

2009 / 2010

# **MODULE LOGISTIQUE**

**Philippe Vallin**



# SOMMAIRE

6

<b>1 Chapitre 1 : problématiques de la logistiques.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 Questions stratégiques.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Choix tactiques .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2 Décisions opérationnelles.....</b>	<b>11</b>
<b>1.3 La décision logistique et ses impacts sur les autres services de l'entreprise.....</b>	<b>12</b>
<b>2 Chapitre 2 : Schéma directeur du pilotage des flux.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Les Fonctions du stock.....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Le positionnement du stock stratégique.....	16
a) Le cycle de production.....	16
b) Le pilotage avec stocks intermédiaires.....	16
c) Le délai de livraison du client.....	17
d) Positionnement du stock stratégique par comparaison du temps de cycle et du délai.....	18
<b>2.2 Les trois types de stocks.....</b>	<b>20</b>
2.2.1 Le stock outil :.....	21
2.2.2 Le stock de sécurité :.....	22
2.2.3 le stock spéculatif :.....	22
<b>3 Chapitre 3 : Les modèles d'approvisionnement.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Tenue de stock et gestion des approvisionnements.....</b>	<b>22</b>
3.1.1 La tenue des stocks et photo du stock.....	23
3.1.2 Le pilotage de l'approvisionnement.....	25
<b>3.2 Les critères de gestion.....</b>	<b>25</b>
3.2.1 Les coûts.....	25
a) Le coût de stockage.....	26
b) Le coût d'approvisionnement ou de passation.....	28
c) Le coût de rupture de stock.....	28
d) Coût global de gestion par unité de temps.....	29
3.2.2 Exemple de calcul de coût.....	31
3.2.3 La qualité de service.....	32
<b>3.3 Les politiques d'approvisionnement.....</b>	<b>33</b>
3.3.1 Les types de décision.....	33
3.3.2 Les quatre politiques de base.....	34
a) La politique T, Q.....	34
b) La politique S,Q.....	35
c) La politique T, R.....	35
d) La politique S, R.....	36
e) Les politiques mixtes.....	36
3.3.3 Evaluer une politique d'approvisionnement.....	36

## **4 Chapitre 4 : Optimisation du rythme d'approvisionnement par le calcul économique.**

37

<b>Quand et combien commander ? Le modèle à quantité économique d'approvisionnement.....</b>	<b>37</b>
4.1.1 Hypothèses du modèle .....	38
4.1.2 Modélisation et recherche d'une politique optimale.....	38
4.1.3 Recherche d'une politique optimale : .....	39
4.1.4 Analyse de sensibilité.....	42
4.1.5 Interprétation financière de la valeur de $Q_w$ .....	43
<b>4.2 Généralisation du modèle .....</b>	<b>43</b>
4.2.1 Contraintes sur Q et / ou T.....	43
4.2.2 Cas où le taux d'approvisionnement est fini.....	44
4.2.3 Cas où le prix de revient dépend de la quantité approvisionnée.....	44
4.2.4 Conclusion sur le modèle à quantité économique.....	45
<b>5 Chapitre 5 : La modélisation de la demande.....</b>	<b>46</b>
<b>5.1 Faire face à l'imprévu, le rôle du stock de sécurité.....</b>	<b>46</b>
<b>5.2 Modéliser l'environnement aléatoire.....</b>	<b>46</b>
5.2.1 La notion de variable aléatoire.....	46
5.2.2 Ajuster les modèles théoriques grâce au système de prévision .....	48
<b>6 Chapitre 6 : Dimensionnement du stock de sécurité.....</b>	<b>50</b>
<b>6.1 Dimensionner les stocks.....</b>	<b>51</b>
6.1.1 Politique à réapprovisionnement calendaire et niveau de recomplètement.....	51
6.1.2 Hypothèses du modèle.....	51
6.1.3 Détermination de T et R.....	51
<b>6.2 Politique d'approvisionnement sur point de commande par quantité fixe.....</b>	<b>52</b>
6.2.1 Détermination de S pour limiter la probabilité de rupture par cycle.....	52
6.2.2 Limiter la probabilité de rupture par unité de temps.....	54
<b>6.3 Classer les références.....</b>	<b>55</b>
<b>7 Chapitre 7 : Analyse des coûts de transport.....</b>	<b>55</b>
<b>7.1 Analyse des coûts.....</b>	<b>56</b>
7.1.1 Les coûts de transport.....	56
Le coût du transport routier (voir <a href="http://www.cnr.fr/grilles_couts/e-docs/00/00/00/26/document_grille_cout.phtml">http://www.cnr.fr/grilles_couts/e-docs/00/00/00/26/document_grille_cout.phtml</a> ).....	56
Le coût du transport par fer.....	56
Le transport fluvial.....	57
<b>7.2 La structure de la tarification du transport routier.....</b>	<b>58</b>
7.2.1 La règle du « payant pour ».....	60
<b>8 Chapitre 8 : La rupture de charge.....</b>	<b>61</b>
<b>8.1 Calcul de la surface à prévoir.....</b>	<b>62</b>
<b>8.2 Calcul du coût d'exploitation d'un entrepôt.....</b>	<b>63</b>



# 1 Chapitre 1 : problématiques de la logistiques

Toutes les questions logistiques ne relèvent pas du même niveau de décision, par exemple :

Redéfinir un réseau de distribution pour répondre à la qualité de service exigée par les clients tout en réduisant les coûts de transport et de stock et pour ce faire, choisir le nombre et l'emplacement des entrepôts, définir leur zone de chalandise en prenant en compte les flux d'approvisionnement en provenances des fournisseurs ; réajuster la gamme de production de chaque usine afin d'augmenter la productivité tout en conservant la qualité de service relève d'un choix *stratégique*.

Choisir un prestataire de service, organiser la préparation des commandes en choisissant un système d'information et définir le degré d'automatisation des échanges d'informations est une décision *tactique*.

Mettre au point de concert avec le service marketing, l'approvisionnement des articles soumis à la prochaine promotion, organiser les tournées du jour, choisir de livrer directement de l'usine la commande exceptionnelle sont des décisions *opérationnelles*.

Pourquoi une classification ? Parce que la méthodologie, les informations à recueillir, les analyses à mener, les équipes à mettre en œuvre, les systèmes d'information à mettre en place ne recouvrent pas le même champ ni le même rythme de réalisation.

Bien sûr la frontière n'est pas nette entre ces trois catégories : définir les règles de partenariat avec les fournisseurs, se réorganiser pour obtenir une qualification « ISO » peut se caractériser comme une action stratégique ou tactique suivant le niveau d'intégration des systèmes d'information dans le premier cas et l'ampleur de la réorganisation dans le second. Le choix de la gamme de produits à stocker dans tel entrepôt peut s'avérer tactique ou simplement opérationnel selon l'intensité du lien à mettre en œuvre avec le service commercial (localisation des stocks en fonction des délais de livraison par exemple).

La classification des décisions repose sur la portée de la décision dans le temps, sur la longueur de la chaîne logistique mise en jeu, sur le nombre de responsables de l'entreprise dont l'avis est nécessaire pour sa validation.

Il est possible de dessiner quelques contours.

- est *stratégique* toute question qui engage l'entreprise sur un horizon supérieur à trois ans et qui remodèle une partie importante de la chaîne logistique (stockage + distribution ; approvisionnement + production).

Ces questions se posent tous les quatre à cinq ans.

- est *tactique* tout choix dont les conséquences portent sur un horizon de 6 à 36 mois et couvre l'intégralité d'une des phases du flux logistique : organiser l'approvisionnement des matières premières, localiser l'activité de conditionnement final, confier la distribution à tel prestataire ... La fréquence de tels choix est, en général, bi-annuelle.

- est *opérationnelle* toute décision à court terme de 1 jour à 6 mois, son champ d'action s'étend sur une partie d'un des maillons de la chaîne logistique. Choisir le chemin de livraison (livraison

directe ou regroupement suivi d'éclatement), anticiper une livraison, répartir la pénurie, augmenter le volume de l'approvisionnement pour bénéficier d'une réduction tarifaire, définir un plan de production mensuel...C'est quotidiennement ou hebdomadairement que sont prises ou ajustées ces décisions.

La prise de décision nécessite de définir un ensemble de paramètres :

- le champ de la décision, la profondeur de ses répercussions,
- les ressources mobilisables (humaines, financières),
- les types d'information à utiliser,
- les contraintes à prendre en compte,
- les critères sur lesquels repose l'évaluation de la décision,
- les outils d'aide à la décision,
- les hypothèses sur l'environnement,
- la formalisation, le suivi et le contrôle de la décision.

Le tableau 1.1. présente une liste non exhaustive de problématiques logistiques. La classification proposée n'est qu'indicative car les frontières entre classe sont généralement floues. Le choix des fournisseurs relève aussi bien de la production que de la logistique amont. La révision de la gamme de produits peut être considérée comme stratégique ou tactique.

Tableau 1.1 Problématiques logistiques

<b>Problématique</b>	<b>Logistique amont</b>	<b>Production</b>	<b>Logistique aval</b>
Stratégique	Choix des fournisseurs	Choix d'investissement ; robotisation	Conception de réseau
	Mise en place d'un partenariat	Localisation de la production des gammes	Externalisation ou moyen propres
	Mise en place d'une politique de flux tendus	Choix de délocalisation	Choix d'un mode de transport
	Schéma directeur d'échange d'information (EDI)	Conception de nouveaux produits	Schéma directeur d'échange d'information (ECR ; GPA)
	Mise en place de système d'information	Mise en place de système d'information	Mise en place de système d'information
Tactique	Démarche de qualification	Démarche de qualification	Démarche de qualification
	Définition des règles d'approvisionnement	Redéfinition de la gamme de produits	Choix d'un prestataire
	Appel d'offre vers des prestataires	Schéma directeur à moyen terme	Mise en place d'un système de prévision de la demande
	Plan de ramassage inter sites	Dimensionnement des ressources	Mise en place d'un tableau de bord
	Localisation des stocks de matières premières	Charte de qualité	Choix d'un routage de livraison par client produit
Opérationnelle			Définition d'un cahier des charges
		Contrôle et suivi de la production	Organisation de tournées ; définition des zones de chalandise
	Suivi des stocks de matières premières	Ordonnancement court terme	Réalisation des prévisions
	Approvisionnement spéculatif		Gestion des stocks
	Localisation des stocks saisonniers	Gestion du personnel direct et temporaire	Gestion des contre-flux, retours, conditionnement
		Anticipation de production	Gestion de la pénurie

## **1.1 Questions stratégiques.**

La réponse aux questions stratégiques remet en cause la quasi-totalité de l'organisation antérieure de l'entreprise. Prenons l'exemple du regroupement d'une distribution européenne sur un entrepôt central (multinational) en partant d'une situation initiale où chacun des principaux pays possédait son propre stock. Ce choix va remettre en cause :

- l'organisation commerciale, dont les acteurs étaient habitués à travailler avec l'entrepôt national et avaient mis au point des procédures locales ;
- la production dont le plan directeur ne vise désormais la satisfaction que d'un seul client, l'entrepôt central ;

- l'organisation des transports, les transports « amont » allant des usines vers le dépôt qui s'intensifient puisqu'il n'y a plus qu'un seul entrepôt et les transports « aval » qui s'allonge en partant du nouveau dépôt pour livrer les mêmes clients ;
- la gestion des stocks, il n'y a plus qu'un seul stock et le système de prévision des ventes qui traite des chroniques plus agrégées ;
- et, évidemment le système d'information qui doit être remis à plat.

Pour mener à bien cette opération, il faudra constituer une équipe interne et souvent faire appel à un cabinet de conseil qui apportera une vision extérieure ainsi que des éléments de comparaison (*benchmarking*). Chacune des fonctions de l'entreprise devra définir un correspondant qui interviendra périodiquement pour collaborer avec l'équipe chargée du projet.

Le budget d'un tel projet s'élève à plusieurs centaines de K€. Une préétude est généralement lancée pour estimer si les enjeux sont à la hauteur des investissements.

Les informations utilisées sont des informations synthétiques "macro-économiques" : flux par grandes familles logistiques et canaux de distribution, ratios de productivité moyens, prix moyen du marché. Il est fait abstraction de toute situation exceptionnelle résultant de négociations locales temporaires.

Les contraintes à prendre en compte sont les moins nombreuses possibles. On cherche à "mettre à plat" toute l'activité, tenter de ne pas être conditionné par l'existant pour ne pas laisser échapper une solution réalisable qui peut s'avérer judicieuse. C'est la situation idéale qui est recherchée même si, à moyen terme, chacun sait qu'il est peu probable de l'atteindre.

Les critères de choix sont multiples : niveaux des investissements, coûts futurs d'exploitation, qualité de service bien sûr, mais également gestion du personnel, image commerciale, évolution de la culture d'entreprise, adaptabilité, sécurité, fiabilité de fonctionnement.

On utilisera généralement des simulations de scénarios que l'on évaluera sur les critères retenus. Ces simulations faisant appel à des phases d'optimisation.

Des hypothèses sur l'environnement seront retenues : évolution à moyen et long terme de la structure de la distribution de la demande (tendance des choix des consommateurs). L'élaboration de la nouvelle politique stratégique est suivie par un comité de pilotage regroupant des membres du comité de direction et les responsables des différentes fonctions. Les options prises sont soumises à la critique des agents opérationnels.

Ces études se traduisent par un schéma directeur et un planning prévisionnel de mise en place.

## **1.1 Choix tactiques**

Dans le cadre du plan stratégique, les évolutions de l'environnement économique, du marché, de l'offre des fournisseurs, de la législation obligent la direction logistique de l'entreprise à faire évoluer le réseau et les règles de la distribution.

L'objectif du choix tactique est de répondre à moyen et court terme (quelques mois) à la nouvelle demande, aux dysfonctionnements constatés en modifiant les règles de pilotages, d'exploitation des ressources, de traitement de l'information.

Il s'agira, par exemple, de sélectionner un prestataire de transport ou d'entreposage, de renégocier un tarif de prestation, de choisir un mode de transport, de mettre au point un système de prévision, de localiser dans la chaîne logistique les opérations de personnalisation du produit, de définir les règles de relations avec les clients ou les fournisseurs, de gérer la fin de vie d'un produit ... Il ne s'agit plus de choisir les grandes orientations générales mais d'agir au mieux en respectant ces orientations dans le cadre des structures existantes.

On ne remet pas en cause le réseau de distribution (le nombre d'entrepôts, la gamme produite par chaque usine sont imposés).

Le type de ressources reste inchangé : le choix entre le recours aux prestataires ou aux ressources propres a été fait.

C'est à la direction logistique qu'incombe la responsabilité du choix tactique, à charge pour elle de s'assurer de la cohérence et de la faisabilité de son choix avec l'action des autres directions telles que système d'information, ressources humaines, commerciales.

Qu'attend-on du choix tactique ?

- une définition claire de la cible,
- un plan de redéploiement des ressources humaines et matérielles,
- de nouvelles procédures consignées dans un cahier des charges précis, par exemples la rédaction d'un cahier des charges d'une relation de partenariat avec un prestataire ; la définition d'une procédure d'élaboration de prévision des ventes),
- la construction et la diffusion du tableau de contrôle pour l'évaluation et le suivi des actions entreprises.

De quoi a-t-on besoin pour faire ce choix ?

- d'une *information précise et cohérente* sur les flux physiques et d'informations par familles de produits, canaux de distribution, régions géographiques,
- de s'assurer de la pérennité de ces informations à moyen terme et des éventuelles tendances,
- de la mesure des coûts et la qualité de service de la situation actuelle.

Quelles sont les étapes ?

- Caler l'existant : faire la photographie la plus exhaustive et fidèle possible : vérifier la véracité des coûts et de la qualité de service par une étude de la cohérence des informations exploitées (exemple : comparaison de la qualité des services perçue par le service commercial et par les clients) ;  
faire la chronologie des étapes de disponibilité des informations (dans les procédures actuelles et pour l'étude) ;  
repérer les traitements parallèles identiques effectués dans les langages (unité, présentation) différents.
- Définir le faisceau d'actions possibles, les relations avec les parties prenantes liées à ces actions, les impacts sur les autres activités (allègement d'une charge sur un site, surcharge sur l'autre).
- S'assurer que le langage utilisé pour la description du choix est compréhensible par tous. C'est-à-dire que les unités utilisées correspondent bien à la sensibilité des interlocuteurs concernés (les tonnes n'intéressent pas les commerciaux, les palettes, les produits finis n'intéressent pas les approvisionnements de matières premières).

- S’informer et informer avant la mise en place pour vérifier la cohérence et la conformité de l'action prévue (possibilités techniques, légales, ...).
- Jalonner les étapes de mise en place, nommer un responsable de suivi et s'entendre sur les critères d'évaluation avant toute action.
- Mettre au point un tableau de bord synthétique, clair et lisible par tous.

## **1.2 Décisions opérationnelles**

Le fonctionnement de la distribution rencontre chaque jour de nouvelles situations auxquelles il s'agit de faire face. On peut distinguer deux cas :

Structurellement, la situation se modifie chaque jour : les livraisons à effectuer dépendent des commandes reçues et nécessitent la constitution quotidienne de tournées de livraison et d'affectation des ressources. Les stocks évoluent et l'approvisionnement doit être déclenché au bon moment et pour une quantité judicieuse.

La situation se modifie de façon accidentelle : demande exceptionnelle, arrêt improvisé de la production, non disponibilité spontanée d'une ressource d'approvisionnement ou de distribution, réponse à une demande urgente.

Contrairement aux choix tactiques on ne s'appuie pas dans ce contexte sur une estimation d'une évolution à court terme. La seule information disponible par anticipation est la prise de conscience de l'émergence de telles situations.

Les caractéristiques des décisions opérationnelles sont :

- le délai court (de l'ordre de la journée), pour la prise de décision ;
- la limitation d'échange d'informations inter service, cette décision se prend d'une façon autonome au niveau du service ;
- l'obligation de rester dans le cadre des ressources propres planifiées.

Qu'attend-on d'une telle décision ?

- De répondre rapidement à la demande en exploitant le plus économiquement possible les ressources propres et externes.
- Qu'elle s'inscrive dans les orientations (qualité de service, coût, règle de partenariat) fixées par les choix tactiques.

De quoi a-t-on besoin ?

- De bien avoir anticipé le champ des éventualités possibles ;
- d'avoir une vision objective de la fréquence des événements ;
- de disposer d'un système d'information réactif et précis ;
- d'élaborer un ensemble de procédures à jour couvrant le plus grand nombre de situations possibles ;
- de se doter d'outils informatiques pour toutes les opérations automatisables et laisser au gestionnaire le rôle de contrôle et de validation.

Quelles sont les étapes ?

- Contrôler l'évolution du contexte de l'activité : accroissement ou perte de clientèle (modification des « référencements » dans la grande distribution), évolution des fournisseurs, des capacités de production, de la gamme de produits et de ses caractéristiques logistiques.
- Utiliser un système de prévision (que ce système soit manuel ou automatisé) et mesurer régulièrement son efficacité. Positionner un système de capteurs le plus en aval possible dans la chaîne de distribution (EDI, ECR, cf. Chapitre 5) ; le plus en amont possible dans la chaîne d'approvisionnement (partenariat avec le fournisseur).
- Vérifier la cohérence des différentes prévisions réalisées par les différents services.
- Mettre en action un système d'alarme en cas de non réponse à la demande exprimée (rupture de stock, stock obsolète, délais trop longs, livraisons partielles, segmentées et ou différées ...).
- Contrôler la qualité du système de tenue des stocks (photo du disponible et des encours) et du système de transmission de la demande.

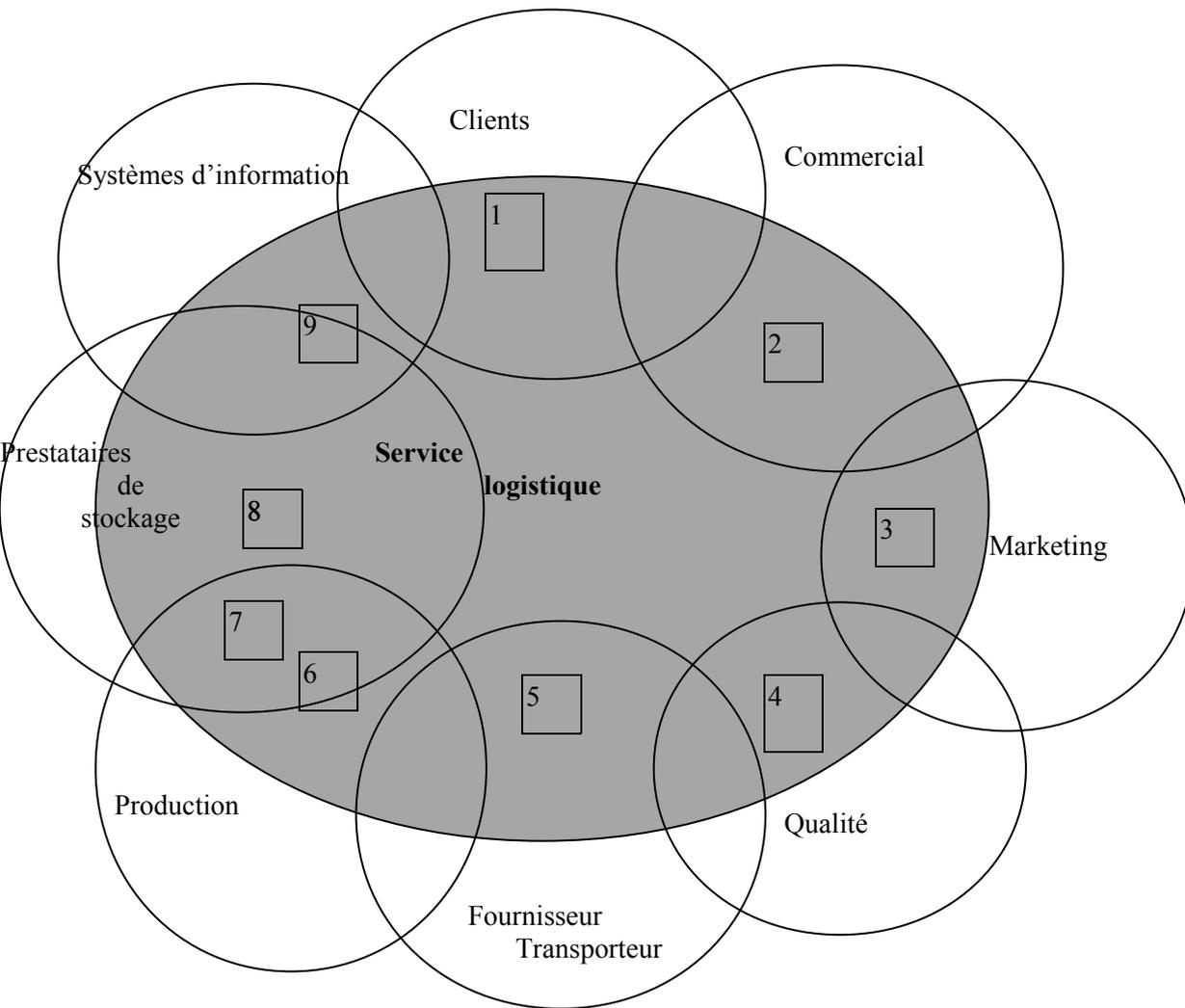
### ***1.3 La décision logistique et ses impacts sur les autres services de l'entreprise***

Sur le graphique suivant, nous schématisons les diverses relations qui existent entre un service logistique et les autres services et partenaires de l'entreprise pour les décisions tactiques et opérationnelles.

Au niveau stratégique, il faut bien sûr ajouter les relations avec la direction générale et la direction financière.

Schéma 1 .

INTERFACES DE RESPONSABILITÉS  
du SERVICE LOGISTIQUE



## LÉGENDE DES INTERFACES DE RESPONSABILITÉS

### **1. Mesure de la qualité de service.**

- . Définition du plan de palettisation et de chargement.
- . Organisation des livraisons clients (fréquences délais). suivi des livraisons.

### **2. Prévision des ventes sur un horizon glissant.**

- . Tableau de bord de la qualité de la livraison (délai, rupture).
- . Etablissement des capteurs d'informations aval.

### **3. Définition de la gamme, mesure de l'impact sur la logistique et le stockage.**

- . Gestion des opérations promotionnelles.

### **4. Définition des normes de conditionnement de transport et de stockage.**

### **5. Négociation avec les transporteurs, choix des prestataires.**

- . Approvisionnement des produits de conditionnements (aspect transport).

### **6. Définition des plannings d'enlèvement et plans d'approvisionnement des emballages et matières premières.**

### **7. Choix de l'affectation des produits finis sur les entrepôts de distribution**

### **8. Tenue et gestion des stocks extérieurs.**

- . Choix des prestataires.
- . Mise au point du partenariat (échange d'informations, cahier des charges et tableaux de bord).

### **9. Définition des besoins informatiques.**

- . Mise au point des échanges de données informatisées, mise en place d'un système cohérent d'information ...

## **2 Chapitre 2 : Schéma directeur du pilotage des flux**

## **2.1 Les Fonctions du stock**

Dans ce chapitre, notre réflexion porte sur l'organisation du flux entre le fournisseur et le client final. Remarquons que la notion de fournisseur et de client final dépend de l'amplitude de la chaîne logistique étudiée. Dans une étude globale, il peut s'agir du fournisseur extérieur de matières premières et, à l'autre extrémité du client final « destructeur » du produit fini. Dans une étude plus restreinte, le fournisseur peut être un service intermédiaire amont chargé d'une phase de la production et le client final un agent ou prestataire à qui est confiée la distribution.

La notion de client et de fournisseur est donc relative au champ de l'analyse. Dans la chaîne logistique constituée de maillons qui correspondent aux différentes phases du flux : approvisionnement des matières premières, transformation 1, transformation 2, ..., montage, conditionnement, préparation expédition, livraison, le client du maillon amont est fournisseur du maillon aval. La dernière chaîne de montage est fournisseur du service de conditionnement et client du dernier atelier de fabrication de composants.

Nous parlerons donc dans l'analyse qui suit de « fournisseur », début de la chaîne étudiée, et de « client » fin de la chaîne ou des phases intermédiaires de transformation. Etant entendu que la notion de transformation ne signifie pas uniquement une modification physique mais peut représenter un transport, c'est-à-dire une modification de localisation du produit ou semi-produit.

Cette vision partielle de la chaîne logistique incite à parler de production sans stock ou gestion en flux tendus. En pratique, les gestionnaires tentent de diminuer les stocks, ils ne peuvent les faire disparaître complètement. Les stocks existent toujours mais leur situation dans la chaîne logistique est modifiée et leur volume ajusté. C'est en particulier le cas dans l'industrie automobile où les stocks sont « remontés » soit chez les fournisseurs, soit sur des « stocks avancés », près des usines de montages, gérés par les fournisseurs, ou un prestataire commun, Dans la grande distribution de produits importés où les flux de ne peuvent être gérés sans stock entre les sites de production d'Extrême Orient et les marchés européen.

Analysons ci-dessous le besoin de création du stock et son positionnement dans la chaîne logistique.

### 2.1.1 Le positionnement du stock stratégique

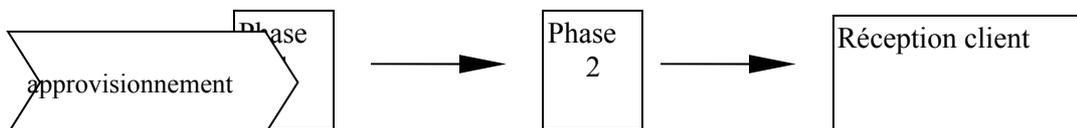
#### a) Le cycle de production

Toute production au sens large (nous considérons la distribution, l'offre de service comme une production) possède un cycle. Ce cycle est l'intervalle de temps entre la réception de la matière première (relative au tronçon de chaîne étudié) et la remise du produit «fini» au client. Pour des raisons techniques et organisationnelles ce cycle se décompose en sous-cycles ou phases de production qui ne nécessitent pas les mêmes types de ressources. Quel que soit le secteur d'activité on retrouve cette segmentation technique.

- Dans le secteur alimentaire : fabrication de la pâte de fromage puis affinage puis conditionnement.
- Dans le secteur textile : approvisionnement de fil, tissage, teinture de l'écrû, coupe, confection...
- Dans le secteur mécanique : achat de composant, montage de sous-ensembles, montage final...
- Dans la distribution : approvisionnement en amont, stockage ou éclatement, préparation des commandes, livraison finale.
- Dans les services : mobilisation des ressources (humaines ou matérielles), affectation des ressources, traitement du service...

Certaines de ces phases peuvent être traitées en parallèle mais il existe toujours un chemin critique qui est l'épine dorsale de la production le long de laquelle des phases doivent se succéder et cette suite conditionne la durée du cycle. Nous représenterons dans le Schéma 1 le cycle de durée fixée par l'enchaînement des phases critiques.

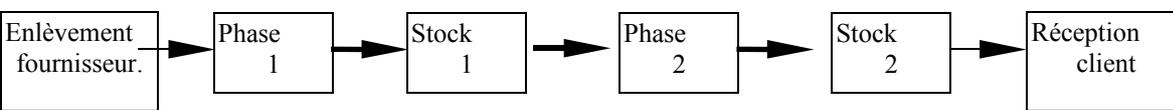
Schéma 1 : Cycle de production



#### b) Le pilotage avec stocks intermédiaires

Dans l'organisation classique taylorienne, chaque responsable de phase anticipe les besoins de la phase aval, lance une production en poussant le flux jusqu'à un stock intermédiaire qui sera débité par les besoins du processus aval qui, à son tour anticipe les besoins de son client (phase suivante). Nous obtenons donc le Schéma 2 suivant :

Schéma 2 - Les stocks intermédiaires de l'organisation classique



→ : représente un flux poussé mis en mouvement par le maillon amont sur la base de **prévision** du besoin aval par le maillon amont.

→ : représente un flux tiré mis en mouvement à la demande du maillon aval sur la base de ses besoins.

Dans cette organisation de type MRP (Material Requirements Planning), les besoins en composants, sous ensemble et produits finis sont planifiés, prévus mais comme, par définition, les prévisions ne correspondent pas exactement aux besoins réels, pour des raisons de qualité de service le gestionnaire de la phase amont a naturellement tendance à surévaluer les besoins aval et constituer *un stock de sécurité*.

La sécurité d'approvisionnement de la phase aval n'est pas l'unique raison de l'apparition du stock intermédiaire, deux autres raisons d'ailleurs indépendantes peuvent justifier ce stock : des raisons techniques, des raisons économiques.

*Les raisons techniques* : la souplesse de l'outil de production ne permet pas d'ajuster la production à la quantité demandée : dans la fabrication du verre faire fondre, après montée en température, quelques kilos de matières premières dans un four d'une capacité de plusieurs tonnes s'avère impossible ; dans l'industrie pharmaceutique, la fabrication par lot s'impose tant pour le contrôle que pour des raisons techniques.

*Les raisons économiques* : l'outil de production permet techniquement de s'ajuster à la production, mais la mise en route de celle-ci implique une telle charge fixe que la production de petites séries est antiéconomique. C'est le cas de toute activité où un réglage ou nettoyage préliminaire s'avèrent coûteux et conduisent à une production des premières unités dites de second choix. Prenons les exemples de l'impression, du réglage d'une chaîne de conditionnement, de remplissage, de fabrication de peinture. On peut toujours transporter 10 tonnes avec un camion d'une capacité de 24 tonnes, mais le salaire du chauffeur et l'amortissement du camion pénalisent économiquement cette décision (cf. chapitre 4). On remarque donc que la mise en mouvement d'un flux pour satisfaire un besoin parfaitement connu, peut engendrer un stock intermédiaire à cause du manque de flexibilité du générateur amont ou de la recherche d'une économie. Seul le stock de sécurité disparaît puisque le flux tiré, devant satisfaire la demande, a été parfaitement évalué.

### c) *Le délai de livraison du client.*

Selon les secteurs d'activité, en fonction des pratiques de la concurrence et de leur poids économique respectif, le client et le fournisseur s'entendent sur un délai de livraison. Ce délai de

livraison et l'intervalle de temps qui s'écoule entre la date d'expression du besoin du client par la commande et la date de réception de l'objet de cette commande. Ce délai est un paramètre stratégique pour le fournisseur qui peut choisir d'être plus rapide que ses concurrents et ainsi gagner des parts de marché.

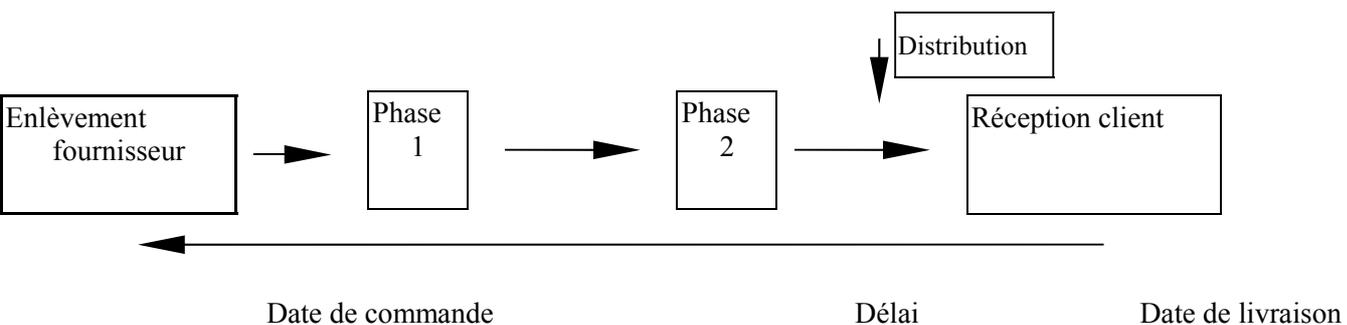
*d) Positionnement du stock stratégique par comparaison du temps de cycle et du délai.*

La première analyse que l'on doit mener pour savoir si un stock est nécessaire et, dans l'affirmative, quelle doit être sa localisation sur la chaîne logistique, est de comparer le temps de cycle (y compris le temps de distribution) et le délai contractuel accordé au client .

On peut rencontrer trois cas :

Le délai est supérieur au temps de cycle :

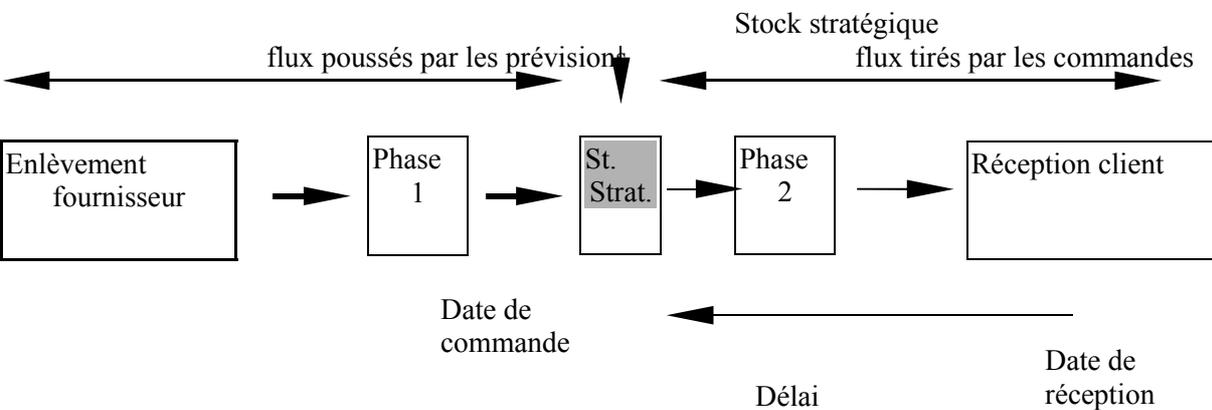
**Schéma 3 - Gestion du cycle à la commande**



Dans ce cas, hors impact de flexibilité ou de calcul économique, il n'y a aucune raison de stocker : tous les flux sont *tirés* par les commandes (des approvisionnements à la livraison). On travaille à la commande (aéronautique, chantiers navals, travaux publics).

Le délai est inférieur au temps de cycle total (fabrication + distribution) mais supérieur au temps de distribution + phase 2.

**Schéma 4 - Cycle de production partiellement géré à la commande**



Dans ce cas, la partie aval du flux qui « entre » dans le délai est *tirée* par les commandes, la partie amont est poussée par les prévisions. Pour jouer l'interface entre les flux générés par les besoins réels et les flux générés par les prévisions de besoins il y a nécessairement un *stock de sécurité* plus ou moins important suivant la qualité des prévisions et la qualité de service visée. Dans le schéma 2.4., le stock stratégique se situe entre la phase 1 et la phase 2 de production. Il s'agit donc de produit non fini, produits intermédiaires, la finition s'effectuera sur la base des commandes.

Rien n'interdit en amont de la phase 1 d'organiser des flux tirés par les besoins d'activité *prévus* par cette phase. Il y a alors :

- des flux tirés par les commandes en aval du stock stratégique,
- des flux tirés par les prévisions en amont de la phase 1,
- des flux poussés vers le stock stratégique au départ de la phase 1.

Le gestionnaire de la phase 1 est alors le pilote des flux amont.

Théoriquement, dans ce cas il ne doit n'y avoir qu'un *seul et unique* stock stratégique tout au long de la chaîne logistique, ce stock est dimensionné par l'erreur de prévision. Une prévision optimiste vient gonfler le stock, une prévision pessimiste le débite éventuellement jusqu'à la rupture.

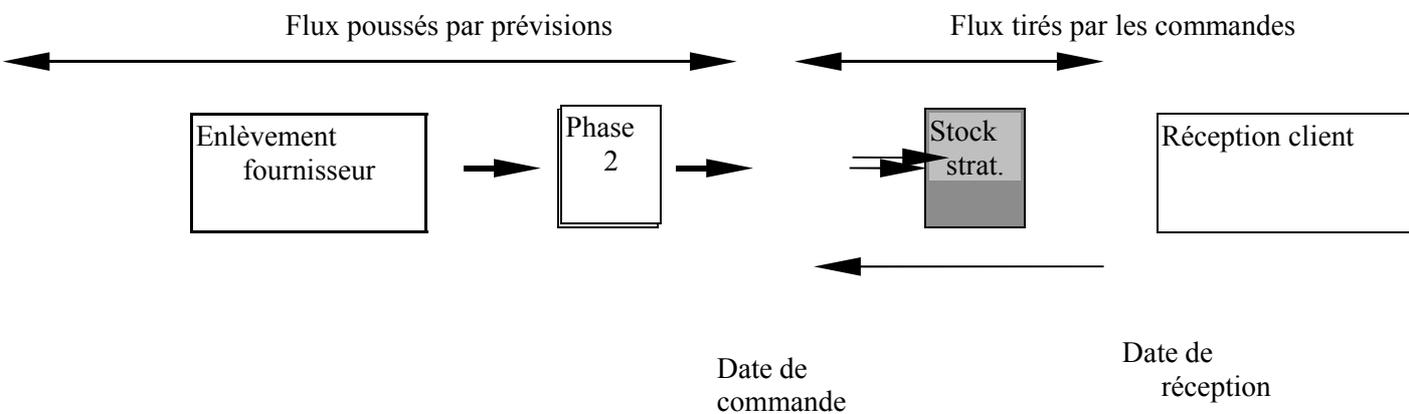
Mais nous avons vu que, pour des raisons techniques et économiques, des stocks intermédiaires localisés de part et d'autre du stock stratégique peuvent être générés entre certaines phases.

Pour les mêmes raisons, le stock stratégique n'est pas dimensionné en fonction du seul besoin du stock tampon de sécurité mais est composé également d'un stock outil correspondant aux calculs du lot économique ou technique<sup>1</sup>. Le secteur de l'industrie automobile, textile, électronique, correspond à ce schéma.

<sup>1</sup> Voir par exemple : R. Bourbonnais et Ph. Vallin, Comment optimiser les approvisionnements ; Economica poche ; 1995

Le délai est inférieur au temps de distribution :

**Schéma 5 - Délai impliquant un stock de distribution.**



Cette situation implique un stock de produits finis, stock central ou stock régional qui permet de raccourcir le délai de livraison. Toutes les phases de production et l'approvisionnement de ou des entrepôts s'effectuent sur prévision, seule la livraison finale est déclenchée à la commande. Ce schéma correspond à la pratique de la grande distribution qui alimente les surfaces de ventes dans un délai d'une journée maximum, des producteurs de l'agroalimentaire qui se confronte aux délais courts imposés par la grande distribution, la gestion de pièces détachées faisant l'objet d'interventions très courtes ainsi que les équipementiers de l'industrie automobile qui livrent avec des délais inférieurs à 2 heures dans le cadre des approvisionnements synchrones et constitue donc des stocks avancés à quelques kilomètres des usines de montage.

On observe donc qu'en dehors du cas rare où le délai du client dépasse le temps de cycle de production et de distribution, il s'avère indispensable de constituer un stock stratégique.

En dehors de son rôle de tampon entre les flux tirés par les commandes et les flux tirés (ou poussés) par les prévisions il peut jouer un rôle important de désynchronisation des rythmes de pilotage. Effectivement, la partie aval du flux et, en particulier, la distribution vers le client s'effectue à un rythme quotidien, en revanche il est souhaitable de ne pas remettre en cause quotidiennement le plan de production, un rythme hebdomadaire s'avère généralement adaptés. Les approvisionnements fonctionnent également sur un rythme plus lent, mensuel par exemple. Le stock stratégique permet donc *de découpler les différents rythmes* de pilotages de la chaîne logistique.

C'est donc en analysant la chaîne logistique de chaque couple **marché × produit** que l'on pourra positionner le stock stratégique correspondant.

## **2.2 Les trois types de stocks**

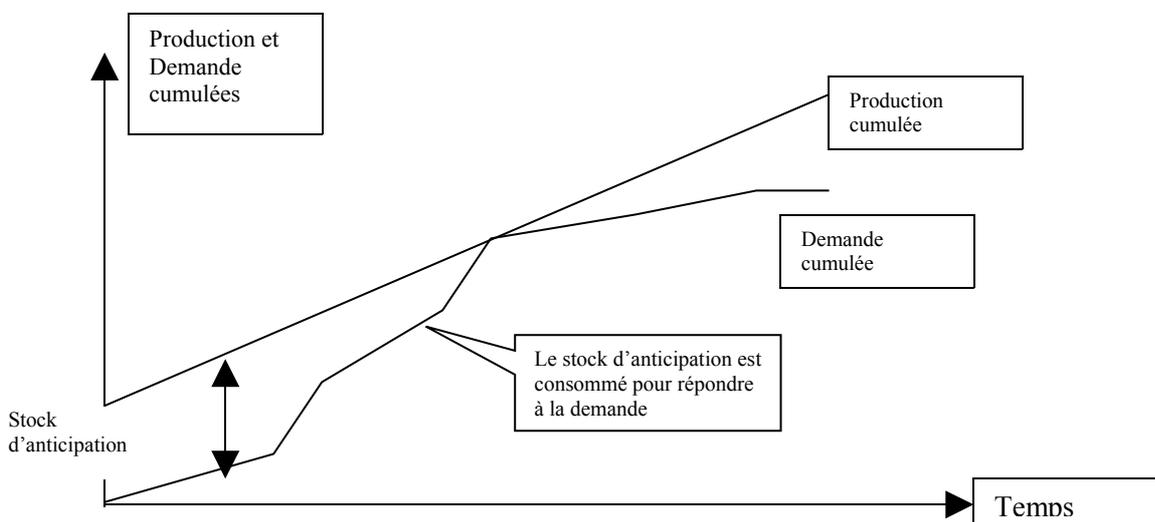
De multiples causes génèrent des stocks dans l'entreprise. La volonté d'éviter les ruptures de livraison ou d'approvisionnement conduit aux stocks de sécurité de produits finis ou de matières premières. Les différents rythmes de production des composants créent des stocks de semi-produit. Des opportunités d'achat alimentent des stocks spéculatifs. La saisonnalité des marchés oblige à constituer des stocks d'anticipation lorsque la production ne peut s'adapter aux changements de rythmes de consommation. Nous distinguerons trois grandes fonctions du stock auxquelles correspondent trois types de stocks. Physiquement ces stocks sont généralement regroupés en un même lieu et en un même stock physique la distinction ne sert qu'au dimensionnement du stock total.

### 2.2.1 Le stock outil :

Comme nous l'avons vu ce stock permet de découpler les rythmes d'activité des différentes phases de la chaîne logistique. Pour un flux donné un rythme d'approvisionnement amont plus lent que le rythme de débit aval génère nécessairement un stock. Ou au contraire pour satisfaire la demande de la forte saison face à un outil de production de capacité limité il est indispensable de constituer un stock d'**anticipation** (cf. schéma 6). Un autre facteur qui alimente ce stock outil est la gestion par lot de la production ou de l'approvisionnement : la réception d'un conteneur, le lancement d'un lot de production, génère un stock. Ce stock est donc lié à la rigidité du pilotage des flux. Pour le réduire il faut

- synchroniser les flux, comme le font les constructeurs d'automobiles par leur politique d'alimentation synchrone de leur chaîne de montage. Ceci pose le problème du partenariat avec les fournisseurs ou sous-traitants,
- augmenter la souplesse de production ou réduire les contraintes de conditionnement, ce qui nécessite des investissements.

**schéma 6 : Le stock d'anticipation**



### 2.2.2 *Le stock de sécurité :*

Ce stock est à la jonction des flux pilotés sur la base de prévisions et ceux pilotés sur la base des commandes. Comme par définition les prévisions ne sont jamais justes, pour obtenir une qualité de service acceptée par le client, il faut se protéger en constituant un stock qui permettra de servir une demande plus forte que la demande moyenne prévue. Le volume de ce stock dépend

- de la qualité de la prévision, plus l'estimation de la demande est mauvaise plus forte sera la protection,
- du délai d'approvisionnement du stock, s'il est possible d'obtenir immédiatement les articles commandés par le client il est nul besoin d'un stock de sécurité (les flux amont et aval sont synchrones),
- et, évidemment de la qualité de service que le fournisseur désire assurer ; s'il peut se permettre de faire attendre ses clients pourquoi faire un stock ?

### 2.2.3 *le stock spéculatif :*

Ce stock est le fruit d'un calcul économique, diverses situations peuvent se rencontrer :

- Le prix du produit va augmenter lors de la parution du nouveau tarif, l'approvisionneur aura tendance à créer un stock juste avant l'augmentation.
- Le fournisseur présente un tarif dégressif en fonction de la quantité approvisionnée, par suite une commande plus importante peut présenter un avantage économique.
- Le prix du transport pour l'alimentation du stock n'est pas directement proportionnel à la quantité approvisionnée, on peut donc avoir intérêt à utiliser des camions complets ou wagons voire trains complets pour amortir la charge fixe.

Dans tous les cas, il faudra bien étudier l'avantage net de cette spéculation en mettant en regard de l'économie proposée les coûts liés au surstockage. Non seulement les frais financiers et coût d'emplacements viennent rogner l'avantage théorique mais les risques d'obsolescence de dégradation de perte s'aggravent.

## 3 Chapitre 3 : Les modèles d'approvisionnement

### 3.1 *Tenue de stock et gestion des approvisionnements*

La gestion des approvisionnements repose sur des informations internes et externes à l'entreprise. Le gestionnaire doit connaître les caractéristiques du fournisseur, de la demande, les choix politiques de son entreprise et le champ des décisions possibles qui sont à sa disposition.

L'information pour la gestion des approvisionnements des stocks se situe à deux niveaux : le système de *tenue* du stock et le système de *gestion* du stock.

- *Le système de tenue de stock* photographie périodiquement les composantes de l'approvisionnement : le niveau du *stock physique*, les *encours* ou *attendus* (produits commandés mais non encore réceptionnés) disponibles à terme, les *dus* (partie du stock physique faisant l'objet d'engagement vis à vis du consommateur) non disponibles. Le système de tenue de stock permet de mettre à jour la relation fondamentale :

$$\text{stock théorique}^2 = \text{stock physique} + \text{encours} - \text{dus}$$

---

<sup>2</sup> Ce stock est appelé dans certaines entreprises « stock disponible » mais ce terme nous paraît ambiguë.

- *Le système de gestion du stock* est l'ensemble des informations et des règles de décision permettant de déclencher les approvisionnements et éventuellement d'arbitrer, en cas de pénurie, les livraisons qui satisfont au mieux les objectifs de gestion adoptés par l'entreprise.

Par analogie avec le pilotage aérien, le système de tenue de stock correspond aux informations fournies par le tableau de bord (altitude, vitesse...), la gestion correspond aux actions de pilotage, manuel ou automatique, pour suivre le plan de vol désiré.

La gestion ne peut s'effectuer sans une tenue fiable du stock, mais la tenue, seule, ne suffit pas à maîtriser le stock.

Notons qu'un certain nombre de logiciels du marché s'intitulent « logiciel de gestion de stock » alors qu'il ne s'agit que de logiciel de tenue de stock.

En s'inspirant du schéma présenté par V. Giard<sup>3</sup>, on peut synthétiser la connexion des deux systèmes dans le schéma 7.

#### **schéma 7 - Systèmes de tenue et de gestion de stock**

##### *3.1.1 La tenue des stocks et photo du stock*

Pour tenir le stock, les informations sont gérées par l'intermédiaire d'une base de données :

- la table des articles décrit les caractéristiques physiques, l'origine des articles (fournisseurs), le type de gestion ;
- le fichier « stock » mémorise les quantités stockées de chaque article, la valorisation financière du stock et les lieux de stockage ;
- le carnet de commandes exprime les engagements de l'entreprise vis à vis de ses clients, cette table permet de définir les quantités réservées ou dues, toujours en stock mais non d'ores et déjà affectées ;
- le fichier des approvisionnements en cours, quantités commandées auprès du fournisseur mais non encore réceptionnées et, donc, indisponibles ;
- le fichier des fournisseurs, le passage de la commande d'approvisionnement nécessite la connaissance des caractéristiques des fournisseurs.

*La représentation par une courbe « ABC »*

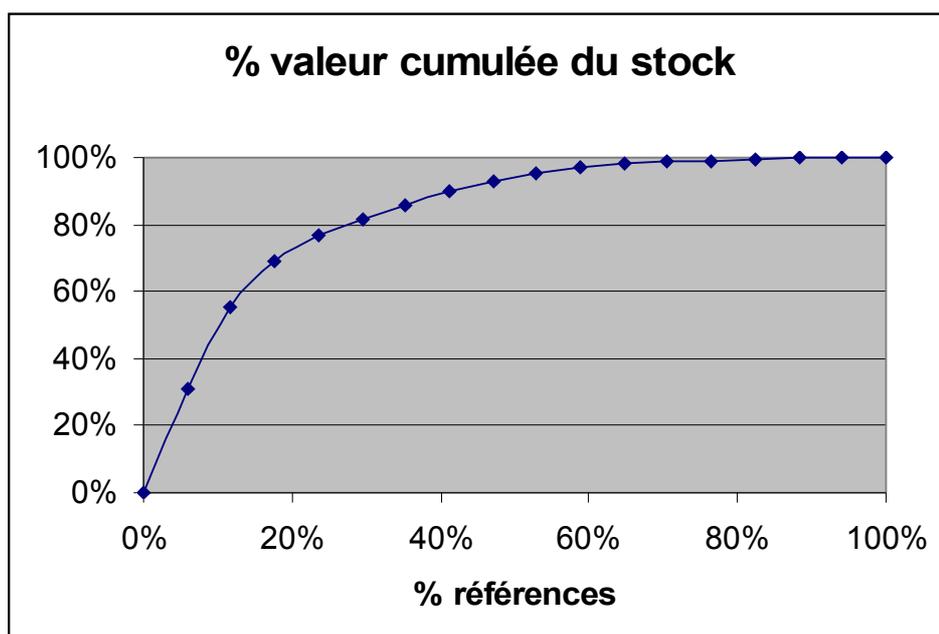
---

<sup>3</sup> V. Giard , Gestion de la Production, Economica, 1994

En dehors de la connaissance de la valeur totale du stock il est pratique d'utiliser une courbe de Pareto ou courbe « ABC » pour synthétiser la situation du stock. Pour réaliser cette courbe il faut classer les références en stock par valeur de stock décroissante et construire la courbe ayant pour abscisse les pourcentage cumulé des références stockées et en ordonnée les valeurs cumulées du stock exprimé en pourcentage. Nous illustrons cette démarche sur la Figure 1

**Figure 1 – Calcul de la courbe de Pareto et représentation graphique**

N° de Références stockées	valeur en stock (k€)	Références triées	valeur en stock	% cumulé des référence	% cumulé des valeurs
				0%	0%
1	2	7	568	6%	31%
2	57	8	450	12%	55%
3	23	16	260	18%	69%
4	137	4	137	24%	77%
5	44	15	93	29%	82%
6	3	10	80	35%	86%
7	568	9	67	41%	90%
8	450	2	57	47%	93%
9	67	5	44	53%	95%
10	80	11	31	59%	97%
11	31	3	23	65%	98%
12	12	12	12	71%	99%
13	8	13	8	76%	99%
14	7	14	7	82%	99%
15	93	17	5	88%	100%
16	260	6	3	94%	100%
17	5	1	2	100%	100%
Total	1847	17			



On constate que 25% des premières références représentent 80 % de la valeur immobilisée et les 50 % des dernières références ne participe que pour 5% au montant immobilisé.

Le taux de couverture

Un indicateur très simple mettant en jeu des informations toujours disponibles est le taux de couverture (ou son inverse le taux de rotation) du stock. C'est le rapport de la valeur moyenne du stock à la valeur moyenne de la demande (future de préférence) par unité de temps. Plus ce rapport est élevé, plus le coût d'immobilisation est important. Ce ratio s'exprime en unité de temps. Puisqu'il met en jeu des quantités exprimées en valeurs monétaires, il peut être appliqué à la totalité des stocks de l'entreprise car l'addition de ces unités a un sens.

Par cette photographie globale de la situation, ce ratio permet de comparer la politique de stockage de diverses entreprises dans un même secteur économique, chaque secteur ayant ses propres valeurs de références : la grande distribution a 15 jours de stock, l'industrie automobile a 2,5 mois de stock ... Evidemment, ces taux globaux masquent des disparités observables en fonction de produits, les produits frais ne présentent pas la même rotation que les liquides dans la grande distribution.

**Taux de couverture moyen en mois = Valeur du stock / Valeur mensuelle moyenne des sorties**

Remarquons que ce paramètre prétend indiquer un niveau moyen de stock mais non une durée de cycle de réapprovisionnement puisque c'est la valeur moyenne du stock qui est prise en compte et non le stock après réapprovisionnement.

### 3.1.2 *Le pilotage de l'approvisionnement*

A partir du moment où le système de tenue de stock est fiable, il est possible de définir des politiques d'approvisionnement optimales ou efficaces.

Parler d'optimalité implique de définir les critères qui permettent d'évaluer les politiques adoptées. En pratique un seul critère ne suffit à caractériser une politique de gestion, le coût d'exploitation et la qualité de service sont, au minimum, les deux critères à retenir. Ainsi dès que plusieurs critères coexistent on ne peut pas parler de meilleure solution car une solution excellente sur un critère peut s'avérer médiocre sur un autre. Il appartient donc au gestionnaire de pondérer ces critères afin d'opter pour la solution qu'il jugera la plus efficace.

Hormis quelques rares exceptions (cas de monopole et de pénurie ou un arbitrage s'impose) les gestionnaire n'est pas maître de la demande il la subit comme une contrainte. Le degré de liberté de l'approvisionneur du stock de situe donc au niveau de l'entrée en stock, il choisit la **fréquence** des approvisionnements et la **quantité à approvisionner** en fonction des prévisions de consommations disponibles, des choix de qualités de service visées et des contraintes des fournisseurs.

Opter pour des flux tendus on non nécessite de bien mesurer les conséquences des décisions prise (formalisation des critères) et d'intégrer l'ensemble des contraintes rencontrées au niveau des fournisseurs de produits et des prestataires de service. Par exemple, suivant les périodes de l'année la tension sur l'offre de transport peut varier. Il faut donc opter pour des **politiques « robustes »** donnant de bons résultats quelle que soit l'évolution du contexte économique et non pour une politique optimale qui s'avèrera appropriée pour une courte période seulement et très peu productive sur le reste de l'année ou inadaptée en cas d'évolution du marché.

## 3.2 **Les critères de gestion**

### 3.2.1 *Les coûts*

Pour mesurer le coût de gestion d'une politique de réapprovisionnement, il faut choisir une unité de temps de référence généralement l'année ou le mois.

C'est en effet le coût moyen rapporté à une unité de temps de référence qui permet de comparer deux politiques présentant des fréquences d'approvisionnement différentes. Il ne faut pas confondre l'unité de temps, choisie a priori pour l'analyse, avec la période (notée  $T$  par la suite), qui est l'intervalle de temps entre deux réapprovisionnements, qui est une variable de décision fixée par le gestionnaire ou déterminée par le calcul économique.

Le coût de gestion a trois composantes : le coût de stockage, le coût d'approvisionnement ou de passation, le coût de rupture de stock.

Notons que ces différents coûts ne sont pas de même nature : si le coût d'approvisionnement représente bien une dépense pour l'entreprise, le coût de rupture et une partie du coût de stockage sont plus précisément des manques à gagner (coûts fictifs). Pour constituer un critère unique, il convient de les additionner.

### *a) Le coût de stockage*

Plusieurs composantes génèrent ce coût : le coût d'immobilisation financière lié à la valeur des stocks ; le coût logistique (entretien, énergie pour la conservation, manutention, assurances, location de locaux...) ; les coûts d'obsolescence et de destruction ...

Sur la période d'analyse, certains coûts sont fixes (salaires d'administratifs, location d'emplacements), d'autres sont proportionnels aux flux (manutention), et d'autres, comme l'immobilisation, sont directement proportionnels au niveau du stock et à la durée de stockage.

Pour le choix d'une politique, il est inutile d'estimer tous les coûts en détail. Seuls les coûts dépendant de la décision du gestionnaire sont à retenir (cela allège la recherche d'informations). Les coûts fixes n'influent pas sur la décision tactique, si la location d'un entrepôt n'est pas remise en cause le loyer devient un coût indépendant de la politique d'approvisionnement (fréquence, choix du fournisseur), il est donc inutile de l'incorporer pour la comparaison des différentes politiques puisqu'il pèsera d'un même poids dans toutes.

Les coûts proportionnels aux flux ne dépendent que de la demande qui n'est pas une décision du gestionnaire du stock ; par exemple, si le prix d'achat est fixe, le budget d'achat annuel est le même quelle que soit la politique choisie. Il correspond au flux annuel tiré par la demande multiplié par le prix et est donc invariant, il n'influera pas sur le choix d'une politique.

Seuls les coûts liés au niveau et à la durée du stockage sont contrôlables. En conséquence, sauf cas particulier, nous ne retiendrons dans nos modèles que ce dernier type de coût : dépendant de la **quantité stockée**, de la **durée de stockage** et de la **fréquence d'approvisionnement**.

Le calcul du coût de stockage s'appuie sur le coût de **stockage d'une unité stockée pendant une unité de temps** : coût unitaire de stockage. Nous le noterons  $c_s$ .

Ce coût s'exprime en unité monétaire par unité de temps ; à titre d'exemple : stocker un pneumatique coûte 10 € / pneu-an.

#### *Comment valoriser ce coût ?*

La valorisation de ce coût unitaire s'effectue souvent par l'intermédiaire d'un taux exprimé en pourcentage par unité de temps. Ce taux est appelé, suivant le contexte, *taux d'immobilisation* ou *taux de possession* ou *taux d'opportunité*. Il s'applique à la valeur de l'article stocké. Ce taux peut être fourni par le contrôleur de gestion de l'entreprise<sup>4</sup>, il tient compte non seulement du loyer de l'argent mais des autres coûts engendrés par l'immobilisation du stock. Il peut varier suivant les types de stocks entre 7% et 20% par an. Il ne peut être inférieur à la rentabilité que pourrait tirer l'entreprise du placement des capitaux immobilisés dans le stock. Nous noterons par la suite ce taux  $i$ .

<sup>4</sup> Il est parfois nécessaire d'effectuer une analyse particulière si on désire personnaliser le coût de stockage pour chaque article ; par exemple, la prise en compte du volume occupé par article.

Exemple : si le prix de revient du pneumatique stocké est de 100 €, et le taux de possession de 15% par an, le coût unitaire de stockage sera  $c_S = 100 \times 0,15 = 15$  € / an, ou, s'il est préférable d'exprimer ce coût par semaine,  $c_S = 100 \times 0,15 / 52 = 0,29$  € / sem. Le prix de revient est la somme des valeurs ajoutées de l'achat à la mise en stock.

Dans ces conditions, le coût de stockage unitaire (par article et unité de temps) est

$$c_s = \text{prix de revient} \times i .$$

Le taux  $i$  dépend de l'unité de temps choisie.

C'est à partir de ce coût unitaire que s'effectue le calcul du coût de stockage pour une période donnée de durée  $P$ .

Pour chaque intervalle de temps,  $dt$ , où le stock est constant, de niveau  $S$ , le coût de stockage se calcule par :  $S \times c_S \times dt$ .

Au cours de la période  $P$  composée de plusieurs intervalles associés à des niveaux différents du stock, le coût s'évalue en sommant les coûts élémentaires, (voir le schéma 8 -)

#### **schéma 8 - Évolution en escalier du stock**

$$\text{coût du stockage sur } P : C_S(P) = \sum_{i=1}^4 S_i c_S dt_i$$

**Le coût est proportionnel à la surface qui se trouve sous la courbe d'évolution du stock :**

$$S_i dt_i$$

Dans le cas fréquent où l'hypothèse de la demande uniforme est admise sur la période étudiée (taux d'évolution approximativement constant), l'évolution linéaire du stock permet de simplifier le calcul (cf. schéma 9) :

#### **schéma 9 - Évolution linéaire du stock**

$$C_S(P) = c_S \times P \times (S_O + S_f) / 2$$

Le stock moyen,  $\bar{S}$ , est un concept utile pour comparer différentes politiques. Il est défini, sur la période  $P$ , comme le stock fictif constant qui conduit au même coût de stockage :

$$C_S(P) = \bar{S} \cdot c_S \cdot P$$

Dans le cas d'évolution linéaire,  $\bar{S} = (S_0 + S_f) / 2$ , cas que nous adopterons pour simplifier.  
(Dans le cas précédent  $\bar{S} = (\int S_i dt_i) / P$ , c'est la « hauteur » moyenne du stock sur la période).

En résumé de coût de stockage est :

Pour l'unité de temps choisie : **stock moyen × prix de revient ×  $i$**

Pour une période déterminée de durée  $P$  : **stock moyen × prix de revient ×  $i$  ×  $P$**

Le paragraphe 3.2.2 présente un exemple numérique de calcul.

### *b) Le coût d'approvisionnement ou de passation*

Le coût d'approvisionnement comprend tous les frais engendrés par le lancement d'un approvisionnement, qu'il s'agisse d'une commande auprès d'un fournisseur ou d'un lancement de production : frais administratifs, de suivi de l'approvisionnement (relance), de la réception, de la mise en stock, ...

Ici encore, ce coût comprend des coûts fixes et des coûts directement proportionnels au flux d'alimentation du stock. Comme nous venons de le voir, pour chaque unité de temps, le flux dépend de la demande imposée au gestionnaire, donc non contrôlable. En revanche, la fréquence d'approvisionnement, c'est-à-dire le nombre d'approvisionnements par unité de temps, est une variable de décision (quand commander ?), donc, pour simplifier l'évaluation, seule la partie fixe du coût, notée  $c_p$ , est retenue.

Par exemple, supposons que le coût fixe d'un approvisionnement (réception administrative, contrôle) soit 50 € et que le coût proportionnel soit de 5 € par palette mise en stock. Proposons pour un flux annuel de 300 palettes deux politiques :

- Un approvisionnement par semaine (50 par an) de 6 palettes
- Un approvisionnement par mois (12 par an) 25 palettes

Le coût annuel d'approvisionnement sera :

- Dans le premier cas de  $50 \times (50 \text{ €} + 6 \times 5 \text{ €}) = 2\,500 \text{ €} + 1\,500 \text{ €} = 4\,000 \text{ €}$
- Dans le second cas de  $12 \times (50 \text{ €} + 25 \times 5 \text{ €}) = 600 \text{ €} + 1\,500 \text{ €} = 2\,100 \text{ €}$ .

Le coût lié au flux est invariant : 1 500 €, le coût fixe par approvisionnement varie sensiblement. C'est donc ce dernier qui doit retenir l'attention, nous prendrons  $c_p = 50 \text{ €}$ .

Plus formellement, pour une période  $P$  comportant  $n$  réapprovisionnements, le coût d'approvisionnement,  $C_p(P)$ , est :

$C_p(P) = n \times c_p$ . Par exemple, pour une politique calendaire de période, c'est à dire un rechargement tous les  $T = 2$  mois, si l'unité de temps de référence choisie est le mois, et la période d'étude,  $P$ , l'année :

le coût sur la période est  $C_p(12) = (P/T) \times c_p = 6 \times c_p$ ,

le coût par unité de temps est  $C_p = (1/T) \times c_p = 0,5 \times c_p$  ;  $n = 0,5$ , il y a en moyenne un demi réapprovisionnement par mois.

### *c) Le coût de rupture de stock*

Parmi les différents coûts analysés, ce coût apparaît comme le plus difficile à quantifier. Comment mesurer la mauvaise image qu'acquiert l'entreprise lorsqu'elle ne peut fournir en temps voulu les articles que ses clients lui demandent ?

Dans certaines situations, la mesure de ce coût peut néanmoins s'effectuer. Lorsque la rupture

- entraîne une vente manquée, le coût correspond à la marge perdue,
- entraîne un dépannage en urgence, le coût du dépannage est évalué,
- entraîne le paiement d'une pénalité contractuellement établie, situation qui se généralise de plus en plus dans les services.

Pour la modélisation, nous distinguons deux cas de base :

- Si la demande est perdue, le coût de rupture sur la période  $P$  est proportionnel au nombre d'articles pour lesquels la demande n'a pu être satisfaite. Le coût de rupture unitaire,  $c_r$ , est exprimé en unité monétaire par article. Le coût sur la période  $P$  où la demande non satisfaite s'élève à  $M$  articles est  $C_r(P) = c_r \times M$  (voir Figure 2a).

- Si la demande est différée, le retard de livraison intervient dans l'évaluation du coût. Le coût de rupture sur la période  $P$  est proportionnel au nombre d'articles en rupture et au retard de livraison de ces articles. Le coût de rupture unitaire,  $c_r$ , est exprimé en unité monétaire par **article et par unité de temps**. La méthode de calcul de l'évaluation du coût de stockage est utilisée : le coût de rupture est proportionnel à la surface entre la courbe représentative des dus sous l'axe des abscisses et cet axe (voir Figure 2 b).

**Figure 2 - Calcul du coût de rupture**

$C_r(P) = c_r.M$   
demande perdue

$C_r(P) = c_r.d.M / 2$  (évolution linéaire)  
demande différée

Rappelons que cette formalisation du coût de rupture ne mesure que l'inconvénient de la rupture. Elle permet la comparaison des politiques mais ne prétend pas prendre en compte toute la complexité et tous les coûts induits par cette situation.

#### *d) Coût global de gestion par unité de temps*

Les différents acteurs de l'entreprise n'accordent pas le même poids aux différents critères.

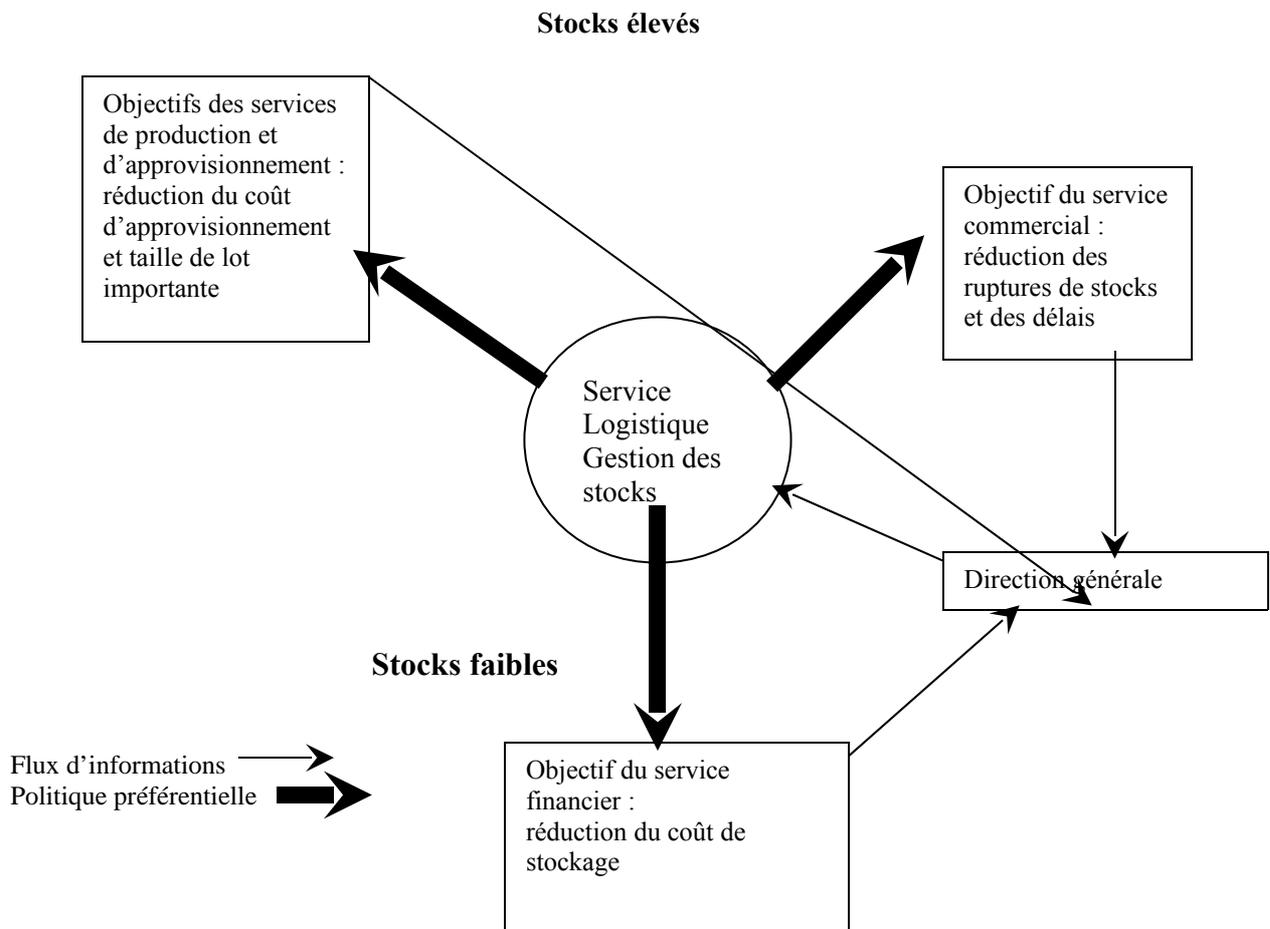
Les commerciaux sont très sensibilisés aux risques de rupture, ils ont donc tendance à vouloir des stocks moyens élevés.

Les financiers n'aiment pas les immobilisations stériles et font pression pour baisser le coût de stockage.

Les producteurs et les acheteurs trouvent généralement avantage à augmenter les quantités à lancer ou à approvisionner.

La gestion des stocks est donc la résultante de différentes pressions ; le schéma 10 résume cette situation.

**schéma 10** - Objectifs contradictoires des différents services



Pour faire la synthèse entre ces différents objectifs, on prendra comme critère de gestion la somme des trois coûts par *unité de temps*.

Calcul pratique du coût moyen par unité de temps, (noté  $\Gamma$ ), voir un exemple à la section 3.3.3

- 1° choisir une période  $P$  sur laquelle il est aisé de calculer chacun des trois coûts analysés,
- 2° diviser la somme de ces coûts par la durée de la période  $P$ .

$$\Gamma =$$

Ce coût, comme nous l'avons vu, est fonction de la demande. Lorsque celle-ci est aléatoire, le coût  $\Gamma$  est une variable aléatoire. Dans ce cas, nous retiendrons comme critère de gestion son *espérance mathématique* (qui traduit la notion de moyenne).

Les paragraphes suivants présentent deux autres critères qui permettent de comparer des politiques de gestion dans le cas où le système d'information de l'entreprise ne permet pas l'estimation fiable des différentes composantes du coût analysé ci-dessus ou plus généralement lorsque le coût de rupture n'est pas jugé pertinent pour mesurer la qualité de service à laquelle l'entreprise s'est engagée envers ses clients.

### 3.2.2 Exemple de calcul de coût

Le tableau infra présente l'évolution du stock du pneu X355 sur une année. Les données sont mensuelles. Les paramètres économiques sont les suivants :

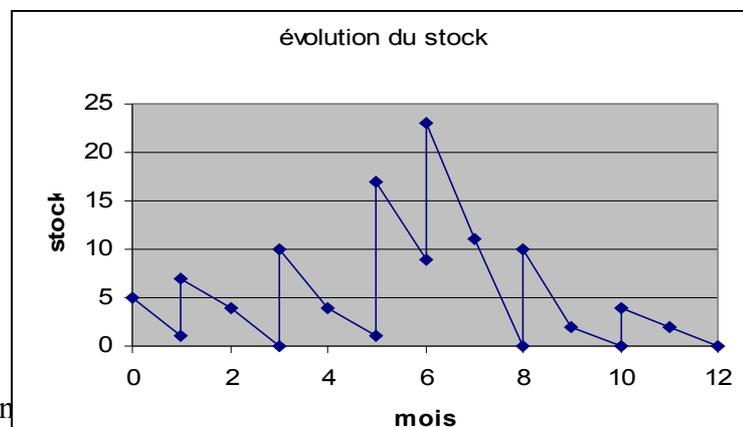
- Prix d'achat du pneu : 85 €
- Coût administratif de passage de commande et forfait transport d'approvisionnement : 20 €
- Marge commerciale sur le pneu 30 €
- Taux d'immobilisation  $i = 12\%$  par an (1% par mois)

On considère que toute rupture de stock génère des ventes manquées, donc la perte de la marge. L'approvisionnement se fait en début de mois.

Rappel : le stock moyen se calcule par la formule  $(\text{stock initial} + \text{stock final})/2$ .

Référence : X355		Coûts en €						
mois	approvisionnement	stock initial	stock final	stock rupture	stock moyen	coût		
						d'immobilisation	d'approvisionnement	coût de rupture
janvier		5	1		3	2,55		
février	6	7	4		5,5	4,68	20,00	
mars		4	0		2	1,70		
avril	10	10	4		7	5,95	20,00	
mai		4	1		2,5	2,13		
juin	16	17	9		13	11,05	20,00	
juillet	14	23	11		17	14,45	20,00	
août		11	0		5,5	4,68		
septembre	10	10	2		6	5,10	20,00	
octobre		2	0	2	1	0,85		60,00
novembre	4	4	2		3	2,55	20,00	
décembre		2	0		1	0,85		
<b>Total</b>	<b>60</b>			<b>2</b>		<b>56,53</b>	<b>120,00</b>	<b>60,00</b>

Tableau 1 : calcul du coût de gestion du stock



Le coût de gestion annuel est de  $(60 + 5) \times (85 + 30) = 75 \times 115 = 8625$  €. Si le service des affaires de l'entreprise est optimisé, le coût d'approvisionnement en particulier est très élevé, réduire le nombre d'approvisionnements

quitte à augmenter légèrement le niveau du stock peut s'avérer rentable, nous aborderons cette analyse au § Erreur : source de la référence non trouvée.

### 3.2.3 La qualité de service

Dans l'entreprise, outre la notion de coût, l'autre critère d'évaluation de la politique de gestion des approvisionnements est la qualité de service. Cet indicateur mesure l'adéquation du système de gestion à la satisfaction de la demande exprimée par le client (interne ou externe). Cette adéquation peut s'exprimer en termes qualitatifs (état des produits livrés, lisibilité des documents administratifs) et quantitatifs (volume de la demande non satisfaite, retard de livraison).

Nous n'analysons, ici, que le second aspect en retenant trois indicateurs principaux :

- la probabilité de rupture par cycle<sup>5</sup> (entre deux réapprovisionnements),
- la probabilité de rupture par unité de temps (voir la section Erreur : source de la référence non trouvée)
- le pourcentage d'articles non servi dans les délais,
- le nombre de livraisons hors délai.

S'il existe un délai de réapprovisionnement ou une périodicité de réapprovisionnement, une augmentation aléatoire de la demande risque de conduire à une rupture de stock. Ce risque dépend évidemment du niveau du stock choisi : un stock pléthorique par rapport à la demande l'élimine. Pour une politique fixée, face à une demande aléatoire modélisée par une loi de probabilité, il est possible de calculer théoriquement la *probabilité de rupture* ou la *fréquence des ruptures*. Cette notion peut s'interpréter comme le nombre moyen de situations de rupture observées par unité de temps.

Si la probabilité de rupture est un concept facilement utilisable dans la modélisation formelle des systèmes de gestion de stocks, il n'est, en revanche, pas toujours très bien compris sur le terrain et on lui préfère comme indicateur de qualité de service le rapport :

$$QS = \frac{\text{nombre d'articles fournis dans le délai contractuel}}{\text{nombre d'articles demandés}}$$

Pour être significatif, ce rapport doit être mesuré sur une période de référence assez longue comprenant plusieurs réapprovisionnements (cf. Figure 3 - Exemple de calcul de QS ). C'est un nombre sans dimension qui s'exprime généralement en pourcentage. Le délai pris en compte est le délai accepté par le client.

On peut également calculer *QS* par la relation :

$$QS = 1 - \frac{\text{nombre moyen d'articles en rupture par unité de temps}}{\text{nombre moyen d'articles demandés par unité de temps}}$$

Nous donnons ci-dessous un exemple d'estimation de ces indicateurs

#### Figure 3 - Exemple de calcul de QS

La période *P* analysée comporte 6 unités de temps et 6 cycles.

---

<sup>5</sup> C'est souvent cette acception de la qualité de service qui est proposée dans les logiciels d'optimisation de la gestion des stocks.

Sur la période  $P$ , la demande est de :  $50+75+150+25+125+100 = 525$  ; le nombre articles en rupture (avec un délai contractuel de livraison nul) s'élève à  $50 + 25 = 75$ .

L'indicateur de qualité de service est  $QS = (525 - 75) / 525 = 86 \%$

Demande moyenne par unité de temps =  $525 / 6 = 87,5$

Rupture moyenne par unité de temps =  $75 / 6 = 12,5$

$QS = 1 - (12,5 / 87,5) = 0,86$

La probabilité de rupture par cycle peut être estimée par  $2/6 = 33\%$ , puisqu'on observe deux ruptures sur les six cycles. Par suite l'indicateur de qualité utilisant cette notion (probabilité de non rupture) est de  $77 \%$ .

On voit donc que la mesure de la qualité dépend sensiblement de sa définition. Il faut savoir de quoi on parle quand on désigne un taux de qualité de service. De plus les ruptures peuvent être mesurées en quantité ou en lignes de commande ou en commandes complètes (reliquats traités).

Hormis des périodes exceptionnelles de pénurie, le nombre de livraisons hors délai n'est pas un critère de décision de gestion puisqu'il s'agit en général d'un contrat entre le fournisseur et le client qui doit a priori être respecté. Ce critère est donc utilisé dans les tableaux de bord pour alerter sur la détérioration éventuelle du processus de livraison.

### **3.3 Les politiques d'approvisionnement**

Dans cette section nous définirons les différents types de politiques adoptées par les pilotes de flux (supply chain manager) pour gérer les approvisionnements. Le calcul économique permet de fixer les valeurs des paramètres d'une politique choisie, mais le type de politique doit être sélectionnés aux vues du contexte commerciale et technique de l'entreprise et des contraintes de tous les partenaires. Pour aider à ce choix nous donnerons une comparaison des avantages et inconvénients des différentes politiques présentées.

#### *3.3.1 Les types de décision*

La localisation du stock étant choisie, le gestionnaire de stock se consacre quasiment exclusivement à la *régulation des flux d'entrée*. Le flux de sortie est la résultante des différentes demandes qui sont supposées indépendantes de la politique d'approvisionnement. Deux questions de base se posent : **quand déclencher le réapprovisionnement ? ou, à quelle fréquence ? ; quelle quantité approvisionner ?**

Afin de répondre aux deux questions fondamentales posées : quand ? et combien ? Il faut choisir

- La politique de réapprovisionnement, le type de variables de décision ;
- Les valeurs à attribuer aux variables de décision choisies.

La première réponse est le résultat de l'arbitrage entre objectifs de qualité de service à assurer, contrôle des surstocks et facilité de mise en œuvre et de maintenance de la politique. Nous répondons à la première question ci dessous, la seconde réponse est fournie par les résultats du calcul économique que nous développons aux sections Erreur : source de la référence non trouvée. et Erreur : source de la référence non trouvée.

Comment définir la date du réapprovisionnement ? Il y a deux méthodes de base :

- *A période fixe, toutes les T unités de temps*, c'est le principe adopté dans la grande distribution lorsque les commandes sont passées à chaque fournisseur toutes les semaines ou toutes les quinzaines ;
- *Sur point de commande ou seuil d'alerte*, noté  $S$  et exprimé en unités, c'est le principe du clignotant du tableau de bord de voiture qui indique que le niveau de carburant est arrivé à un point qui nécessite le réapprovisionnement.

Comment définir la quantité de réapprovisionnement ? Deux méthodes de base également :

- *La quantité fixe*, notée  $Q$ , chaque commande porte sur la même quantité. C'est le cas notamment lorsqu'il a des contraintes de conditionnement ou de transport (palette complète, camion complet, container, train...) ou des seuils tarifaires qui impliquent un achat minimum plus élevé que celui théoriquement visé.
- *Le niveau de remplètement*, noté  $R$ , lors de chaque commande, une mesure du stock théorique ou « virtuel » (stock physique - dus + encours) est réalisée, le volume de la commande permet alors de remonter ce stock au niveau  $R$ . C'est la politique adoptée par l'automobiliste qui refait systématiquement le plein de son réservoir. La quantité approvisionnée est, dans ce cas, variable puisqu'elle dépend de la situation au moment de la commande.

### 3.3.2 Les quatre politiques de base

En croisant ces méthodes on obtient les quatre politiques de base de la gestion des approvisionnements qui sont présentées dans le Tableau 2 - Politiques de base de la gestion des approvisionnements..

**Tableau 2 - Politiques de base de la gestion des approvisionnements.**

Nous représentons (Figure 4 à Figure 7 -) l'évolution du stock en fonction des politiques choisies, dans le cas d'une demande continue (de moyenne 40 unités par mois) et un délai d'approvisionnement de 1 semaine.

a) *La politique T, Q.*

$T = 0,5$  mois ;  $Q = 100$  unités

**Figure 4 - La politique T, Q**

Avantages et inconvénients de ce type de gestion.

Avantages :

simplicité de mise en œuvre, gestion administrative plus facile à organiser,

- relations avec le fournisseur plus aisées,
- mise au point d'un plan d'approvisionnement,
- inventaire périodique,
- ajustement des commandes aux contraintes tarifaires et de conditionnement.

**Inconvénients :**

- mauvaise maîtrise du stock et de la qualité de service,
- stock de sécurité plus important (cf section Erreur : source de la référence non trouvée),
- système peu réactif.

*b) La politique S, Q*

**Figure 5 - La politique S, Q**

Avantages inconvénients de cette politique

Avantages :

- Ce système offre un bon contrôle de la qualité de service (maîtrise de la rupture de stock) si la demande augmente la fréquence des commandes s'accélère. Il n'y a pas de rigidité puisque l'organisation permet une commande à tout moment. Le calcul de  $S$  peut être réactualisé en fonction des dernières informations sur la demande.
- La quantité fixe permet la prise en compte des contraintes de conditionnement et tarifaire.
- Inconvénients :
- Il faut un contrôle permanent du stock, ce qui se réalise facilement avec l'informatisation de la tenue de stock. La validation des commandes doit pouvoir être effectuée à tout moment pour éviter les délais administratifs.
- Difficulté de regrouper des commandes pour un même fournisseur, regroupement qui s'avère souvent intéressant sur le plan tarifaire et logistique.
- En cas de demande fluctuante il est nécessaire de réajuster le calcul de  $Q$ .

*c) La politique T, R*

**Figure 6 - . La politique T, R**

Avantages et inconvénients de cette politique

Avantages :

- Avantages de la politique calendaire, gestion administrative plus aisée et possibilité de regroupement de commandes.
- Le niveau  $R$  permet de contrôler le surstockage et de revenir périodiquement à la même autonomie.

Inconvénients :

- Stock de sécurité plus élevé, moins adapté aux fluctuations de la demande que le système à point de commande. Les quantités commandées sont variables, pour  $R$  fixé, elles correspondent aux consommations de la période précédente.

- Cette politique s'adapte aux articles dont la valeur nécessite une limite supérieure du stock et dont la demande est régulière

#### *d) La politique S, R*

Cette politique est très voisine de la politique  $S, Q$  car il suffit de prendre  $R = S + Q$ .

Cette politique est mieux adaptée lorsque la demande peut s'exprimer sporadiquement par des grandes quantités instantanées (exportation) qui se superposent à la demande continue habituelle. Le réajustement au niveau R est alors plus confortable.

#### **Figure 7 - La politique S, R**

On retrouve les avantages et inconvénients de la politique  $S, Q$  avec la possibilité de reconstituer immédiatement une commande exceptionnelle.

#### *e) Les politiques mixtes*

Des politiques mixtes peuvent être mises en œuvre pour pallier la rigidité de certaines politiques de base :

Si une politique calendaire est adoptée pour des raisons de simplification d'organisation ( $T, Q$  par exemple), il semble raisonnable de réagir à une accélération imprévue de la demande qui risque d'engendrer une rupture de stock. Le gestionnaire peut alors définir un niveau d'alerte du stock virtuel à partir duquel est déclenché un dépannage exceptionnel. Pour les articles importants cette politique mixte ( $T, Q ; S$ ) peut être adoptée, la commande sur seuil  $S$  n'est censée servir qu'exceptionnellement.

De façon analogue, si généralement le reconstituer s'effectue par quantité fixe  $Q$ , il peut s'avérer, qu'à la suite d'une sortie exceptionnelle, on soit amené à approvisionner un multiple de  $Q$  afin de ramener le stock au dessus d'un niveau jugé minimum.

### *3.3.3 Evaluer une politique d'approvisionnement*

Nous avons vu que la politique d'approvisionnement engendre un certains nombres de coûts cf. § 3.2.1 et permet de contrôler la qualité de service (§ 3.2.3). Généralement la démarche d'amélioration de la politique d'approvisionnement tient compte ces deux familles de critères (coûts et qualité de service). Le problème posé par cette démarche multicritères est qu'il n'y a pas d'optimum proprement dit. En effet, dans une organisation efficace toute amélioration de la qualité de service se traduira par un augmentation du coût de gestion, symétriquement toute réduction des coûts aura pour conséquence une diminution de la qualité de service. Une organisation est efficace s'il n'existe pas une autre organisation qui soit à la fois moins coûteuse (en exploitation et investissement) et qui procure une qualité de service meilleure ou équivalente. Mais beaucoup d'organisations ne sont pas efficaces, c'est à dire que l'on peut, en changeant les paramètres de gestion ou en réorganisant la circulation de l'information, à la fois améliorer la qualité de service et réduire les coûts.

Le cas idéal mais assez rare est de pouvoir traduire intégralement la non qualité de service en termes de coûts, par exemple au travers de pénalités à payer ou pertes de marges commerciales. Dans ce cas on est ramené à un seul critère, le coût global, qu'il faut alors réduire. Mais la non qualité de service présente des composantes qualitatives comme la dégradation de l'image de l'entreprise, des relations inter services qui se rejettent mutuellement la responsabilité du mauvais fonctionnement qu'il est impossible de quantifier en termes de coûts.

La démarche la plus classique consiste alors à se fixer un objectif de qualité de service, c'est à dire de choisir un type de qualité de service en termes de rupture et/ou de délais, de se fixer un seuil objectif par produit×marché et de mettre au point un indicateur accepté par les différents partenaires qui mesurera l'évolution de cette qualité de service. Attention de bien définir les seuils par produit×marché il est inutile de faire de la sur-qualité en alignant tous les marchés sur la qualité

maximum. La qualité de service étant fixée et par suite les conséquences financière des ruptures acceptée, on s'attaquera alors à minimiser le coût de gestion composé

- du coût d'immobilisation du stock qui correspond d'avantage à un non gain qu'à un flux financier de dépense,
- du coût d'approvisionnement proprement dit. Rappelons que ce coût à deux composantes (cf. §3.2.1) et que seul le coût fixe lié au mouvement d'approvisionnement et indépendant de la quantité commandée est à prendre en compte puisqu'il est le seul maîtrisable.

Le contrôle de ce coût va s'effectuer essentiellement par le choix de la fréquence d'approvisionnement. C'est la fréquence qui contrôle l'immobilisation du stock et le coût d'approvisionnement qui évoluent en sens inverse, si le stock croît l'approvisionnement diminue. Dans le contexte économique d'évaluation présenté au paragraphe 3.2.2, il est possible de constater que si la fréquence passait de 6 approvisionnements annuels à 4, le stock serait approximativement augmenté d'un facteur 1,5 (3mois à couvrir au lieu de 2) et donc le coût d'immobilisation passerait de 56 € à 85 € mais on gagnerait 40 € ( $2 \times 20€$ ) en frais d'approvisionnement, le bilan serait donc positif. Cette situation est due au niveau relativement faible du coût unitaire de stockage (12% par an) confronté au coût fixe de 20 € pour l'approvisionnement. Cette nouvelle politique ne dégraderait pas la qualité de service.

Dans la section suivante nous allons présenter une méthodologie de choix du rythme d'approvisionnement d'un stock.

## **4 Chapitre 4 : Optimisation du rythme d'approvisionnement par le calcul économique.**

### ***Quand et combien commander ? Le modèle à quantité économique d'approvisionnement***

Après avoir étudié dans le chapitre précédent les différentes politiques d'approvisionnement qui se modélisent par quatre variables de décision, dans ce chapitre, nous choisissons la valeur de ces variables pour optimiser les critères adoptés.

Dans un premier temps, pour répondre à ces questions, nous supposons que les décisions s'inscrivent dans un univers déterministe, ce qui signifie que le système de prévision est parfait : la demande est supposée connue, les délais sont supposés fixés.

Pourquoi adopter une hypothèse qui n'est pas toujours réaliste ? Pour simplifier l'analyse, car la prise en compte des pressions économiques et de l'aléa inhérent à toute décision dans un contexte où interviennent de multiples agents économiques est un exercice difficile. Nous segmentons donc l'approche en deux étapes : a) intégration des contraintes économiques ; b) attitude à prendre face à l'aléa .

Ne soyons pas trop pessimiste, cette hypothèse d'environnement déterministe est dans certains cas valide, lorsque :

- Le stock est mis en place pour alimenter un flux planifié, par un plan de production par exemple, les quantités à fournir sont alors connues et ordonnancées selon un calendrier précis.

- Les fluctuations de la demande ne sont pas significatives devant la valeur moyenne de celle-ci. La gestion du stock s'effectue sans inconvénients majeurs en considérant que la demande future s'exprime au niveau moyen prévu.

Le modèle à quantité économique ou le modèle de « Wilson » est le modèle central de la gestion des stocks, il repose sur un ensemble d'hypothèses simplificatrices. Néanmoins, ce modèle sert de schéma de base dans de nombreux systèmes de réapprovisionnement. Il est également utilisé dans le cadre de décisions non directement liées à la gestion des stocks telles que le choix d'investissement ou le dimensionnement de ressources de production (humaines, financières ou matérielles). Après sa présentation, nous étudions des généralisations en abandonnant certaines hypothèses jugées trop contraignantes pour l'adapter aux différents contextes rencontrés en pratique.

#### 4.1.1 Hypothèses du modèle

- Données physiques :

- La demande est connue, uniforme à taux constant,
- le taux de remplètement est infini (remplètement instantané),
- le délai de réapprovisionnement en provenance du fournisseur est fixe,
- la rupture de stock n'est pas admise (objectif facile à atteindre puisque la demande est supposée connue).

- Données économiques :

Les coûts unitaires sont fixes, indépendants du temps et de la quantité approvisionnée, et indépendants des autres articles gérés.

- Politique de gestion :

- La politique de gestion est la politique ( $Q, S$ ) : quantité fixe et point de commande,  $Q$  et  $S$  pouvant prendre des valeurs positives quelconques,
- le critère d'évaluation de la politique est le coût de gestion *par unité de temps*.

#### 4.1.2 Modélisation et recherche d'une politique optimale

La politique optimale est la recherche d'un compromis entre les coûts de passation qui augmentent avec la fréquence des approvisionnements et le coût de stockage qui, lui, diminue lorsque le nombre d'approvisionnements croît.

Notations :

- les paramètres sont

$m$  : le taux moyen de la demande exprimé en unité / unité de temps ;

$i$  : le taux de possession du stock, en % par unité de temps ;

$p_r$  : le prix de revient de l'article stocké, en unité monétaire ;

$c_p$  : le coût de passation d'une commande indépendant de la quantité commandée, en unité monétaire ;

$d$  : le délai d'approvisionnement exprimé en unité de temps ;

- les deux variables de décision sont

$Q$  : la quantité commandée à chaque réapprovisionnement, en unité (articles, volumes, poids...) ;

$S$  : le point de commande, en unité.

- les variable auxiliaire sont

$T$  : périodicité des réapprovisionnement, en unité de temps.  $Q$  et  $T$  sont liées par la relation :  $Q = m T$ .

L'évolution du stock :

Compte tenu des hypothèses, le stock physique évolue comme l'indique la courbe du graphique 1.

## Graphique 2.5. Évolution du stock

Lorsque le stock franchit le point de commande  $S$ , il décroît pendant le délai de réapprovisionnement jusqu'au niveau  $S - m d$ . La commande de  $Q$  unités est livrée, après  $d$  unité de temps, et reconstitue le stock au niveau  $S - m d + Q$ .

La durée du cycle ou périodicité de commande est :  $T = Q / m$

### 4.1.3 Recherche d'une politique optimale :

Si, comme l'illustre le graphique précédent, on choisit  $S > m d$ , il existe un stock résiduel de valeur  $S - m d$  qui génère un coût d'immobilisation. Ce stock ne se justifie pas pour éviter la rupture puisque, selon les hypothèses, la demande est parfaitement connue et régulière.

Pour éviter toute rupture de stock, la valeur optimale pour  $S$  est donc  $S^* = m d$ .

L'évolution du stock (graphique 2) est donc :

Graphique 2.6. Évolution du stock avec  $S = m d$

Le stock passe alors du niveau maximum  $Q$  au niveau 0 .

Il s'agit alors de trouver la valeur de  $Q$  qui rende minimum le coût de gestion par unité de temps.

Sur un cycle de durée  $T$ , le coût se compose :

du coût de passation noté  $c_p$ ,

du coût de stockage associé au stock moyen  $Q/2$ , égal à  $p_r i (Q/2) T$

Remarque importante : à cette étape nous ne faisons pas intervenir le coût d'achat des produits car compte tenu de l'hypothèse sur les données économiques, ce coût, *par unité de temps*, est un invariant indépendant de décision  $Q$ . Il n'a donc aucune influence sur la décision finale. Nous abordons au § le cas où les prix varient en fonction de la quantité commandée.

Le coût total *pour le cycle* ( $CC$ ) est :

$$CC = c_p + p_r i (Q/2) T = c_p + c_s (Q/2) T$$

En introduisant le coût unitaire de stockage par unité de temps :  $c_s = p_r i$

Le coût moyen de gestion *par unité de temps* est, par suite :

$$\Gamma(Q) = CC / T = c_p / T + c_s (Q/2)$$

en remplaçant  $1 / T$  par  $m / Q$ , on obtient :

$$\Gamma(Q) = c_p m / Q + c_s (Q/2) \quad (1)$$

Le premier terme représente le coût de passation par unité de temps ( $m / Q$  est le nombre de commandes par unité de temps), le second représente le coût de stockage par unité de temps.

Lorsque  $Q$  augmente, le premier terme diminue puisque les commandes s'espacent dans le temps, et le second augmente puisque la quantité stockée croît.

Le graphique 2.7. présente l'évolution du coût et de ses deux composantes en fonction de l'évolution de la quantité de commande  $Q$  pour les paramètres suivants :

$m = 250$  art / mois,  $c_p = 80$  €,  $p_r = 8\ 00$  €,  $i = 18\ %$  / an, d'où un coût de stockage unitaire par mois de  $c_s = 8\ 00 \times 0,18 / 12 = 12$  € / mois.

graphique 3 : Évolution des coûts par unité de temps en fonction de  $Q$

Détermination mathématique de l'optimum :

$\Gamma(Q)$  est définie et dérivable pour  $Q > 0$ , le calcul de la dérivée de  $\Gamma(Q)$  donne :

$$\Gamma'(Q) = -c_p \frac{m}{Q^2} + c_s / 2$$

Lorsque  $Q$  varie de 0 à  $\infty$ ,  $\Gamma'(Q)$  est négative, s'annule et devient positive.

$\Gamma(Q)$  passe donc par un minimum défini par  $\Gamma'(Q) = 0$ , soit pour la valeur :

$Q_w = \qquad \qquad (2)$
---------------------------

Cette valeur  $Q_w$  de  $Q$  s'appelle la quantité économique de commande ou quantité de Wilson. Elle minimise le coût de gestion par unité de temps.

Pour l'exemple précédent cette valeur est  $Q_w = 57,7$  art.  $\approx 58$  art

La valeur optimale du coût de gestion par unité de temps s'obtient en remplaçant  $Q$  par  $Q_w$  dans  $\Gamma(Q)$ , soit :

$$\Gamma(Q_w) = \qquad \qquad (3)$$

Pour les valeurs numériques choisies :  $\Gamma(57,7) = \qquad = 693$  € / mois

Pour ce modèle, à l'optimum, le coût de stockage et le coût de passation sont égaux à  $\qquad$ . Si  $Q$  est supérieur à l'optimum  $Q_w$  le coût de stockage est supérieur au coût de passation, dans le cas contraire, le coût de passation l'emporte sur le coût de stockage. Lors de l'audit d'une gestion de stock la comparaison de ces deux coûts permet immédiatement de repérer les articles qui risquent de ne pas être gérés de façon optimale.

Exemple : si le coût de stockage (200 €/mois) est trois fois plus important que le coût de passation (60 €/mois), le doublement de la fréquence d'approvisionnement diminue le stock de moitié (gain de 100 €/mois) et double le coût d'approvisionnement (surcoût de 60 €/mois). Le bilan est positif.

Remarque :

L'expression (3) du coût n'est valable que pour la valeur exacte  $Q = Q_w$ . Dans la pratique,  $Q_w$  n'est généralement pas une décision réalisable ( 57,7 articles ne correspond pas à une décision opérationnelle), il est donc conseillé d'utiliser de préférence l'expression générale (1) pour l'évaluation du coût.

Les résultats de ce modèle sont surtout exploités en terme de cadence d'approvisionnement

La période économique,  $T_w$ , intervalle de temps entre deux commandes est donnée par :

$$T_w = Q_w / m = \quad (4)$$

Dans notre exemple, on lancera un réapprovisionnement tous les  
 $T_w = 57,7 / 250 = 0,23$  mois, soit toutes les semaines environ.

#### 4.1.4 Analyse de sensibilité

Quelle influence un approvisionnement,  $Q$ , différent de la valeur optimale  $Q_w$ , a-t-il sur la valeur du coût de gestion ?

Soit  $Q = (1 + a) Q_w$  la valeur choisie pour l'approvisionnement, où  $a$  est un nombre réel quelconque (positif ou négatif  $> -1$ ), alors l'écart relatif du coût exprimé en pourcentage :

$$E = [ \Gamma(Q) - \Gamma(Q_w) ] / \Gamma(Q_w) \times 100 \text{ est alors : } E = 50 (a^2 / (1 + a))$$

Par exemple : choisir une quantité  $Q$  supérieure de 20 % ( $a = + 0,20$ ) à la quantité optimale  $Q_w$ , implique une augmentation du coût de gestion correspondant de  $E = 50 (0,04 / 1,20) = 1,7$  % .

Ceci signifie que le coût de gestion par unité de temps *n'est pas très sensible à un choix de  $Q$  pris dans le voisinage de la valeur optimale*, ce qui nous permet sans pénalité économique importante de tenir compte de contraintes supplémentaires pour la détermination de  $Q$ .

Dans un environnement incertain où les paramètres ne sont pas estimés par des valeurs ponctuelles précises mais par des plages de valeurs telles que  
 $c_p^{\min} \leq c_p \leq c_p^{\max}$  ;  $c_s^{\min} \leq c_s \leq c_s^{\max}$  ;  $m^{\min} \leq m \leq m^{\max}$

il n'existe pas de périodicité optimale au sens où nous l'avons défini ci-dessus puisque puisque l'optimum dépend d'un jeu précis de paramètres. On peut néanmoins montrer (cf. Vallin, 1996) qu'il existe une périodicité *robuste*, c'est à dire une périodicité dont l'usage n'éloigne pas trop de l'optimum quel que soit le jeu de paramètre à l'intérieur de la plage de variation. Si l'éloignement de l'optimum est mesuré en terme d'écart relatif de coût, cette périodicité robuste,  $T_r$ , est donnée par l'expression

$$T_r = \sqrt{T \min T \max}$$

où  $T_{\min}$  et  $T_{\max}$  sont les périodicités calculées pour les jeux extrêmes de paramètres :

$$T_{\min} = \sqrt{\frac{2c_p^{\min}}{m^{\max} c_s^{\max}}}; T_{\max} = \sqrt{\frac{2c_p^{\max}}{m^{\min} c_s^{\min}}}$$

Cette moyenne harmonique est inférieure à la moyenne arithmétique,  $(T_{\min}+T_{\max})/2$ , la solution robuste incite, en cas d'incertitude, à choisir des périodicités faibles.

#### 4.1.5 Interprétation financière de la valeur de $Q_w$

Dans la politique précédente on approvisionne à intervalles réguliers - toutes les  $Q/m$  unités de temps - une quantité  $Q$  d'articles au prix de revient  $p_r$  soit une dépense d'un montant de  $c_p + Q p_r$ . Or, le financier actualise les dépenses futures (la dépense de 1 franc à une date future a une valeur actuelle plus faible). Si nous prenons  $i$  comme taux d'actualisation, la valeur actuelle,  $Va(Q)$ , des charges d'approvisionnements sur un horizon supposé infini est :

$$Va(Q) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{c_p + Q p_r}{(1+i)^{kQ/m}}$$

Cette expression de  $Q$  est une fonction qui passe par une valeur minimum pour un choix approprié de  $Q$ . Ce minimum correspond à l'arbitrage entre des dépenses fréquentes de niveau « faible » ( $Q$  faible) et des dépenses plus « importantes » mais espacées dans le temps ( $Q$  fort).

Or, on montre que si  $i \times (Q/m) \ll 1$  - ce qui n'est pas une hypothèse déraisonnable -, la valeur de  $Q$  qui rend minimum  $Va(Q)$  est, avec une très bonne approximation, la valeur  $Q_w$  trouvée précédemment.

Il est réconfortant de trouver la même solution à un problème en passant par une modélisation différente ; ce résultat élargit donc la validité du choix de la quantité optimale de commande. En particulier aucune hypothèse sur l'évolution du stock n'est introduite dans l'approche financière.

## 4.2 Généralisation du modèle

Dans la pratique certaines hypothèses du modèle peuvent ne pas être respectées. Nous étudions donc dans cette section trois situations, fréquemment rencontrées en pratique, où certaines hypothèses introduites à la section 1.2 sont abandonnées.

Ces situations se rencontrent lorsque :

- Les variables  $Q$  et/ou  $T$  ne peuvent pas prendre n'importe quelle valeur positive. C'est le cas lorsqu'il y a des contraintes de conditionnement imposées par le fournisseur ou lorsque pour des raisons d'organisation l'approvisionnement doit avoir lieu en début de période calendaire (semaine ou mois par exemple).
- Le taux d'approvisionnement n'est pas infini. Ce cas se présente, en particulier, lorsque le flux d'articles qui alimente le stock est généré par une unité de production qui ne peut pas produire instantanément les quantités demandées.
- Le prix de revient des articles dépend de la quantité commandée. Ce cas est très fréquent dans la grande distribution où les fournisseurs proposent des remises en fonction de seuils minima de commandes : la palette, le camion complet ...

### 4.2.1 Contraintes sur $Q$ et / ou $T$ .

La quantité à approvisionner,  $Q$ , doit être un multiple d'une quantité  $q_0$  qui peut correspondre à un conditionnement minimum, donc  $Q = k q_0$ ,  $k > 0$ , entier.

Puisque  $\Gamma(Q)$  possède un minimum unique en  $Q_w$ , il suffit de calculer  $\Gamma(Q)$  pour les deux valeurs  $Q_1 = k q_0$  et  $Q_2 = (k + 1) q_0$  qui encadrent la valeur de  $Q_w$  et retenir celle qui minimise le coût par unité de temps.

Exemple :

Si  $q_0 = 40$ , l'exemple de la section 1.2 conduit à  $Q_1 = 1 \times 40 < 57,7 < Q_2 = 2 \times 40 = 80$ .

$\Gamma(Q_1) = 80 \times 250 / 40 + 40 \times 12 / 2 = 740 \text{ € / mois}$ ,

$\Gamma(Q_2) = 80 \times 250 / 80 + 80 \times 12 / 2 = 730 \text{ € / mois}$ .

On préfère donc approvisionner 80 articles. L'économie relative par rapport au choix de  $Q_1$  est de  $(740 - 730) / 740 = 1,4 \%$ .

Le coût relatif de cette contrainte est de  $(730 - 693) / 693 = 5,3 \%$  (pour une modification de la quantité approvisionnée de 39 %).

Un raisonnement analogue pourra être tenu si  $T$  doit être un multiple d'une période de base  $t_0$ .

#### 4.2.2 Cas où le taux d'approvisionnement est fini

Nous noterons,  $a$ , ce taux, c'est à dire le nombre d'articles qui entrent en stock par unité de temps pendant la période d'approvisionnement. Si on conserve les autres hypothèses, l'évolution du stock est alors la suivante :

##### **Graphique 4**

évolution du stock avec un taux d'approvisionnement fini

Pendant la période d'approvisionnement de durée  $T_1$  l'accroissement réelle du stock s'effectue à un taux  $a - m$  car la demande, de taux  $m$ , continue à s'exprimer. Pendant la période  $T_2$  le stock diminue à un taux  $m$  comme dans le cas classique.

Dans ces conditions, on montre que le coût minimum est obtenu pour la valeur

$$Q_a = \frac{a}{r} ; \text{ où } r = 1 - m/a ;$$

la quantité approvisionnée ou lancée en production est  $L_a = Q_a / r = \frac{a}{r^2} > Q_w$

Si  $a \rightarrow \infty$ ,  $r \rightarrow 1$  on retrouve les résultats du § 1.2.

Si  $m = a$ ,  $r = 0$ , il n'y a plus de constitution de stock : c'est le cas de la gestion en Juste à Temps (les flux amont et aval sont synchronisés).

Exemple numérique : en reprenant les données du § 1.2., supposons que le taux d'approvisionnement soit de  $a = 1000 \text{ art / mois}$ , alors  $r = 0,75$  et, par suite :

$$Q_a = 57,7 \times 0,87 = 50 \text{ art.} ; L_a = 57,7 / 0,87 = 67 \text{ art.}$$

La quantité lancée est supérieure à la quantité économique car la stock maximum n'atteindra pas ce niveau puisque la demande s'exprime en permanence.

#### 4.2.3 Cas où le prix de revient dépend de la quantité approvisionnée

Dans la situation où il existe des remises en fonction de la quantité approvisionnée, le prix de revient décroît avec la quantité commandée  $Q$ .

Généralement le prix décroît par seuils, en prenant l'exemple de deux seuils, l'évolution du prix de revient,  $p(Q)$ , est :

$$\begin{aligned} p(Q) &= p_0 \text{ si } Q < s_1 \\ p(Q) &= p_0 (1 - r_1) \text{ si } s_1 \leq Q < s_2 \\ p(Q) &= p_0 (1 - r_2) \text{ si } s_2 \leq Q \end{aligned}$$

où  $p_0$  est le prix de base,  $r_1$  et  $r_2$  sont les réductions proposées si l'approvisionnement atteint les seuils correspondants.

Dans ce cas, le critère de choix de la politique doit non seulement intégrer le coût de gestion par unité de temps mais aussi le budget d'achat moyen *par unité de temps* des approvisionnements car il dépend de la variable de décision  $Q$ .

Le flux approvisionné, en moyenne par unité de temps, est  $m$ , le budget correspondant est donc :  $p(Q)m$  expression qui ne dépend de  $Q$  que par  $p(Q)$ . Il évolue par paliers le coût d'achat par unité de temps étant  $m p(Q)$ .

Le critère à minimiser sera :  $\Gamma(Q) = c_p m / Q + pr(Q) i Q / 2 + m p(Q)$

Exemple : prenons un article dont les caractéristiques sont les suivantes :

demande mensuelle est de  $m = 10$  art / mois,

$i = 24\%$  / an,  $c_p = 100$  €,  $pr_0 = 60$  €

On peut bénéficier d'une réduction par rapport au prix de base de  $r_1 = 2\%$  si  $Q \geq s_1 = 60$  et de  $r_2 = 5\%$  si  $Q \geq s_2 = 150$ .

Les quantités économiques calculées pour les trois niveaux de prix sont respectivement de :  $Q_0 = 40,8$  art ;  $Q_1 = 41,2$  art ;  $Q_2 = 41,8$  art. Il s'ensuit que les valeurs susceptibles de correspondre à l'optimum sont :  $Q = Q_0$  ;  $Q = s_1$  ;  $Q = s_2$ , puisque  $Q_1$  et  $Q_2$  sont respectivement inférieurs à  $s_1$  et  $s_2$ .

Le graphique 5 suivant représente en trait plein le coût de gestion en fonction des valeurs de  $Q$ .

Le calcul de  $\Gamma(Q_0) = 649$  €/mois,  $\Gamma(s_1) = 640$  €/mois et  $\Gamma(s_2) = 662$  €/mois permet de trouver la valeur optimale  $Q^* = s_1 = 60$ . La réduction de 2 % permet non seulement de compenser le surcoût de stockage imposé par le seuil de 60 art mais de réduire le coût global. En revanche la réduction de 5 % est insuffisante car l'augmentation du coût de stockage dû au seuil minimum à respecter est plus forte que le gain obtenu sur l'achat. Il faut noter que le gain réel n'est que de 1,4 % au lieu des 2% annoncés.

### Graphique 2.9. Évolution du coût global

seuil n°1 : 60

seuil n° 2 : 150

#### 4.2.4 Conclusion sur le modèle à quantité économique

Dans la pratique, ce modèle est surtout utilisé pour déterminer non pas la quantité exacte à commander mais plutôt pour calculer une fréquence de réapprovisionnement, c'est à dire le nombre de réapprovisionnements à prévoir dans l'année. Il n'est pas utile de prévoir une gamme très étendue de ces fréquences car nous avons remarqué que le coût de gestion n'est pas très sensible aux variations de ces fréquences (cf. § 1.3). De plus, le choix de la fréquence peut s'effectuer sur la base du chiffre d'affaires annuel.

En effet, d'après l'équation (4), la fréquence  $f$ , le coût de stockage unitaire pour l'article peut s'exprimer à partir du prix de revient, si  $\mu$  est la marge commerciale :

$$c_s = pv \times (1-\mu) \times i$$

où  $pv$  est le prix de vente et  $i$  le taux d'immobilisation.

L'expression  $c_s \times m$  peut donc s'écrire  $m \times pv \times (1-\mu) \times i = CA (1-\mu) \times i$  où  $CA = m \times pv$  est le chiffre d'affaires de l'article. Donc :

dépend uniquement du chiffre d'affaires si on considère  $K$  comme une constante pour l'entreprise. La classification ABC, selon le critère du chiffre d'affaires, permet de définir des classes d'articles ayant une fréquence d'approvisionnement appropriée.

## 5 Chapitre 5 : La modélisation de la demande

### 5.1 Faire face à l'imprévu, le rôle du stock de sécurité

Le stock est constitué pour alimenter la demande. Or, très souvent, cette demande n'est connue qu'imparfaitement. C'est le cas lorsque le stock alimente une demande de produits finis exprimée par le consommateur final ou par le distributeur intermédiaire. Cette situation se rencontre fréquemment dans la vie courante : vous partez en vacances à l'étranger ; de combien de devises aurez-vous besoin ? Vous invitez des amis à dîner ; quelle quantité de pain devez vous prévoir ?

Pour éviter de gonfler inutilement les stocks, le gestionnaire essaye de modéliser la demande future par la mise au point du système de prévision (cf. chapitre II). Cette représentation de la demande s'effectue par une variable aléatoire qui caractérise ses différents niveaux .

Quelle que soit la qualité du système de prévision - il peut s'agir d'une simple intuition exprimée par un chef de produit - celui-ci doit fournir deux caractéristiques principales de la future demande :

- le niveau moyen de la demande pour chaque période future étudiée,
- une indication sur les fluctuations possibles de la demande réelle autour de cette moyenne estimée.

Ces fluctuations, qui peuvent être interprétées comme des erreurs de prévision par rapport à une prévision idéale qui prédirait à coup sûr le niveau exact de la future demande, conditionnent directement le stock dit de sécurité (voir chapitre III). Ce stock sert à satisfaire cette demande dans le cas où elle excède la valeur moyenne prévue.

### 5.2 Modéliser l'environnement aléatoire

La gestion nécessite un minimum d'informations. Le flou complet et indescriptible est par essence non gérable, il est donc nécessaire de caractériser la demande aléatoire et de définir les critères permettant de comparer les politiques de gestion agissant sur un environnement incertain.

#### 5.2.1 La notion de variable aléatoire

La gestion d'une situation aléatoire, non déterministe, passe obligatoirement par la description *exhaustive* de tous les événements qui peuvent caractériser cette situation. En ce qui concerne la gestion des stocks, il s'agit de repérer les différents niveaux de demande que le stock est censé satisfaire (on suppose qu'il n'y a pas d'aléa du côté fournisseur). Il s'agit donc, dans un premier temps, de définir le *champ de variation* de la demande.

Par exemple, la demande mensuelle de la référence AGF300 peut varier entre 50 et 100 unités avec un pas de 10 (taille du conditionnement imposé au client). Cela signifie :

- que la variable représentant la demande peut prendre les valeurs 50, 60, 70,80, 90, 100,
  - qu'il est absolument irréaliste, pour la période étudiée, que cette demande tombe en deçà de 50 ou dépasse la valeur 100,
  - qu'un conditionnement soit ouvert pour livrer une quantité différente d'un multiple de dix pièces.
- En cas de doute, l'analyste peut toujours augmenter l'amplitude et affiner le pas de variation, cela ne modifie guère la complexité de l'étude.

A partir de cette information, il est possible de prendre des décisions, par exemple, assurer un service maximum, en constituant, en début de chaque mois, un stock de 100 unités AGF300 afin de faire face à toute éventualité ; ou renouveler le stock à 90 unités chaque mois sachant que l'on prend le risque de *ne pas toujours* satisfaire la demande puisqu'elle peut s'élever jusqu'à 100.

Pour préciser le terme "*ne pas toujours*", il est utile d'associer à chaque occurrence possible de la demande un coefficient mesurant la crédibilité de cette éventualité. Ces coefficients sont appelés les *probabilités* des événements. A chaque valeur possible de la demande on associe un nombre positif dont la valeur est proportionnelle à la confiance que l'on accorde à la réalisation de cette valeur ( l'événement). Par convention, la somme de toutes les probabilités utilisées pour pondérer les divers événements est égale à 1 ; la probabilité d'un événement est donc un nombre compris entre 0 et 1. Plus sa probabilité est proche de 1, plus l'événement a de chances de se réaliser et, en conséquence, moins les autres ont de chances d'être observés.

En résumé, une variable aléatoire  $X$  est la donnée d'un champ exhaustif de valeurs possibles (notées  $x_i$ ) que peut prendre cette variable auxquelles est associé un système de poids : les probabilités notées  $P(x_i)$ .

Par exemple, la demande mensuelle de la référence AGF300 peut être présentée par le tableau 1 :

Tableau 1 :  
**Variable aléatoire  $X$**

$x_i$	50	60	70	80	90	100
$P(x_i)$	0,05	0,10	0,30	0,40	0,10	0,05

On sait maintenant que si le stock est reconstitué chaque début de mois avec 90 unités la demande sera assurée avec une forte probabilité : 95% puisque l'événement  $\{X= 100\}$ , n'a qu'une probabilité de 5 % de se réaliser.

Deux paramètres importants caractérisent une variable aléatoire (cf. chapitre II) :

a) l'*espérance mathématique* (interprétée comme la moyenne) pour caractériser la position centrale,

b) l'*écart-type* pour caractériser la dispersion autour de la position centrale.

Pour notre exemple, l'espérance mathématique ;

l'écart-type

Comment évaluer les probabilités  $P(x_i)$  ?

- Lorsque la demande se répète, c'est le cas d'une demande mensuelle ou hebdomadaire qui s'exprime chaque mois ou chaque semaine, on estime la probabilité par la fréquence d'observation : la probabilité de  $\{X=70\}$  est évaluée à 0,30 si la proportion observée des mois où la demande est de 70 unités est de 30%. Ce traitement est effectué par le système de prévision.

- S'il s'agit d'un événement exceptionnel pour lequel aucun historique n'est disponible on utilise alors des probabilités *a priori* construites par analogie avec l'aide d'experts. En cas d'impossibilité réaliste on abandonne la notion de probabilité pour décider sur la seule base du champ de variation de la variable. Nous supposons, dans la suite, que nous disposons de la distribution des probabilités ne serait-ce que d'un système équiprobable :  $P(x_1)=P(x_2)= \dots = P(x_n)=1/n$

L'utilisation de tableaux pour modéliser la demande aléatoire de chaque référence ne serait pas d'un usage simple sur le plan opérationnel. La complexité de mise à jour de telles informations serait rédhibitoire. Dans la pratique, le prévisionniste préfère utiliser des modèles théoriques de distribution des variables aléatoires dans lesquels les informations se résument à peu de paramètres.

### 5.2.2 Ajuster les modèles théoriques grâce au système de prévision

Les statisticiens ont construit de nombreux modèles de référence pour différents types de variables aléatoires<sup>6</sup>. Suivant le contexte, le statisticien choisit a priori un modèle censé décrire le phénomène aléatoire étudié puis teste son pouvoir représentatif en fonction des observations qu'il possède (historique ou échantillon). Pour décrire une demande, deux modèles théoriques sont particulièrement sollicités, il s'agit du modèle de Gauss ou Normal et du modèle de Poisson.

- La variable aléatoire qui suit **une loi de Gauss** a un domaine de définition qui varie entre  $-\infty$  et  $+\infty$  en prenant toutes les valeurs intermédiaires (y compris les valeurs non entières). Cette loi est symétrique, la variable aléatoire a autant de chances de prendre des valeurs inférieures à la moyenne que de prendre des valeurs supérieures. L'utilisation d'une telle variable peut paraître inadéquate pour la représentation d'une demande qui est toujours positive et prend généralement des valeurs entières. Mais, pour les problèmes de gestion de stocks, il s'agit essentiellement de mesurer la probabilité que la demande dépasse un certain seuil (évaluation du risque de rupture) et, en conséquence, de représenter la demande pour ses valeurs nettement supérieure à la moyenne. En pratique, dès que la demande dépasse quelques dizaines d'unités (à partir de 20), l'approximation par la loi de Gauss devient valide. Cette loi conviendra donc aux flux qui dépassent les 20 unités par période élémentaire d'analyse ; c'est généralement le cas dans la distribution des produits consommés par les ménages.

- La variable aléatoire qui suit **une loi de Poisson** (appelée loi des événements rares) ne prend que des valeurs entières entre 0 et  $+\infty$ , elle modélise bien les demandes faibles, sporadiques de quelques unités, voire des demandes fréquemment nulles. Les dépannages en pièces détachées peuvent être représentés par cette loi. Le tableau 2 illustre le choix d'une loi théorique.

Tableau 2  
**Exemple du choix d'une loi théorique**

---

<sup>6</sup>B. Goldfarb, C. Pardoux. 1993

période	Sorties par périodes	
	ref AGF150	ref AGF275
1	125	0
2	85	1
3	150	2
4	143	0
5	94	0
6	100	1
7	110	2
8	60	3
9	75	1
10	95	0
11	114	0
12	120	1
13	130	0
14	80	1
moyenne	106	0,86
écart-type	26	0,95

Modélisation par la loi de Gauss	Modélisation par la loi de Poisson
moyenne 106 écart-type 26	moyenne = 0,86

Pourquoi utiliser des modèles « prêt à porter » plutôt que du « sur mesure » ?

L'intérêt opérationnel des modèles théoriques est le très faible nombre de paramètres nécessaires à leur identification : deux paramètres suffisent à identifier une loi de Gauss, la moyenne et l'écart-type ; un seul est nécessaire pour la loi de Poisson, la moyenne (qui est également la variance). Connaissant ces paramètres, les probabilités associées aux différentes valeurs de la variable s'en déduisent par calcul ou par lecture sur une table.

Le système de prévision a donc pour tâche de fournir pour chaque période de l'horizon de prévision une estimation de la moyenne et de l'écart-type de l'erreur de prévision.

L'estimation de la moyenne intègre, comme nous l'avons vu au chapitre II, tous les facteurs explicatifs : tendance, saisonnalité, variables explicatives, saisie d'information en aval (EDI)... afin de réduire au minimum incompressible la partie aléatoire.

L'estimation de l'écart-type, qui caractérise les fluctuations inexplicables, a priori, autour de cette moyenne, s'effectue par la mesure des écarts entre moyenne prévue et réalisation correspondante observée. Cet écart est la résultante de deux composantes :

- l'erreur d'estimation de la moyenne qui reflète un dysfonctionnement du système de prévision,
- et l'incapacité de connaître à l'avance les fluctuations autour de la moyenne, fluctuations dues à des causes non modélisables.

C'est le cumul de ces deux erreurs, communément appelé « erreur de prévision », qui conditionne le dimensionnement des stocks de sécurité.

On remarque en pratique que l'écart-type,  $\sigma$ , de la seconde composante n'est pas proportionnel à la moyenne,  $m$ , mais croît selon la loi  $\sigma = Am^r$  où  $A$  est un paramètre dépendant des unités de mesure et  $r$  un coefficient d'élasticité généralement compris entre 0,75 et 0,85. Après

mesure des paramètres sur les articles d'une famille, cette loi permet de faire une première estimation de l'écart-type de la demande pour un nouveau produit (donc sans historique) de la famille dès que la moyenne peut être évaluée.

## 6 Chapitre 6 : Dimensionnement du stock de sécurité

Comme nous l'avons vu deux familles de critère entrent en jeu : la *qualité de service* et le *coût de gestion*. Ce dernier critère implique que l'on sache mesurer le coût de rupture, puisqu'il faut tenir compte de cette éventualité dans le contexte aléatoire.

### 1.3.1. Les critères de qualité de services

Nous pouvons distinguer quatre critères principaux<sup>1</sup> :

- la probabilité de non rupture par cycle,
- la probabilité de non rupture par unité de temps (ex : par an),
- la proportion de demande satisfaite par unité de temps,
- la période de temps pendant laquelle on peut satisfaire la demande (ce critère peut être considéré comme équivalent au précédent).

### 1.3.2. Les critères fondés sur les coûts

Trois critères principaux peuvent être distingués:

- le coût fixe par rupture (cas du dépannage),
- le coût proportionnel au nombre d'articles en rupture (cas de la demande perdue),
- le coût proportionnel au nombre d'articles et à la durée de la rupture (cas de la demande différée, immobilisation de moyen de production).

La différence fondamentale avec le cas déterministe réside dans l'aspect aléatoire de toute évaluation des mesures des critères de gestion. En effet, le coût de gestion par unité de temps est fonction de la demande pendant cette unité de temps, il est donc aléatoire. Le nombre d'articles en rupture, pour une période fixée, sera également aléatoire. En gérant des stocks, on se trouve face à une situation répétitive dont la période est le cycle de réapprovisionnement. Le concept d'espérance mathématique trouve une interprétation concrète en terme de moyenne.

Ce critère peut être utilisé si la mesure de toutes les composantes du coût est réalisable (coût de stockage, de rupture, d'approvisionnement).

Si, pour une politique de gestion choisie,  $P$ , et une variable aléatoire modélisant la demande par unité de temps,  $Y$ , on note  $\Gamma(P, Y)$  le coût de gestion du stock par unité de temps, l'espérance mathématique du coût est :

$$E[\Gamma(P, Y)] = \sum_{y=y_{\min}}^{y_{\max}} \Gamma(P, y) p_y$$

où  $Y$  prend des valeurs discrètes,  $y$ , entre  $y_{\min}$  et  $y_{\max}$  et  $p_y$  la probabilité associée à  $y$ .

Remarquons que  $E[\Gamma(P, Y)]$  n'est fonction que de  $P$ , la politique optimale  $P^*$  rend minimale cette espérance.

---

<sup>1</sup> R.J. Tersine, 4 è éd., 1994

## 6.1 Dimensionner les stocks

Après le choix des variables de décision et des critères effectués par le gestionnaire, le calcul permet de dimensionner le stock.

### 6.1.1 Politique à réapprovisionnement calendaire et niveau de rechargement

Ces politiques correspondent à un réapprovisionnement périodique, la période est supposée imposée par des contraintes extérieures ou déterminée par un calcul d'optimisation. Plaçons nous dans le contexte du modèle à quantité économique du chapitre IV, mais dans un environnement aléatoire et une politique de type  $(T, R)$ .

### 6.1.2 Hypothèses du modèle

On conserve les hypothèses présentées au paragraphe 1.1.1. du chapitre IV sauf en ce qui concerne la demande. Ici, la demande est aléatoire, mais on sait déterminer sur une période  $T$  quelconque la demande maximale notée :  $M(T)$  ; on suppose que  $M(T) = k m T$  où  $m$  est la demande moyenne par unité de temps et  $k > 1$ , une constante indépendante de  $T$ . Cette hypothèse peut être traduite par « quelle que soit la période observée, la demande n'excède jamais  $k$  fois la demande moyenne ».

L'espérance mathématique de la demande sur une période  $T$  est :  $m T$ , quel que soit  $T$ ,

### 6.1.3 Détermination de $T$ et $R$

Puisqu'on s'interdit toute rupture de stock, tout en voulant réduire le coût de stockage, le niveau de rechargement est lié à  $T$  par la relation  $R = M(T) = k m T$ .

Il suffit donc de déterminer  $T$ .

La demande pendant la période  $T$  est notée  $X(T)$ , c'est une variable aléatoire.

Le coût de gestion, aléatoire puisque fonction de  $X(T)$ , comprend le coût de réapprovisionnement et le coût de stockage.

Notons  $c_p$  le coût fixe de passage de commande et  $c_s$  le coût de stockage unitaire par unité de temps.

Le coût sur la période  $T$  est :  $c_p + T c_s (2 R - X(T)) / 2$

Par unité de temps, le coût associé au choix du cycle  $T$  est :  $\Gamma(T) = \frac{c_s}{2} (2 R - X(T)) + \frac{c_p}{T}$

$T$  est choisi pour rendre minimum,  $E[\Gamma(T)]$ , l'espérance mathématique de  $\Gamma(T)$ .

$$\begin{aligned} E[\Gamma(T)] &= \frac{c_s}{2} (2 R - E[X(T)]) + \frac{c_p}{T} \\ &= \frac{c_s}{2} (2 k m T - m T) + \frac{c_p}{T} \\ &= \frac{c_s}{2} m T (2 k - 1) + \frac{c_p}{T} \end{aligned}$$

La recherche de l'optimum s'effectue comme dans le cas de la quantité économique de commande en contexte déterministe.

L'optimum  $T^*$  est donc :  $T^* = \sqrt{\frac{2 c_p}{(2 k - 1) m c_s}}$  et  $R^* = k m T^*$

Comparons l'expression précédente à l'expression trouvée dans le cas déterministe, on remarque que seule la composante du coût de stockage est modifiée, multipliée par le facteur  $2k-1$ . Dans le cas limite où  $k=1$  on retrouve l'expression du coût sous l'hypothèse de la demande déterministe, et l'expression de la période économique,  $T_w$ , trouvée au chapitre IV. Puisque  $k$  est supérieur à 1, la période optimale  $T^*$  est inférieure à  $T_w$ .  $T^*$  est une fonction décroissante de  $k$  ce qui peut s'interpréter comme une compensation (par réduction de la période) de l'augmentation du stock dû à la prévention de rupture.

Exemple : Soit un article dont la demande maximum peut atteindre 4 fois la valeur moyenne au cours d'une période de temps quelconque, on choisira alors pour sa gestion une période économique,  $T^*$ , telle que

$$\frac{T^*}{T_w} = \sqrt{\frac{1}{7}} = 0,38$$

La période économique est environ trois fois plus courte que ce qu'elle aurait été si la demande s'était avérée parfaitement régulière ( $k=1$ ) : face à un environnement incertain la maîtrise du stock passe par une augmentation de la fréquence de réapprovisionnement.

## 6.2 Politique d'approvisionnement sur point de commande par quantité fixe

Dans les cas où il existe un délai d'approvisionnement, pour contrôler la rupture de stock face à une demande variable il est efficace de reconstituer le stock dès que le niveau du stock virtuel franchit un seuil,  $S$ , appelé point de commande ou seuil d'alerte. La valeur de ce seuil est fixée afin que le stock correspondant permette de satisfaire la demande pendant le délai de livraison.

Fixer ce seuil dépend des critères de qualité de service utilisés. Nous étudierons deux cas :

- Pour une quantité commandée,  $Q$ , fixée : déterminer  $S$  pour limiter la probabilité de rupture par cycle.
- Pour une quantité commandée,  $Q$ , fixée : déterminer  $S$  pour limiter la probabilité de rupture par unité de temps.

### 6.2.1 Détermination de $S$ pour limiter la probabilité de rupture par cycle

Cette approche suppose que l'on accepte de décomposer la politique d'approvisionnement en deux sous-problèmes indépendants :

- a) déterminer la quantité,  $Q$ , à approvisionner,
- b) déterminer  $S$ , indépendamment, pour assurer la qualité de service.

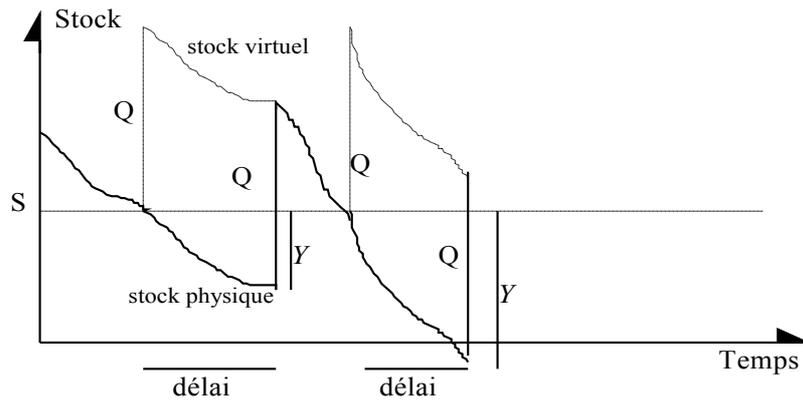
Le choix de  $Q$  s'effectue sur la base du calcul de la quantité économique en univers déterministe en prenant pour taux de demande par unité de temps la demande moyenne (espérance mathématique de la demande aléatoire).

Pour choisir  $S$ , on fixe *a priori* une probabilité de rupture par cycle  $\alpha$ .

L'évolution du stock, dans le cadre de cette politique, est illustrée par le graphique 1 :

Graphique 1

### Evolution du stock, demande aléatoire, politique (Q, S)



Si  $d$  est le délai d'approvisionnement, intervalle de temps entre la commande et la livraison, et  $Y$  la demande aléatoire pendant ce délai, alors  $S$  est déterminé par :

$$P(Y > S) \leq \alpha ; \text{ en choisissant } S \text{ le plus petit possible}$$

L'événement  $\{Y > S\}$  représente bien la rupture puisque la demande pendant le délai a dépassé les ressources en stock au début de ce délai. Et c'est le plus petit niveau de  $S$  qu'il faut définir afin de réduire les coûts de stockage.

Exemples d'application :

a) Cas d'une loi empirique discrète

Fixons à deux unités de temps la durée du délai, et choisissons comme caractéristique de qualité de service  $\alpha = 15\%$  (la probabilité de satisfaire la demande à chaque cycle doit être supérieure à 85%). Le tableau 3 fournit les valeurs de  $P(Y > y_k)$

Tableau 3  
 $P(Y > y_k)$

$y_k$	10	15	20	25	30	35	40	50	60	total
$P(y_k)$	0.01	0.06	0.09	0.10	0.30	0.02	0.31	0.10	0.01	1
$P(Y > y_k)$	0.99	0.93	0.84	0.74	0.44	0.42	0.11	0.01	0	

Si on désire respecter le seuil  $\alpha$ , on prendra  $S = 40$ . La probabilité de dépasser 40 pendant les deux unités de temps est en effet de 11% .

b) Cas d'une loi théorique continue

La demande hebdomadaire de l'article  $A$  peut être modélisée par une loi de Gauss de moyenne  $m = 50$  et d'écart-type  $\sigma = 25$ . Le délai d'approvisionnement est de trois semaines. Quelle valeur de  $S$  doit-on choisir pour limiter la probabilité de rupture à 5 % ?

On suppose généralement, dans ce cas, que les variables modélisant la demande hebdomadaire sont indépendantes. La demande  $Y$  pendant le délai de 3 semaines est modélisée par une loi de Gauss de moyenne  $m_y = 3 \times 50 = 150$  et d'écart type  $\sigma_y = 25 \sqrt{3} = 43$ .

La relation  $Y > S$  caractérisant la rupture est équivalente à la relation  $(Y - m_y) / \sigma_y > (S - m_y) / \sigma_y$ , puisque  $\sigma_y$  est positif (la division par un nombre positif ne change pas le sens de l'inégalité).

Or la variable  $U = (Y - m_y) / \sigma_y$ , suit une loi de Gauss centrée réduite, sa densité de probabilité est donc lue dans les tables statistiques.

La plus petite valeur de  $S$  telle que  $P(Y > S) \leq 5\%$  est la valeur  $S^*$  définie par  $P(Y > S^*) = 5\%$  car  $P(Y > S)$  est une fonction continue et décroissante de  $S$ .

D'où l'équation :  $P(U > (S^* - m_y) / \sigma_y) = P(Y > S^*) = 5\%$

La lecture de la table fournit  $(S^* - m_y) / \sigma_y = 1,65$  ; d'où  $S^* = m_y + 1,65 \sigma_y = 221$  articles

Le coefficient  $k = 1,65$  est appelé le coefficient de sécurité, il est lié à la valeur choisie de  $\alpha$  caractérisant la qualité de service.

Pour une valeur  $\alpha = 1\%$ , ce coefficient vaut  $k = 2,3$  ; dans ce cas le point de commande s'élève puisqu'on réduit le risque de rupture :  $S^* = 249$  articles

$S^*$  se compose de deux stocks :

- l'un correspondant à la demande moyenne pendant le délai,  $m_y$
- l'autre,  $k \sigma_y$ , s'appelle le **stock de sécurité**.

En s'appuyant sur cet exemple, on peut donner l'expression générale du point de commande dans cette approche

$$S^* = m d + k_{\alpha} \sigma \sqrt{d}$$

$m$ ,  $\sigma$  représentent respectivement la demande et son écart-type par **unité de temps**,  $d$ , le délai,

$k_{\alpha}$  le coefficient de sécurité associé au choix de  $\alpha$ .

### 6.2.2 Limiter la probabilité de rupture par unité de temps

Le critère du paragraphe précédent ne tient pas compte du nombre des réapprovisionnements réalisés par unité de temps. Pour une probabilité de rupture par cycle fixée, 5% par exemple, la qualité de service ne sera pas la même si la quantité commandée,  $Q$ , implique 52 réapprovisionnements ou un seul réapprovisionnement par an.

Il semble donc préférable de viser une **probabilité de ne pas être en rupture par unité de temps**.

On peut approcher la solution de ce problème comme suit :

Le nombre moyen de cycles par unité de temps est  $m/Q$ . Si  $\alpha$  est la probabilité de rupture par cycle, la probabilité,  $P$ , de ne pas être en rupture par unité de temps sera  $P = (1 - \alpha)^{m/Q}$ .

A partir d'un objectif fixé de probabilité de non rupture par unité de temps,  $P$ , on détermine  $\alpha$  par la relation :  $1 - \alpha = P^{Q/m}$ . On est ainsi amené, pour déterminer  $S^*$ , au cas précédent.

Exemple : reprenons le cas de l'article A étudié au paragraphe précédent. Supposons  $Q = 200$  (un réapprovisionnement tous les mois environ), et supposons que le gestionnaire fixe une probabilité de qualité de service (non rupture) par an de 95 %.

$\alpha$  est alors déterminé par  $\alpha = 1 - 0,95^{(200/2600)} = 1 - 0,996 = 0,004$

Il faut donc limiter la probabilité de rupture par cycle à 0.4%, c'est-à-dire choisir

$$S^* = 150 + 2,65 \times 43 = 264 \text{ art.}$$

Cette approche permet de définir  $S^*$  en fonction du choix de  $Q$ .

### 6.3 Classer les références

Nous avons vu au chapitre IV que la fréquence d'approvisionnement est fonction du chiffre d'affaires de l'article. L'analyse que nous venons de mener souligne l'importance du coefficient de variation. En effet, le stock de sécurité, d'un article de prix  $p$ , exprimé en valeur est

$SS = pk\sigma\sqrt{L} = (CA)k(CV)\sqrt{L}$ ; où  $L$  représente la période de contrôle,  $L=d$  pour une politique sur point de commande,  $L=d + T$  pour une politique calendaire.  $CV$  est le coefficient de variation.

Pour former des classes homogènes de gestion afin d'adapter la politique aux caractéristiques des références gérées, les paramètres pertinents à prendre en compte sont donc :

le chiffre d'affaires,  $CA$  ; le coefficient de variation,  $CV = \sigma/m$  ; le délai fournisseur,  $d$  ; nous ajouterons la fréquence d'approvisionnement,  $F$ , bien que celle-ci soit théoriquement liée au  $CA$ . Pratiquement on distinguera quatre à cinq classes de gestion qui posséderont leurs paramètres spécifiques. Pour terminer, insistons sur le fait que c'est le coefficient de variation qui détermine le stock de sécurité et non la seule moyenne, ce qui est trop souvent le cas lorsque le gestionnaire raisonne en terme de périodes de couverture.

A retenir :

Pour faire face à l'imprévu, il est nécessaire de constituer un stock de sécurité. La limitation de ce stock passe par la mesure de l'écart-type de l'erreur de prévision et la définition d'une qualité de service adaptée à chaque famille d'articles

## 7 Chapitre 7 : Analyse des coûts de transport

La décision logistique, qu'elle soit d'ordre stratégique, tactique ou opérationnel, repose sur une analyse multicritère. Les deux objectifs principaux étant la réduction des coûts d'exploitation et d'investissement et l'augmentation de la qualité de service. Les coûts comme la qualité de service méritent une définition claire. Même si on se limite à une définition comptable des coûts, leur mesure n'est pas toujours aisée (répartition des charges fixes de structure, pour ne prendre que cet exemple).

L'estimation se complique nettement si on cherche à intégrer dans un coût de transport la charge des investissements publics réalisés pour les infrastructures routières et ferroviaires. Le sempiternel problème du juste coût de transport routier relancé par les défenseurs du transport ferroviaire est un exemple classique.

Le problème devient quasi inextricable si l'analyste désire introduire la notion de coût externe, de coût écologique, de santé publique... engendrés par l'exploitation d'un transport. L'évaluation quantitative de tels paramètres paraît si hasardeuse qu'il semble préférable de s'en tenir à des jugements qualitatifs, ce qui ne signifie pas l'abandon de la modélisation. Dans les années soixante-dix, un économiste avait introduit la notion de *vitesse généralisée*, rapport du kilométrage effectué par un moyen de transport durant sa période d'exploitation au temps global dépensé pour son fonctionnement (temps de construction, d'exploitation, d'entretien, mais aussi celui des services sanitaires sollicités par les accidents causés par ce type de transport) pendant la même période. La conclusion était que le vélo s'avérait le moyen le plus rapide, mais que faire de ce résultat en dehors de l'amusement intellectuel ?

En termes de coûts, nous analyserons donc exclusivement les coûts « comptables » couvrant l'exploitation et l'investissement, tout en sachant que les charges d'infrastructures sont partiellement intégrées dans les taxes et péages supportés par les transporteurs.

La qualité de service qui fait l'objet de nombreux discours logistiques mérite également une définition claire. Elle couvre de multiples aspects et n'a pas toujours la même acception dans la bouche du directeur marketing, du directeur industriel, du directeur logistique, du directeur commercial de la même entreprise. Nous proposerons quelques définitions lorsque nous parlerons de tableau de bord au chapitre 6.

Dans ce chapitre, nous aborderons en première partie la formalisation des coûts d'exploitation et d'investissements d'une chaîne logistique, c'est-à-dire les coûts de transport et de rupture de charge (sans expliciter les coûts de traitement de l'information). Dans la seconde partie nous dégagons la structure de la tarification des prestataires de services. Dans la troisième partie nous formalisons la problématique classique de la livraison directe, en quatrième section nous décrivons les coûts mis en jeu lors d'un transport combiné.

## 7.1 Analyse des coûts

Pour une entreprise qui collabore avec un prestataire, le coût, hormis les incidences de son pilotage, correspond au tarif du prestataire que nous étudions en section 2. Nous nous intéressons ici aux coûts des facteurs de la production de transport.

### 7.1.1 Les coûts de transport

En dehors du transport routier pour lequel les organismes professionnels publient régulièrement des éléments de coûts<sup>7</sup>, les coûts des modes de transport fer et air sont généralement considérés comme stratégiques et difficiles à obtenir.

*Le coût du transport routier (voir [http://www.cnr.fr/grilles\\_couts/e-docs/00/00/00/26/document\\_grille\\_cout.phtml](http://www.cnr.fr/grilles_couts/e-docs/00/00/00/26/document_grille_cout.phtml))*

Ce site mis à jour régulièrement fournit le coût de transport de différents types de camions

### *Le coût du transport par fer*

En dehors de la difficulté d'obtenir des informations précises sur le transport des marchandises par fer (la comptabilité de la SNCF ne sépare pas l'activité fret de l'activité passager), un transport ferroviaire dépend de nombreux paramètres. La modélisation se heurte à la diversité des conditions d'exploitation du réseau. Accessibilité des sites expéditeurs et receveurs, recours ou non au triage (wagon isolé ou train complet), type et nombre de motrices utilisées pour la traction, électrification de la ligne sont autant d'éléments qui modifient sensiblement le coût d'exploitation.

Nous tenterons une estimation du coût de traction et d'un train complet à partir d'hypothèses sur les valeurs des paramètres présentées dans le tableau 7.2.

Tableau 7.2. Approche schématique des coûts de transport ferroviaire

paramètres	
Kilométrage moyen d'une locomotive	120 000
Kilométrage moyen à vide	20%
Coût d'une motrice (k€)	2 500
Durée de l'amortissement (an)	25

<sup>7</sup>. La FNTR (Fédération Nationale du Transport Routier), l'INSEE publient également des indices de coûts.

Taux d'amortissement	10%
Rémunération du personnel( k€ / an)	40
Entretien	60% de l'amortissement
Energie	3% du coût de production

<b>Estimation du coût d'exploitation (hors infrastructure) de la traction électrique (k€/an)</b>	
Amortissement	280
Entretien	165
Personnel de traction (1pers)	45
Energie	15
<b>Total</b>	<b>505</b>
<b>coût au kilomètre de traction en charge</b>	<b>5,3 € / km</b>

<b>Estimation du coût d'une liaison électrique en Euros</b>		
paramètres :		
Coût d'un wagon standard (k€)	50	
Entretien des voies (€ / t-km)	0,0033	
Desserte et triage (€ / wagon)	150	
Soit pour une liaison de 400 km		et 1 semaine d'immobilisation des wagons
Train de 10 wagons de 36 t sans triage		
Traction	2 120	
immobilisation des wagons (taux 10% sur 25 ans)	1 000	
Entretien des voies	475	
<b>Total (€)</b>	<b>3 595</b>	
<b>coût au km</b>	<b>9,0</b>	<b>F / km</b>
<b>coût à la t-km</b>	<b>0,025</b>	<b>F / t-km</b>

Notons que l'impact du triage est important puisque, pour le même tonnage transporté, s'il s'avère nécessaire de trier les wagons pour atteindre les destinations, il faut rajouter  $10 \times 150 = 1\,500$  €, le coût au km passe alors à 12,7 € / km et à 0,032 € pour la tonne-kilomètre.

Comme illustration de la difficulté d'évaluation des coûts, remarquons la grande diversité du montant des péages pratiqués par les États lorsque, dans le cadre des accords européens, un train emprunte leur réseau ferré. D'après le président du Réseau ferré de France propriétaire des voies, « ce péage est de 2 F au train-kilomètre en France alors qu'il est de 6,5 F aux Pays-Bas, de 18 F en Italie, 36 F en Allemagne et de 45 F en Autriche » (*Le Monde* du 28 février 1998).

### *Le transport fluvial*

On pourra retenir les ordres de grandeur fournis dans le tableau 4.3. en fonction du type de bateau.

Tableau 4.3. Estimation des coûts du transport fluvial

Postes de coûts	péniche « classique » (39,5m)	convoi de 2000 tonnes
Charges fixes €	42 000	215 000
Nombre de jours ouvrés	275	275
Nombre de voyages / an	35	25
Coût par jour ouvré (€)	153	782
Coût variable / an	35 000	83 000
Kilométrage parcouru / an	15 000	12 000
Coût variable / km (€/km)	2,3	6,9
Équation de coût formalisée		
$x$ : kilométrage ; $y$ : temps en j	$2,3 x + 153 y$	$6,9 x + 782 y$

Le nombre de jours ouvrés est nettement supérieur au nombre de jours de déplacement car les temps de chargements et de déchargements peuvent être longs ainsi que les temps d'attente entre deux appels de chargements.

Pour un voyage d'une journée de 90 km ( $x = 90$  et  $y = 1$ ), nous obtenons les coûts à la tonne-kilomètre suivants :

Péniche « classique » de charge utile 350 t : 0,01 € / t-km  
 Convoi 2 000 t : 0,008 € / t-km

## 7.2 La structure de la tarification du transport routier

Pour rétribuer son activité, le transporteur routier doit offrir à son client un tarif sur la base duquel les prestations de transport sont facturées. Bien que l'unité d'œuvre pertinente soit la surface au sol occupée dans le véhicule et donc le nombre de palettes ou rolls transportés, la majorité des tarifs s'expriment en fonction du poids transporté : tarif aux 100 kg, à la tonne, ou forfait par tranche de poids pour les petits envois (messagerie). Il s'ensuit que pour recevoir une rémunération convenable lors de transport de produits peu denses, donc occupant un fort volume pour un faible poids, le prestataire définit des garde-fous par l'intermédiaire de seuils minimum tels que le poids minimum taxable d'une palette (par exemple 400 kg par palette) ou un poids minimum au mètre cube (par exemple 350 kg par m<sup>3</sup>). Ce qui signifie que si le chargeur envoie 3 palettes chargées chacune de 180 kg de marchandise, soit un envoi de 540 kg, mais occupant néanmoins trois emplacements au sol, la facturation exploitant un tarif au poids sera calculée sur la base d'un envoi de  $3 \times 400 = 1.200$  kg.

D'autre part pour tenir compte des coûts fixes et des temps non productifs en termes de transports, engendrés par les arrêts et les manutentions, les coûts unitaires à la tonne sont plus élevés pour les faibles envois. Un flux de 40 tonnes effectué en 20 envois de 2 t sera facturé environ 3 fois plus cher que s'il est effectué en 2 envois de 20t.

L'autre paramètre structurant le tarif est la distance de l'envoi associée à la facilité d'accès des points de chargement et de livraison.

Pour une origine fixée et un type de marchandise, le tarif se présente donc comme une table à double entrées (cf. exemple ci-dessous). En colonne, les tranches de poids de l'envoi et en ligne les zones de destination. A l'intersection d'une ligne et d'une colonne, on trouve le coût à l'unité de poids (100 kg ou tonne) Si ces tables doivent être précisément intégrées dans une base de données pour exploiter une préfacturation<sup>8</sup> par exemple, il est possible de dégager une structure formelle plus simple de ces tarifs fournissant une précision suffisante pour les études stratégiques.

<sup>8</sup> La préfacturation est le calcul, effectué par le chargeur, de la facture que lui remettra son prestataire, afin de vérifier de la cohérence des données tarifaires et de flux exploitées par les deux acteurs.

## Les caractéristiques des tarifs

La structure de cette tarification (cf. tableau 4.6.) qui fournit des tarifs unitaires (à la tonne) s'appuie sur deux paramètres principaux, la *distance de l'envoi* et la *tranche de tonnage* de l'envoi.

Tableau 4.6. Exemple de tarif

ENSEMBLE DE 40 T de Poids Total Roulant Autorisé  
ENSEMBLE DE 40 T de Poids Total Roulant Autorisé

Km	€/t							
	3t à 4,9 t	5t à 6,9 t	7t à 9,9 t	10t à 14,9t	15t à 19,9 t	20t à 22,9	23t ..	25t
125 à 130	39,5	28,5	23,9	20,1	17,3	16,0	15,3	14,9
131 à 135	40,2	29,0	24,4	20,4	17,6	16,3	15,5	15,2
...								
151 à 155	47,3	34,1	28,7	24,1	20,7	19,2	18,3	17,8
...								
196 à 200	54,2	39,2	32,9	27,6	23,8	22,0	21,0	20,4
201 à 205	55,0	39,8	33,4	28,0	24,1	22,4	21,3	20,7
206 à 210	55,9	40,4	33,9	28,4	24,5	22,7	21,6	21,1
211 à 215	56,7	41,0	34,4	28,9	24,8	23,1	21,9	21,4
...								
301 à 310	72,2	52,2	43,8	36,8	31,6	29,4	27,9	27,2
...								
441 à 450	92,4	66,8	56,0	47,0	40,5	37,6	35,7	34,8
...								
485 à 490	98,3	71,0	59,6	50,0	43,1	40,0	38,0	37,1
...								
541 à 560	107,5	77,7	65,2	54,7	47,1	43,7	41,6	40,6
...								
641 à 660	121,4	87,7	73,6	61,7	53,2	49,4	47,0	45,8
...								
721 à 740	132,1	95,5	80,1	67,3	57,9	53,7	51,1	49,8

Pour une distance donnée, le tarif unitaire, c'est-à-dire le tarif d'une tonne (ou d'un kilo) transporté n'est pas le même suivant que cette tonne fait partie d'un envoi de 3 tonnes ou d'un envoi de 15 tonnes. Cette différence est justifiée, comme nous l'avons vu au § 1 par l'existence d'une partie fixe dans le coût de transport. Intégrée dans le tarif unitaire cette charge fixe pèse naturellement plus dans un envoi de 3 t que dans un envoi de 15 tonnes.

a) Nous remarquons en étudiant le tarif de référence, que le rapport, noté  $\lambda_t$ , du tarif unitaire associé à une tranche  $t$  au tarif de la tranche 25 t (pris arbitrairement comme base) est *indépendant de la distance*.

211 à 215 km	3t à 4,9 t	5t à 6,9 t	7t à 9,9 t	10t à 14,9t	15t à 19,9 t	20t à 22,9	23t ..	25t
€/t	56,70	41	34,4	28,9	24,8	23,1	21,9	21,4
$\lambda_t$	2,65	1,92	1,61	1,35	1,16	1,08	1,02	1,00

641 à 660 km	3t à 4,9 t	5t à 6,9 t	7t à 9,9 t	10t à 14,9t	15t à 19,9 t	20t à 22,9	23t ..	25t
€/t	121,4	87,7	73,6	61,7	53,2	49,4	47,0	45,8
$\lambda_t$	2,65	1,91	1,61	1,35	1,16	1,08	1,03	1,00

b) Pour une tranche de tonnage fixée on peut, avec une très bonne approximation, considérer que le tarif unitaire *croît linéairement en fonction de la distance* :  $c = a d + b$  ; où  $c$  est le tarif unitaire

(pour une tonne),  $d$  la distance de l'envoi,  $a$  et  $b$  deux paramètres. Le premier,  $a$ , représente le tarif marginal à la tonne-km, le second,  $b$ , le tarif fixe liée au chargement d'une tonne.

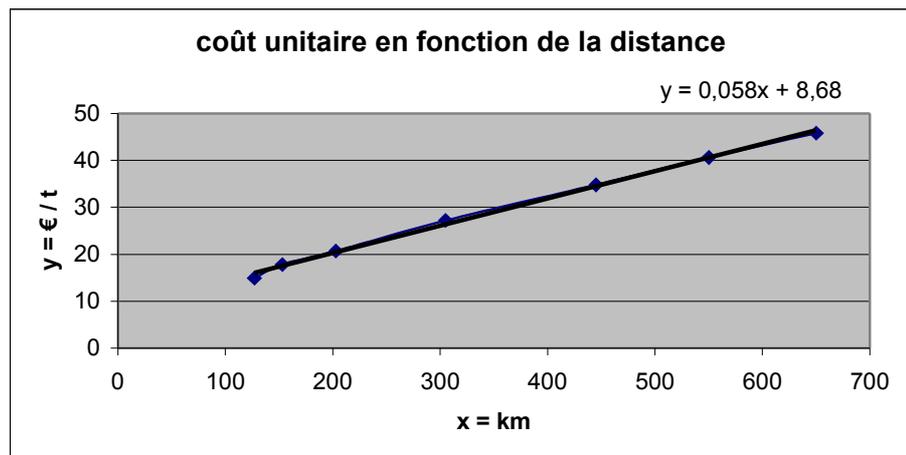
Si à partir des tarifs de la colonne 25 t on réalise une régression linéaire en fonction de la distance, comme dans le graphique 4.1., on obtient les paramètres suivants :

le tarif marginal à la tonne-km est de  $a = 5,8$  centimes.

Graphique 4.1. Régression linéaire appliquée à une colonne de tarif en fonction de la distance

base envoi de 25 t

km	127	153	203	305	445	550	650
€/t	14,9	17,8	20,7	27,2	34,8	40,6	45,8



Remarquons que la valeur des coefficients dépend de la classe de produit transporté (le coût à la tonne dépend évidemment de la plage de densité du produit) et, dans certains cas, de la destination si le fret de retour est réputé très difficile à trouver. Cette structure par tranche de poids est une pratique assez générale, on la retrouve aux Etats-Unis par exemple.

En résumé, pour une origine et une famille de produit, le tarif unitaire d'une tonne livrée peut se résumer par la fonction :

$$c = (a d + b) \lambda_t \text{ où } \lambda_t \text{ représente le rapport tarif tranche } t \text{ sur tarif } 25 t.$$

La précision de cette modélisation est largement suffisante pour les études tactiques et stratégiques que nous avons à mener. Il ne s'agit pas dans ces études de faire la comptabilité du service transport de l'entreprise mais de comparer, suivant le critère du coût de transport, différentes organisations stratégiques.

Ce modèle est valide pour les envois sans rupture de charge, effectués par un seul véhicule.

### 7.2.1 La règle du « payant pour »

L'utilisation des tarifs à tranche présente l'inconvénient de conduire à un montant facturé discontinu. Si nous prenons la dernière ligne du tarif précédent (721 km) on constate qu'un envoi de 15 t sera facturé en appliquant le tarif :  $57,9 \times 15 = 868,5 \text{ €}$ , alors qu'un envoi de 14,5 t sera facturé  $67,3 \times 14,5 = 975,9 \text{ €}$ , c'est à dire plus cher !

Faut-il donc envoyer 500 kg de cailloux avec le second envoi pour payer moins cher ? Pour éviter cette aberration économique les transporteurs appliquent la règle dite du « payant pour », ce qui signifie que, dans notre exemple, le chargeur paiera pour 15 t dès que son envoi dépassera

$15 \times 57,9 / 67,3 = 12,9$  t puisque  $12,9 \times 67,3 = 15 \times 57,9 = 868$  €. Cette règle s'applique évidemment quelles que soient les destinations et quelles que soient les tranches tarifaires.

Le seuil de « payant pour » de la tranche  $i$  est donné par la relation :

$$\text{seuil} = (\text{limite inférieure de la tranche } i + 1) \times (\text{tarif } i + 1) / (\text{tarif } i)$$

## 8 Chapitre 8 : La rupture de charge

La part de la charge fixe dans le coût de transport justifie la recherche d'une « massification » sur la plus grande partie possible du trajet de l'envoi puisque cette charge est constante, que le vecteur de transport sature ou non sa capacité. D'où la notion déjà rencontrée de transport d'approche groupant plusieurs livraisons terminales, ce qui implique une rupture de charge pour l'éclatement ou le regroupement des volumes unitaires à livrer ou à charger. Cette rupture de charge s'effectue en entrepôt ou sur une plate-forme.

Ici encore, dans l'analyse du coût d'exploitation, nous distinguerons les postes directement liés à l'intensité de l'activité de manutention que nous appellerons charges variables des postes liés aux investissements ou locations immobiliers et mobiliers, amortissements de matériel et système d'information, pilotage des flux et administration que nous considérerons comme fixe pour une plage d'activité donnée.

Les principaux postes sont les coûts de main-d'œuvre et d'encadrement (de l'ordre de 65%), les coûts fonciers administratifs et de taxes (de l'ordre de 20%) et les coûts de matériel (15 %).

Bien évidemment, la répartition des postes de coûts varie en fonction du couple produit-marché. Pour un même flux annuel de palettes expédiées, le coût immobilier de surface ne sera pas le même pour un entrepôt de produit frais (qui par nature correspond à une couverture de stock de 3 jours) que pour un entrepôt de marchandises générales abritant un stock dont la couverture est de 40 jours de consommation.

Nous fournissons dans les tableaux d'analyse suivants les différentes composantes du coût d'entrepôt ainsi qu'une méthode de calcul de la surface à prévoir pour l'activité d'entreposage:

Charges variables composées des postes,

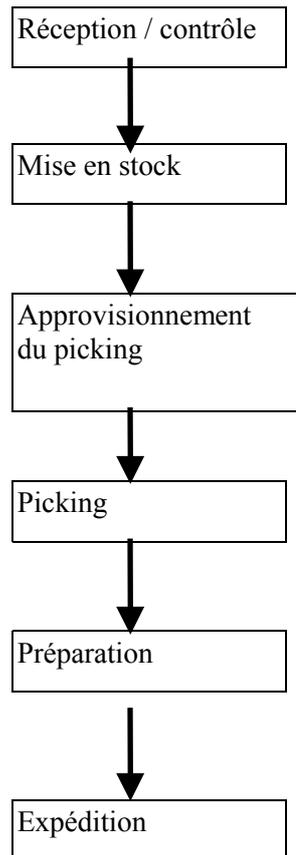
- personnel direct,
- encadrement et personnel administratif,
- pertes diverses de produits.

Charges fixes composées des postes,

- personnel de direction,
- loyers,
- entretien et énergie,
- système d'information,
- amortissement du matériel,

Le calcul des coûts s'effectue en appliquant des ratios aux différentes unités d'œuvre mises en jeu.

L'évaluation de la main-d'œuvre directe est réalisée en suivant les flux physiques des palettes .  
Schéma 4.1. Flux physique dans l'entrepôt



### **8.1 Calcul de la surface à prévoir**

Hormis l'intensité des flux, les paramètres à connaître sont le niveau de stock (exprimé en jour de couverture) et l'organisation des structures de stockage, les « racks », définis en termes de niveaux. Dans le tableau d'analyse 4.4 nous avons fait l'hypothèse que l'entrepôt ne réalisait pas d'activité d'éclatement, et que la saisonnalité se caractérise par un rapport activité de pointe / activité moyenne de 1,4. Coefficient que nous appliquons à l'ensemble des ressources moyennes calculées.

Les flux d'entrée et de sortie, lorsqu'ils sont exprimés en palettes, ne sont pas identiques car, les palettes reçues des fournisseurs sont généralement plus compactes, plus homogènes que celles expédiées vers les clients .

Tableau 4.4. Analyse de la surface d'un entrepôt

Analyse des flux					
	camions/an	palette/ camion /an	palettes /an	palette / jour	
<b>en Entrée</b>	4000	30	120 000	545	
<b>en Expédition</b> Jours d'activité / an			150 000 220	682	
Analyse des surfaces					
		coefficient standard	unité	unités	d'œuvre
<b>Stock (4 niveaux, 15 jours )</b>				15	jours
taux de remplissage (1)	d'un emplacement	0,8		10227	pal
impact places vides	coefficient	1,1	place/palette	11250	places
	Modules	24	pal / module	469	modules
	<b>Surface</b>	15	m <sup>2</sup> / module	<b>7031</b>	m <sup>2</sup>
<b>Réception</b>				900	pal / j
	Durée ; flux / h	8	heures	113	pal/h
	Volume instantané.	4	heures	450	pal
	<b>Surface</b>	2	m <sup>2</sup> /pal	<b>900</b>	m <sup>2</sup>
<b>Eclatement</b>				0	pal / j
	<b>Surface</b>	2	m <sup>2</sup> /pal	<b>0</b>	m <sup>2</sup>
<b>Expédition</b>				682	pal/j
	durée ; flux / h	8	heures	85	pal/h
	vol instantané	4	heures	341	pal
	<b>Surface</b>	2	m <sup>2</sup> /pal	<b>682</b>	m <sup>2</sup>
<b>Total surface active moyenne</b>				<b>8613</b>	m <sup>2</sup>
<b>Total surface</b>	<b>déplacement.</b>	15%	surf stock	<b>1055</b>	m <sup>2</sup>
<b>Total surface</b>		1,4	pointe/moyenne	<b>13535</b>	m <sup>2</sup>

(1) Le calcul du stock est réalisé sur la base des flux d'entrée en palettes complètes ; or, en exploitation les palettes de sont pas toutes complètes puisque certaines servent à la préparation. On considère, ici, qu'une palette entrée occupe en moyenne 1/0,8=1,25 place.

Cette surface rentre ans les éléments de calcul de coût d'exploitation de l'entrepôt.

## 8.2 Calcul du coût d'exploitation d'un entrepôt

Tableau 8.2. Analyse du coût d'exploitation d'un entrepôt

<b>ANALYSE DES COÛTS ANNUELS D'UN ENTREPOT PRODUITS SECS</b>						
(les paramètres et coûts doivent être considérés comme des ordres de grandeur)						
<b>NIVEAU ANNUEL D'ACTIVITE</b>						
<b>TONNAGE</b>		68200 t		<b>POIDS/PAL sortie</b>		400 kg
<b>PALETTES</b>	entrée	136250 pal.		<b>HEURES/an-pers</b>		1600 h
<b>PALETTES</b>	sortie	170500				
<b>CA (k€):</b>		204600 k€		<b>POIDS/COLIS</b>		7,5 kg
<b>SURFACE calculée:</b>		17000 m <sup>2</sup>		<b>PRIX /TONNE</b>		3 k€
<b>POSTES DE COÛTS</b>						
<b>CHARGES VARIABLES</b>	<b>unités d'œuvre</b>	<b>RATIOS</b>	<b>EFFECTIF</b>	<b>REMUNERATIONS</b>	<b>COÛT TOTAL</b>	<b>€ / pal.</b>
				<b>k€ /an</b>	<b>k€</b>	
DECHARGEMENT	(pal/h)	40	2,1	25	53	0,31
MISE STOCK	(pal/h)	25	3,4	25	85	0,50
APPRO PICKING	(pal/h)	25	3,4	25	85	0,50
PREPARATION	(colis/h)	150	0,0	25	0	0,00
messagerie (40%)	(pal/h)	10	4,3	25	107	0,63
lots directs ( 60%)	(pal/h)	30	2,1	25	53	0,31
EXPEDITION	(pal/h)	40	2,7	25	67	0,39
<b>TOTAL PERSONNEL DIRECT</b>			<b>18</b>		<b>450</b>	<b>2,64</b>
MAITRISE	(%) du pers. direct	10	2	32	58	0,34
ADMINISTRATIF	(%) du pers. direct	10	2	30	54	0,32
<b>TOTAL ENCADREMENT</b>			<b>4</b>		<b>112</b>	<b>0,65</b>
<b>TOTAL EFFECTIF</b>			<b>22</b>			<b>3,29</b>
PERTE MATIERES		0,1 (% CA)			205	1,20
<b>TOTAL COÛT VARIABLE</b>					<b>766</b>	<b>4,49</b>
<b>CHARGES</b>	<b>FIXES</b>		<b>EFFECTIF</b>	<b>COÛT UNITAIRE k€</b>	<b>COÛT TOTAL</b>	<b>€ / pal.</b>
RESPONSABLE DEPOT			1	50	50	0,29
SECRETAIRE			1	27	27	0,16
LOCAUX	(k€ /m <sup>2</sup> )	17000 m <sup>2</sup>		0,046	777	4,56
ENTRETIEN	(€/m <sup>2</sup> )	17000 m <sup>2</sup>		10	170	1,00
ENERGIE	(€/t)	68200 t		1,5	104	0,61
INFORMATIQUE	Système	1		80	80	0,47
<b>TOTAL CHARGES FIXES d'EXPLOITATION</b>					<b>1208</b>	<b>7,09</b>
<b>MATERIEL</b>			<b>NOMBRE</b>	<b>COÛT UNITAIRE k€</b>	<b>COÛT TOTAL</b>	<b>€ / pal.</b>
				amortissement an en k€		
CHARIOT élévateur			7	11,7	82	0,48
TRANSPAL			2	3,0	6	0,04
PALETTES	15% du parc circulant*		1535	0,007	10	0,06
PALETTIER	calcul précédent**		16862	0,003	48	0,28
<b>TOTAL AMORTISSEMENT MATERIEL</b>					<b>147</b>	<b>0,86</b>
<b>TOTAL COÛTS FIXES</b>					<b>1355</b>	<b>7,95</b>
<b>FRAIS DIVERS ET TAXES</b>			<b>BASE CALCUL</b>		<b>COÛT TOTAL</b>	<b>€ / pal.</b>
FRAIS DIVERS DE GESTION	(%)(rémun.encadremen t+responsable)	15	162		24	0,14
A.I.T.	(%) du CA	0,3	204600		614	3,60
<b>TOTAL</b>	<b>DIVERS</b>				<b>638</b>	<b>3,74</b>
<b>TOTAL COÛT ANNUEL ENTREPOT</b>					<b>2759</b>	<b>16,18</b>

\* rotation estimée = 15 jours

\*\* compte tenu de la pointe saisonnière

Remarque : Ici, la préparation a été évaluée sur la base des palettes expédiées et non sur celle des colis préparés.

Nous n'avons pas pris en compte le coût du système d'information, coût pouvant varier sensiblement d'un entrepôt à l'autre compte tenu du niveau d'équipement pouvant aller de la gestion manuelle à l'utilisation de la radio pour le pilotage des chariots.

Les principaux postes de coûts sont le personnel direct, d'encadrement technique et administratif d'une part et le coût des locaux d'autre part. Ce dernier coût dépend évidemment de la localisation et du type d'équipements ; l'ordre de grandeur est à 50 € /m<sup>2</sup>/an. Ce « loyer » dont l'assiette est la surface exploitée dépend du type de produit et de l'importance du stock. Outre son coût d'immobilisation proportionnel à la valeur des produits stockés, le stock engendre donc un coût non négligeable lié à la surface et aux équipements nécessaires à son maintien.

L'importance de ce coût de surface doit attirer l'attention du gestionnaire ; en particulier pour les activités très saisonnières il peut s'avérer coûteux d'ajuster la taille de l'entrepôt à la pointe d'activité, le recours au stockage externe momentané apparaît alors comme une bonne solution.

Si l'organisation du flux le permet (voir chapitre 2), transformer l'entrepôt en une plate-forme d'éclatement conduit à faire disparaître la mise en stock et l'approvisionnement du picking ainsi que les équipements associés (la préparation quant à elle subsiste, en amont généralement). La surface nécessaire est réduite puisque le stock disparaît, seules les aires d'éclatement permettant de supporter au sol une demi-journée de flux sont nécessaires.

## **9 Chapitre 9 : Plan d'exploitation d'un réseau de distribution**

Une question classique que se pose le directeur logistique est le choix du chemin entre l'origine de la livraison et le destinataire final. Doit-on livrer directement le chargement ou regrouper, « massifier » les envois destinés à une même région jusqu'à un point de rupture, entrepôt ou plate-forme, puis poursuivre la livraison, après éclatement, jusqu'au point de livraison terminal ?

La réponse dépend de nombreux paramètres comme nous allons l'expliquer à l'aide du modèle simplifié suivant.

Soit une entreprise qui dispose de deux sites de production de produits de grande consommation, l'un dans la région parisienne, Melun (77) fabriquant la gamme A, pour fixer les idées, et l'autre à Lyon (69) fabriquant la gamme complémentaire B.

Chaque usine possède un entrepôt attendant à partir duquel, après préparation des commandes, les clients peuvent être livrés. Les clients n'acceptent pas de livraisons fractionnées : tous les produits, gamme A et gamme B, sont donc stockés à Melun et à Lyon pour réaliser la livraison des clients de leur zone de chalandise respective.

En termes de flux, la gamme A représente actuellement un pourcentage du tonnage de  $\alpha = 65\%$ , la gamme B le complément. Tous les transports sont réalisés par un prestataire de service dont la tarification repose sur la structure par tranches de tonnages (voir § 4.2).

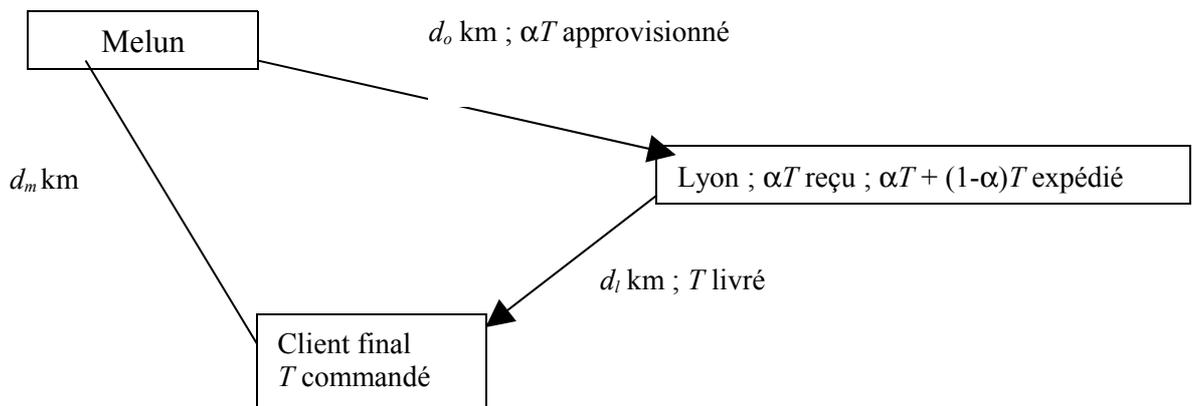
L'approvisionnement des entrepôts pour la gamme complémentaire s'effectue par camions complets de 30 palettes de 750 kg chacune. Le tarif du transport aval dépend, comme nous l'avons vu, de l'éloignement du client de l'entrepôt livreur et de la classe de tonnage de livraison. La structure de la demande par tranche de tonnage est donnée ci-dessous.

On désire définir les zones d'influence (de chalandise) de chaque entrepôt, en prenant comme critère le coût global de livraison. Remarquons que dans le cas particulier où  $\alpha = 100\%$ , Lyon joue le rôle de l'entrepôt classique de distribution (sans fonction de production).

Tranches de tonnage des livraisons	0-1t	1-1,5t	1,5-3t	3-5t	5-7t	7-10t	10-15t	15-20t	> 20t	Total
tonnage livré	2800	4500	9700	6600	4700	5900	8700	4500	10800	58300
%	4.80	7.75	16.60	11.40	8.07	10.08	14.99	7.77	18.56	100
Coefficients $\lambda_t$	2.46	2.46	2.46	2.16	1.69	1.42	1.20	1.07	1	1.69

Les coefficients TRR sont les coefficients de passage du tarif  $> 20t$  au tarif d'une tranche de tonnage quelconque. Ici les coefficients prennent en compte l'influence de la règle du "payant pour". On admettra que le tarif inférieur à 3t est le même que le tarif 3t.

Le schéma de distribution est le suivant



*Les flèches représentent la livraison via Lyon*

Supposons que le client final qui reçoit un tonnage annuel  $T$  soit livré dans la tranche  $[5t - 7t]$ . D'après l'organisation, toute livraison finale de  $T$  tonnes livrée par Lyon est constituée de  $\alpha T$  tonnes en provenance de Melun qui transitent par Lyon, et de  $(1-\alpha) T$  tonnes en provenance directe de Lyon. Inversement, si la livraison s'effectue de Melun, elle est constituée de  $\alpha T$  tonnes en provenance directe de Melun et de  $(1-\alpha) T$  tonnes de Lyon qui transitent par Melun.

Répertorions l'ensemble des postes de coûts de la chaîne logistique pour livrer un client au départ de Lyon :

- approvisionnement des produits de la gamme A,
- regroupement des produits A et B (rupture de charge),
- préparation de la commande,
- livraison terminale,
- coût d'immobilisation des stocks.

Les coûts de stockage et de préparation peuvent être considérés comme indépendants du lieu et donc ne dépendent pas du choix du chemin.

Les postes de coût à prendre en compte pour ce choix sont : l'approche, la rupture de charge, la livraison finale.

Prenons comme structure de coût de transport unitaire l'expression :  $(ad+b)\lambda_t$  (cf. § 2)

Le coût de livraison, à partir de Lyon, de  $T$  tonnes d'une zone composée de divers clients (gros et petits) est donc composé des coûts

- de préparation qui est invariant et par conséquent non pris en compte dans l'analyse,
- d'approche en camion complet ( $\lambda_t = 1$ ):  $\alpha T(a d_o + b)$  ;  $d_o$  est la distance Melun-Lyon,
- de rupture :  $\alpha T r$ , où  $r$  est le coût de rupture à la tonne,

- de livraison finale :  $T(a d_l + b) \lambda_t$ . Ici  $\lambda_t = 1.69$ , coefficient caractéristique du poids de livraison du client ;  $d_l$  distance de Lyon au point de livraison,
- de stockage qui est invariant.

Le coût de livraison via Lyon est donc :  $\alpha T(a d_0 + b) + \alpha T r + T(a d_l + b) \lambda_t$ ,

le coût via Melun est :  $(1-\alpha) T(a d_0 + b) + (1-\alpha) T r + T(a d_m + b) \lambda_t$

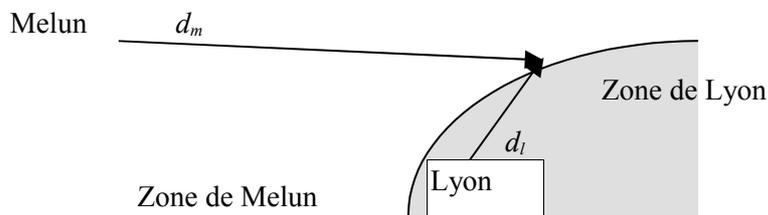
On livre par Lyon si le coût est inférieur à celui de la livraison via Melun soit :

$$\alpha T(a d_0 + b) + \alpha T r + T(a d_l + b) \lambda_t < (1-\alpha) T(a d_0 + b) + (1-\alpha) T r + T(a d_m + b) \lambda_t$$

$$\text{soit : } d_l - d_m < [(1 - 2 \alpha)(a d_0 + b + r)] / a \lambda_t = K \quad (1)$$

Si on prend comme valeurs numériques  $\alpha = 0.65$  ;  $a = 0.058 \text{ € / t-km}$  ;  $b = 8,68 \text{ € / t}$  ;  $r = 10 \text{ € / t}$  ;  $\lambda_t = 1.69$  ;  $d_0 = 450 \text{ km}$ . La livraison s'effectue de Lyon si la distance,  $d_l$ , de Lyon au point de livraison du client est inférieure à  $d_m - 137 \text{ km}$  ( $K = -137$ ).

Pour des distances à vol d'oiseau, la courbe isocoût, ensemble des points tels que  $d_l - d_m = -137 \text{ km}$ , forme une branche d'hyperbole de foyers Melun et Lyon.



La zone de Lyon est plus petite que celle de Melun tant que  $\alpha > 0,5$  puisque  $d_l$  est inférieure à  $d_m$  (le membre de droite,  $K$ , de l'inéquation (1) est négatif) ce qui se justifie économiquement puisque le coût de rupture de charge est plus important en passant par Lyon que par Melun où 65 % de la production est réalisée et, par suite, ne supporte pas cette charge.

Le but du modèle n'est pas de définir géographiquement une zone d'influence qui serait trop schématique puisqu'elle est définie par des distances à vol d'oiseau, mais de comprendre le rôle des paramètres dont dépend cette zone et d'étudier sa modification en fonction de leurs variations. D'après (1) cette zone dépend donc

- de  $\alpha$  qui caractérise la structure de production et de la commande (ventilation entre gamme A et gamme B),
- de  $a d_0 + b$  qui est le coût de transport inter-site d'une tonne en camion complet,
- de  $r$ , coût de rupture de charge, exprimé ici en  $\text{€ / t}$
- de  $a$ , coût kilométrique, exprimé en  $\text{€ / t-km}$
- de  $\lambda_t$  caractéristique de la tranche de tonnage ou de volume de la livraison du client. Ce coefficient mesure l'augmentation du coût unitaire par rapport à une livraison en camion complet.

Voyons comment se modifie cette zone de chalandise lorsque les paramètres évoluent.

Si  $\alpha > 0,5$  la zone de Lyon est d'autant plus réduite que  $K$  augmente en valeur absolue. En d'autres termes, si le numérateur de  $K$  augmente en valeur absolue, la zone de Lyon se rétrécit, si le dénominateur augmente la zone s'étend.

Si  $\alpha = 0,5$ ,  $K = 0$  et la courbe isocoût est la médiatrice du segment Melun-Lyon (distances à vol d'oiseau).

Si  $\alpha < 0,5$  les influences de Lyon et de Melun sont inversées.

Dans le tableau 9., nous restons dans le premier cas,  $\alpha > 0,5$ , et analysons l'équation mathématique (colonne de droite) et donnons l'interprétation en termes logistiques (colonne de gauche).

Tableau 9. Etude de l'évolution de la zone de chalandise d'un dépôt

<i>Modification des zones en fonction de l'évolution des paramètres</i>	<i>Interprétation économique de l'évolution de la zone de Lyon</i>
Si $\alpha$ augmente, $\alpha = 0,8$ par exemple la zone de Lyon diminue puisque $K = - 258$ (augmentation en valeur absolue)	En effet toute augmentation de la part de production de Melun dans la commande avantage ce point d'expédition
$ad0+b$ augmente $\Rightarrow$ la zone de Lyon diminue	En effet, compte tenu du déséquilibre de production le coût d'approche pénalise le site de Lyon
$r$ augmente $\Rightarrow$ la zone de Lyon diminue	$r$ joue le même rôle que le coût d'approche, c'est le coût au départ du quai d'expédition de Lyon qui est pénalisé.
$a$ augmente $\Rightarrow  K $ diminue $\Rightarrow$ la zone augmente	Le coût kilométrique joue en faveur de la zone de Lyon, puisque la livraison terminale coûte plus cher, le passage par l'entrepôt de Lyon est justifié pour un plus grand nombre de livraisons.
$\lambda_t$ augmente $\Rightarrow  K $ diminue $\Rightarrow$ la zone augmente	$\lambda_t$ croît lorsque le volume (poids) des livraisons décroît, le coût de la livraison terminale se renchérit ce qui justifie l'usage de Lyon comme point d'approche.

La zone d'influence d'un dépôt dépend de tous les éléments de la chaîne de transport.

Dans le cas particulier où  $\alpha = 1$ , le client ne commande que des produits de la gamme A ; Lyon joue un rôle plate-forme uniquement (pas de fonction de production).

Selon ses coordonnées géographiques ( $d_l, d_m$ ) et sa tranche de tonnage de livraison que caractérise  $\lambda_t$ , chaque client sera livré directement de l'usine ou non.

La relation (1) permet de répondre à la question suivante : Existe-t-il des clients pour lesquels la livraison directe s'impose quelle que soit leur position géographique ?

La distance Melun Lyon étant de  $d_0 = 450$  km, il n'existe pas de points du plan tels que la différence  $d_l - d_m$  soit, en valeur absolue, plus grande que 450 km. Il est donc possible de déterminer  $\lambda_t$  tel que  $(ad_0 + b + r) / a\lambda_t > 450$  ( ici  $\alpha = 1$  ) ; pour les paramètres économiques choisis, on trouve  $\lambda_t < 1,62$ . Ce qui signifie que , dans le contexte économique que nous avons pris, la livraison directe doit avoir lieu dès que le poids de la livraison est supérieur à 5 t.