recherche et à affiner notre analyse, afin notamment de déterminer les cas pour lesquels la théorie de la centralisation de l'entreposage se trouve vraiment remise en cause.

## 6. Bibliographie

- Baglin, G., Bruel O., Garreau, A., Greif, M., Kerbache L., van Delft, C. (2005), *Management industriel et logistique : conception et pilotage de la supply chain*, Economica, Paris.
- Bergström, A. (2008), *Demand and need planning for efficient supply chain operations*, Proceedings of the CeLS Workshop on Global Retail Supply Chain and Marketing Innovations, Jönköping.
- Caron, F., Marchet, G. (1996), *Impact of inventory centralization / decentralization on safety stock for two-echelon systems*, Journal of Business Logistics, Vol. , n° 1, pp. 233-257.
- Cooper, J., Browne, M., Peters, M. (1992), *European logistics : markets, management and strategy*, Blackwell Publishers, Oxford.
- Croxtton, K., Zinn, W. (2005), *Inventory considerations in network design*, Journal of Business Logistics, Vol. 26, n° 1, pp. 149-168.
- Dornier, P.-P., Molet, H. (1999), *Les axes de transformation de la logistique dans le cadre européen*, Revue Française de Gestion Industrielle, Vol. 18, n° 1, pp. 67-83.
- Drapier, L., (2004), *Stratégies logistiques*, Economica, Paris.
- Estampe, D., Tsapi, V. (1997), *Européanisation de la logistique : les grandes tendances*, Logistique & Management, Vol. 5, n° 2, pp. 3-20.

- Fernie, J., Sparks, L. (2004), Retail logistics : changes and challenges, in Fernie J., Sparks L. (Eds.), *Logistics and retail management*, Kogan Page, Londres, pp. 1-25.
- Harris, F. (1913), How many parts to make at once, *Factory : The Magazine of Management*, n° 10, pp. 135-152.
- Maister, D. (1976), Centralization of inventories and the Square Root Law, *International Journal of Physical Distribution*, Vol. 6, n° 3, pp. 124-134.
- McKinnon, A. (1989), *Physical distribution systems*, Routledge, Londres.
- Mezouari, D. (2005), *La centralisation des entrepôts à l'échelle européenne*, Mémoire de DESS Logistique, Université de Paris I Panthéon-Sorbonne.
- Mocellin, F. (2004), *Gestion des entrepôts et plates-formes*, Dunod, Paris.
- Paché, G., Sauvage, T. (2004), *La logistique : enjeux stratégiques*, Vuibert, Paris.
- Schmitt, A., Snyder, L., Shen, Z. (2008), Centralization versus decentralization : risk pooling, risk diversification, and supply uncertainty in a one-warehouse multiple-retailer system, *Proceedings of the 13th Manufacturing and Service Operations Management Conference*, College Park (MA).
- Slack, N., Chambers, S., Johnston, R. (2004), *Operations management*, Prentice-Hall, Upper Saddle River (NJ).
- Sohier, J. (2001), *La logistique : comprendre la démarche logistique, ses exigences et ses répercussions sur la gestion*, Vuibert, Paris.
- Starr, M., Miller, D. (1962), *Inventory control : theory and practice*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs (NJ).
- Tixier, D., Mathe, H., Colin, J. (1996), *La logistique d'entreprise : vers un management plus compétitif*, Dunod.
- Vallin, P. (1999), *La logistique : modèles et méthodes du pilotage des flux*, Economica, Paris.
- Vallin, P. (2008), *Problématiques de la logistique : questions et réponses*, Economica, Paris.
- Wanke, P., Zinn, W. (2004), Strategic logistics decision making, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 34, n° 6, pp. 466-478.
- Wilson, R. (1934), A scientific routine for stock control, *Harvard Business Review*, Vol. 13, n° 2, pp. 116-128.