

Secteur et fonctionnement des entreprises.

Gestion des stocks

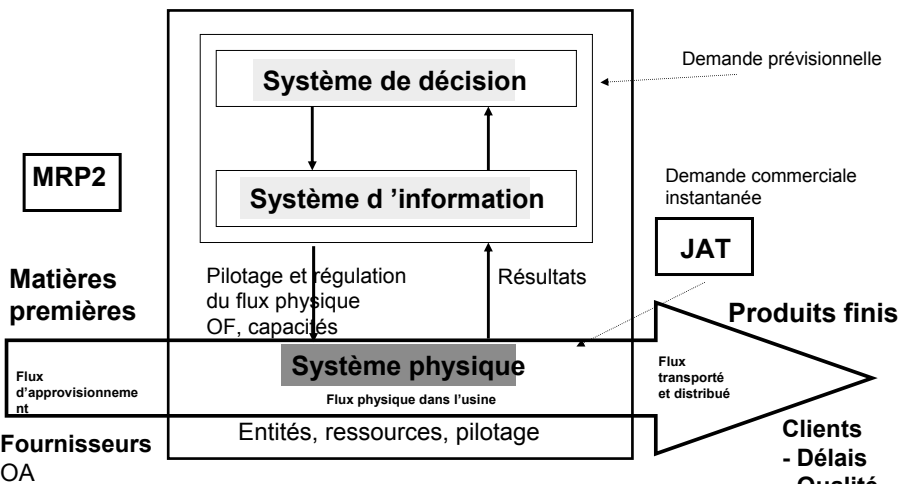


Michel Nakhla
Professeur

UFR EMI-GIPE-Département SESG
<http://www.agroparistech.fr/UFR-GIPE-EMI.html>

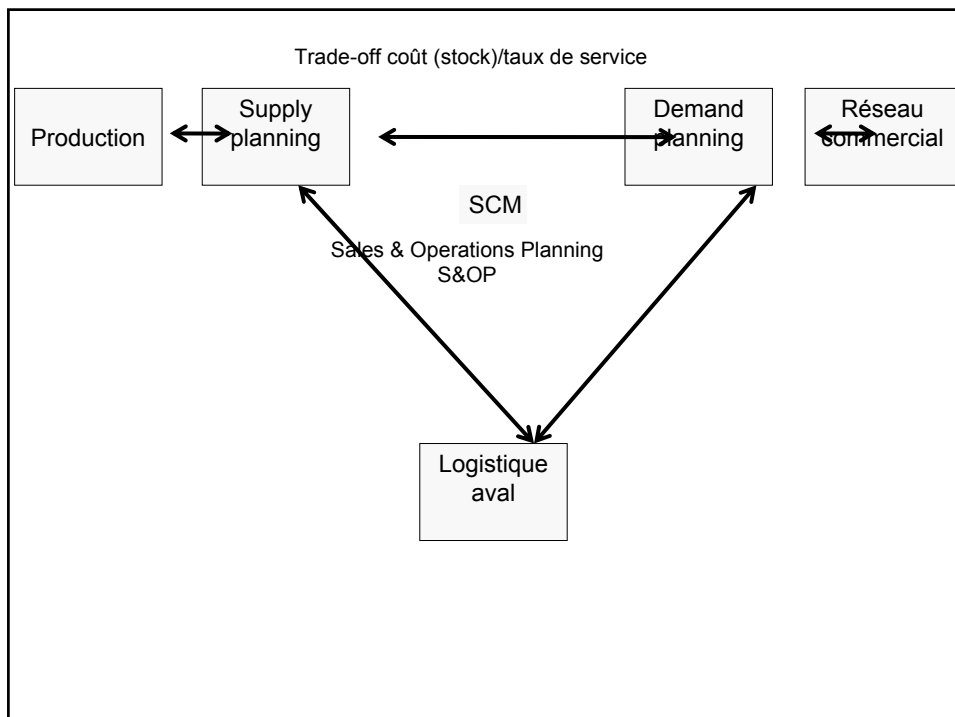
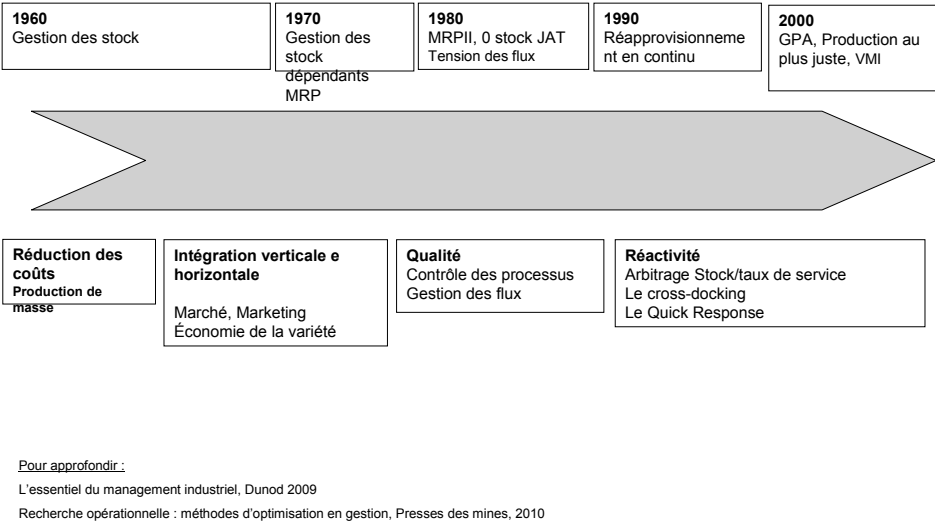
2013-2014

Qu'est ce qu'un système de production

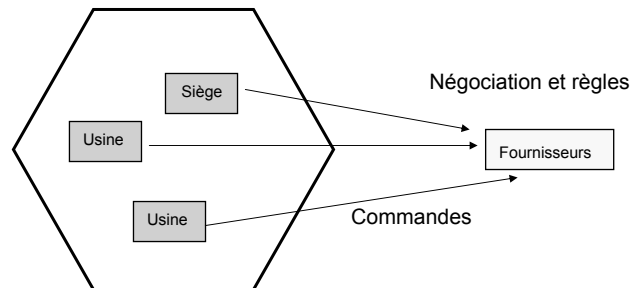


Gestion des stocks
M. Nakhla

L'évolution des systèmes de producti



Fonctions Achat / Approvisionnement



Gestion des stocks
M. Nakhla

Acheter, se couvrir :
Le fonctionnement des Marchés dérivés
des matières premières

1. PRINCIPES DE BASE

Un produit dérivé est un actif financier dont la valeur dépend du prix d'un autre actif que l'on appelle un sous-jacent :
MP, Indices boursiers, devises, taux...

Les produits dérivés de MP sont négociés à Chicago, à Londres, New York, à Tokyo, à Shanghai... sont l'aboutissement d'une longue évolution des pratiques commerciales et financières.

On peut distinguer :

- ⇒ Le marché au comptant (celui des produits physiques)
- ⇒ Le marché des produits dérivés

6

1.1. Des marchés commerciaux au comptant ou à livraison différée ou gré à gré

Le marché au comptant des matières premières

**Toute MP se négocie sur un marché au comptant (spot market).
Les achats et les ventes font alors l'objet d'une livraison immédiate.**

Les marchés commerciaux sont la forme la plus ancienne de confrontation de l'offre et de la demande de produits physiques. Les transactions portent sur des produits physiques avec une livraison au comptant (marché à la criée, marchés au cadran...) selon les conditions définies par les deux parties

Ces marchés ont ensuite été souvent organisés dans le cadre des bourses de commerce apparues en Europe au XIII^{ème} siècle : Faciliter les transactions, permettre des échanges sur de plus grandes quantités.

*Bourse du coton de Liverpool en 1842
Bourse de Chicago Bord of Trade en 1848*

7

Le marché des transactions avec livraison différée de matières premières

Développement sur ces marchés des contrats à livraison différée (forward contracts) qui diffèrent des précédents par la fixation d'une date de livraison à une échéance éloignée. (marché des céréales de Chicago)

La possibilité d'endosser ces contrats et donc de les échanger a modifié leur nature. L'endossement permet à un opérateur ne possédant pas de produits physiques de prendre un engagement de livraison différée

Au XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècle, les producteurs de pommes de terre de l'Etat du Maine ont mis en place une vente de leurs récoltes au moment de la plantation.

8

Mais quelques inconvénients :

- Difficultés de livraison ou de prise de livraison de la marchandise
- La qualité des produits livrés n'est pas toujours assurée
- La date de livraison peut changer
- Les engagements fermes et définitifs peuvent entraîner des pertes en opportunité pour l'acheteur ou le vendeur
- Défaut de certaines contreparties

⇒ Nécessité de codifier ces contrats commerciaux, de les uniformiser et de les rendre fongibles pour qu'ils puissent être transmis d'un marchand à l'autre par simple endossement

⇒ Endossement = flexibilité et liquidité

9

Sous l'influence des bourses de commerce :

Apparition de contrats standardisés fixant avec précision la qualité des produits physiques, leur lieu de livraison et la quantité négociée.

Ces contrats sont échangés dans les bourses de commerce entre les différents opérateurs : naissance des marchés (futures market)

10

	Fioul domestique	Essence	Pétrole brut
Volume	1 000 barils	1 000 barils	1 000 barils
Échelon minimal de cotation	0,0001 dollar par gallon, soit 4,2 dollars par contrat	0,0001 dollar par gallon, soit 4,2 dollars par contrat	1 cent par baril, soit 10 dollars par contrat
Fluctuation maximale	0,20 dollar par gallon pour les 2 mois rapprochés ; 0,06 dollar pour les autres échéances	0,20 dollar par gallon pour les 2 mois rapprochés ; 0,06 dollar pour les autres échéances	7,5 dollars par baril pour les 2 mois rapprochés ; 3 dollars pour les autres échéances
Dernier jour de transaction	Dernier jour ouvrable du mois précédant le mois de livraison	Dernier jour ouvrable du mois précédant le mois de livraison	3 jours ouvrables avant le 25 du mois précédant le mois de livraison
Point de livraison	New York	New York	Cushing dans l'Oklahoma
Échéances	18 échéances mensuelles consécutives	18 échéances mensuelles consécutives	30 échéances mensuelles consécutives plus 5 échéances éloignées à 36, 48, 60, 72 et 84 mois
Horaires de négociation	Transactions à la criée : 9 h 50-15 h 10 ; transactions sur le système électronique Access : 16 h 00-9 h 00	Transactions à la criée : 9 h 50-15 h 10 ; transactions sur le système électronique Access : 16 h 00-9 h 00	Transactions à la criée : 9 h 45-15 h 10 ; transactions sur le système électronique Access : 16 h 00-9 h 00

11

	Chicago Board of Trade	Kansas City Board of Trade	Minneapolis Grain Exchange
Qualité du blé	n° 2 Northern Spring Wheat n° 2 Soft Red Wheat n° 2 Hard Red Winter Wheat n° 2 Dark Northern Spring Wheat	n° 2 Hard Red Winter Wheat	n° 2 Northern Spring Wheat avec un minimum de 13 % de protéine
Volume	5 000 boisseaux	5 000 boisseaux	5 000 boisseaux
Échelon minimal de cotation	1/4 cent par boisseau, soit 12,50 dollars par contrat	1/4 cent par boisseau, soit 12,50 dollars par contrat	1/4 cent par boisseau, soit 12,50 dollars par contrat
Limite maximale de fluctuation	30 cents par boisseau	30 cents par boisseau	30 cents par boisseau
Échéance	Mars, mai, juillet, septembre, décembre	Mars, mai, juillet, septembre, décembre	Mars, mai, juillet, septembre, décembre
Dernier jour de transaction	7 jours ouvrables précédant le dernier jour ouvrable du mois de livraison	7 jours ouvrables précédant le dernier jour ouvrable du mois de livraison	7 jours ouvrables précédant le dernier jour ouvrable du mois de livraison
Horaires de transaction	9 h 30-13 h 15	9 h 30-13 h 15	9 h 30-13 h 15

12

	<i>Cacao</i> New York Board of Trade	<i>Cacao</i> Euronext Liffe	<i>Café</i> New York Board of Trade	<i>Café</i> Euronext Liffe
Qualité	Cacao produit dans n'importe quel pays remplissant les normes à l'importation fixées par le ministère de l'agriculture américain	Cacao produit dans n'importe quel pays	Café arabica produit dans différents pays d'Amérique centrale, d'Amérique du sud, d'Asie ou d'Afrique	Café robusta provenant de 21 pays différents
Volume	10 tonnes	10 tonnes	37 500 livres	5 tonnes
Échelon minimal de cotation	1 dollar par tonne	1 livre sterling par tonne	0,05 cent par livre	1 dollar par tonne
Limite maximale de fluctuation	Pas de limite	40 livres sterling par tonne	Pas de limite	Aucune limite
Échéance	Mars, mai, juillet, septembre, décembre	10 échéances du cycle mars, mai, juillet, septembre, décembre	Mars, mai, juillet, septembre, décembre	7 échéances du cycle janvier, mars, mai, juillet, septembre, décembre
Horaires de transaction	9 h 00-14 h 00	9 h 30-12 h 58 14 h 30-16 h 45	9 h 15-13 h 32	9 h 45-12 h 32 14 h 30-17 h 00

13

1.2. Des marchés financiers organisés

Les marchés financiers diffèrent des marchés commerciaux (ou physiques).

Ils n'ont pas pour objet l'achat ou la vente d'une production. Ils organisent des transactions portant sur des actifs financiers dont le « sous-jacent » est la MP.

Ces « futures » ou contrats à terme sont des engagements entre acheteurs et vendeurs comportant : Un prix « ferme et définitif » pour un paiement et une livraison à une échéance précisée et différée et dont le contenu (spécificités des sous-jacents concernés) sont standardisés.

14

2. LES PRINCIPAUX MARCHES A TERME DES COMMODITIES

- Les Produits stockables
 - Les produits agricoles (céréales, oléagineux tropicaux...)
 - Les métaux (précieux, non ferreux)
 - Les produits pétroliers et gaziers (brut, sans plomb, gaz naturel...)
- Les produits non stockables
 - L'électricité

15

Raisons de l'émergence des marchés à terme

- Prix instables
 - 20 dernières années:
 - Mutations économiques
 - Hausse de la consommation des commodities dans les pays émergents comme la Chine
 - Hausse de la volatilité de l'offre et des prix
- ⇒ les activités de couverture au travers de Forwards, Futures et options sont devenues indispensables au fonctionnement de nombreux secteurs de l'économie.

16

Les principaux marchés à terme de commodities

Les principaux marchés à terme dans le monde	Les principaux produits côtés
Chicago Board of Trade – CBOT (1848)	Commodités agricoles (maïs, soja, blé) Aussi métaux précieux (or et argent)
Chicago Mercantile Exchange – CME (1898)	Plus grand marché de Futures aux USA Produits d'origine animale
New York Mercantile Exchange – NYMEX (1872)	Plus grand marché de Futures sur « crude oil » (WTI), gaz, cuivre, aluminium et métaux précieux. Energy commodities: s'échangent Futures et options sur cride oil, gaz naturel, fuel domestic, propane, et sans plomb.
New York Board of Trade – NYBOT	Regroupe les deux plus vieilles commodities échangées à NY: Coffee, Sugar and Cocoa Exchange - CSCE, et le New York Cotton Exchange – NYCE
International Petroleum Exchange – IPE Fondé en 1980 par un consortium d'entreprises d'énergie.	Marché du Brent

Suite : les principaux marchés à terme de commodities

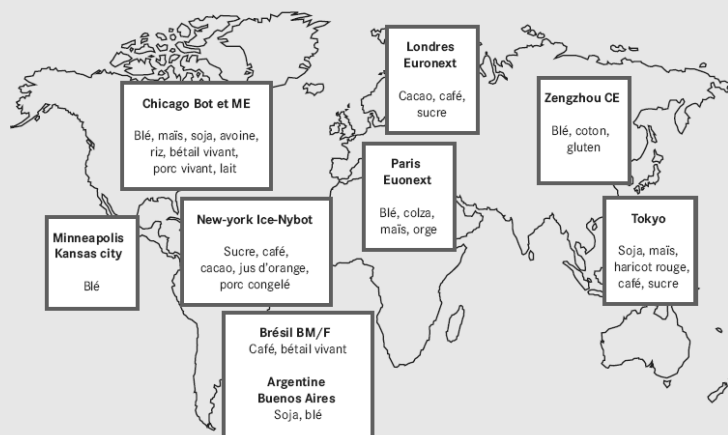
Les principaux marchés à terme dans le monde	Les principaux produits côtés
London International Financial Futures Exchange – LIFFE (1982)	En 1996, il commence à échanger des Futures sur commodities agricoles. Les futures et options sur cacao, sucre, café (robusta).
London Metal Exchange – LME (1877)	Métaux non ferreux: aluminium, cuivre, nickel, acier et argent
Le Marché à Terme International de France – MATIF (1986)	Futures sur maïs; options et futures sur colza et blé

Les risques liés aux commodities

- Risque de Prix
- Risque de Transport
 - détérioration > risque ordinaire
> risque extraordinaire
 - coût du transport
- Risque de Livraison (qualité des commodities; pas de couverture financière)
- Risque de Crédit

19

Les grands marchés à terme de produits agricoles



20

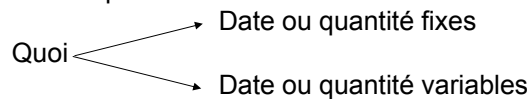
S'approvisionner : Usines /fournisseurs

Politiques de Réapprovisionnement

Consiste à répondre à 3 questions :

- Quoi (quel produit) faut-il réapprovisionner ?
- Quand faut-il réapprovisionner ?
- Combien faut-il réapprovisionner ?

Autres questions :

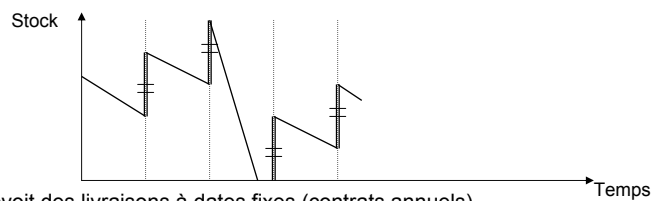


4 politiques de réapprovisionnement du stock

- > Réapprovisionnement à Date Fixe et Quantité Fixe
- > Réapprovisionnement à Date Fixe et Quantité Variable
- > Réapprovisionnement à Date Variable et Quantité Fixe
- > Réapprovisionnement à Date variable et Quantité Variable

Gestion des stocks
M. Nakhla

Réapprovisionnement à Date Fixe et Quantité Fixe



Méthodes appliquées à des produits :

- dont la consommation est régulière
- de faible valeur
- de classe C

Avantages :

- simplicité de la gestion des stocks

Inconvénients :

- si la quantité de réapprovisionnement est mal calculée ou si la consommation n'est pas régulière
 - > sur-stock
 - > rupture de stock

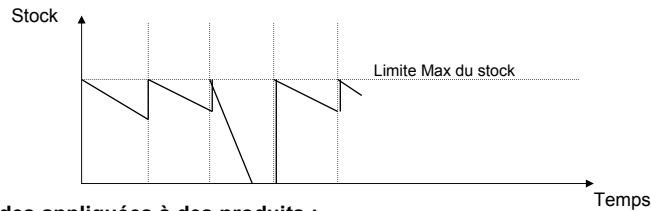
Gestion des stocks
M. Nakhla

Réapprovisionnement à Date Fixe et Quantité Variable

(Méthode de recomplètement)

On définit pour chaque produit un niveau de stock optimum

A période Fixe > analyser l'état du stock
> compléter



Méthodes appliquées à des produits :

- dont la consommation est régulière
- coûteux, périssables ou encombrants

Avantages :

- gestion des stocks simple
- immobilisation faible ou maîtrisée

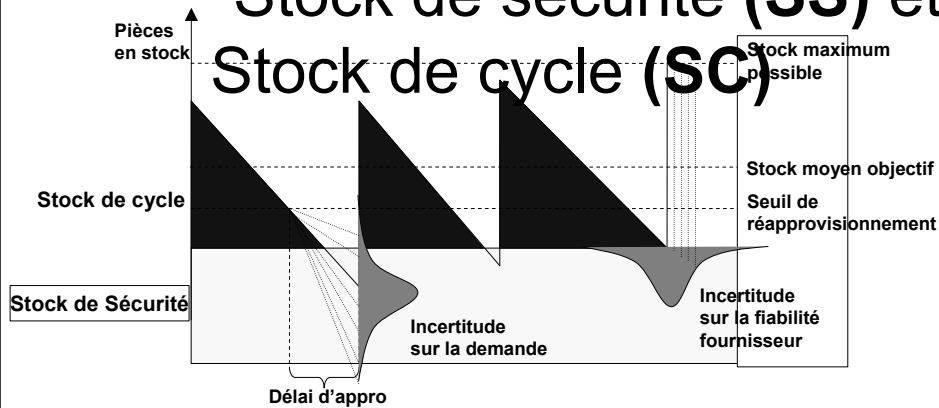
Inconvénients :

- risque de rupture de stock

Gestion des stocks
M. Nakhla

point de commande:

Stock de sécurité (SS) et Stock de cycle (SC)

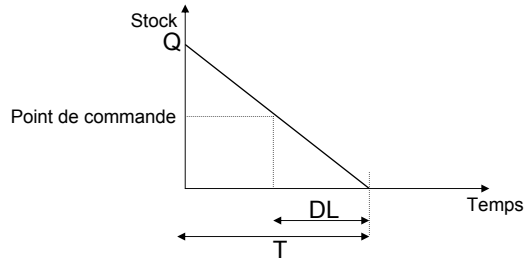


- Le stock de cycle couvre la demande entre deux approvisionnements et dépend donc de la fréquence à laquelle on réapprovisionne.
- Le stock de sécurité couvre l'incertitude sur la demande et sur la fiabilité fournisseur et dépend du niveau de service voulu.

Réapprovisionnement à Date Variable et Quantité Fixe

(Méthode du point de commande)

Définie le niveau de stock qui doit permettre de déclencher l'ordre d'achat (pour être livré au bon moment)



(Seuil de commande, seuil de réapprovisionnement)

Le point de commande = $Q/T \cdot DL$

Q = Quantité en stock (nombre de pièces)

T = Temps de consommation de Q

DL = Délai de livraison

Gestion des stocks
M. Nakhla

Stock de sécurité

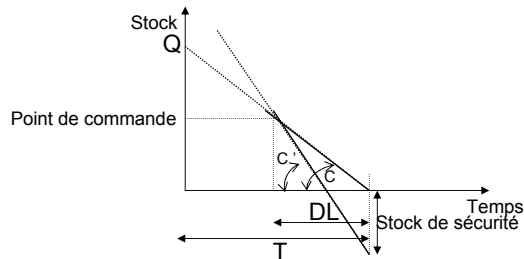
Pour faire face aux aléas (augmentation de la consommation ou augmentation des délais fournisseurs)

Augmentation de la consommation

= Consommation de C'

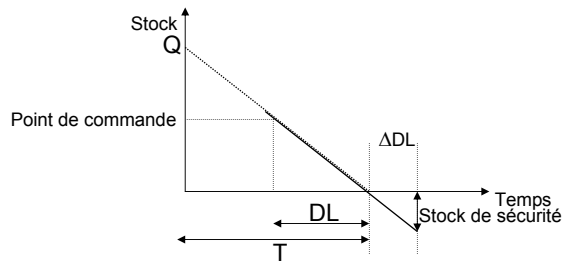
point de commande calculé avec une consommation C

Le stock de sécurité : $(C' - C)/T \cdot DL$



Gestion des stocks
M. Nakhla

Augmentation du délai de livraison



Le stock de sécurité = $Q/T \cdot \Delta DL$
 ΔDL est le dépassement prévisible du délai de livraison

Gestion des stocks
M. Nakhla

Avantages :

- permet d'éviter les ruptures de stocks
- adapté à une consommation partiellement irrégulière

Inconvénients :

- suivi permanent > coûts administratifs importants
- peut pousser à faire des stocks de sécurité

Valeur du DL

DL = délai fournisseur (temps annoncé pour la livraison après la réception de la commande)

+ délai administratif (temps entre connaissance du stock et arrivée de la commande chez le fournisseur)

+ temps de connaissance du niveau de stock

Gestion des stocks
M. Nakhla

Réapprovisionnement à Date Variable et Quantité variable

Méthode utilisée pour les articles de classe A (Métaux précieux...)

Achat en fonction des opportunités du marché

Avantages :

- permet, éventuellement, de profiter de taux intéressants

Inconvénients :

- suivre les coûts du marché pour effectuer les achats les plus intéressants
- ne peut être utilisée que pour peu d'articles
- risque de spéculation

Gestion des stocks
M. Nakhla

Gestion des stocks

Comment diminuer le BFR

L'amélioration du besoin en fonds de roulement dépend de la bonne gestion des éléments de l'actif circulant (du «bas de bilan») : niveau des stocks, créances clients et dettes fournisseurs.

1. Gérer les stocks

Très schématiquement, on peut distinguer deux grandes conceptions :

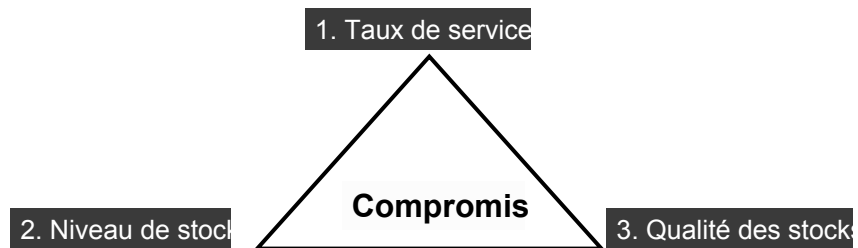
- celle qui cherche à optimiser le niveau des stocks;
- celle qui tend à les supprimer.

La première conception justifie la constitution de stocks par l'existence de délais d'approvisionnement, de transport et par la non linéarité du processus de fabrication qui entraîne ruptures de charge et goulots d'étranglement. La gestion des stocks est alors une recherche d'optimisation des délais et des coûts.

Gestion des stocks
M. Nakhla

La seconde conception repose sur le fait que les stocks, qui représentent un besoin de financement et donc une immobilisation de ressources, doivent être réduits à zéro.

La gestion des stocks s'inscrit dans un «triangle magique», qu'il convient d'optimiser.



Gestion des stocks
M. Nakhla

1. Taux de service

mesure la capacité de l'entreprise à assurer la vente et la livraison des produits qui lui ont été commandés, aux prix convenus, aux quantités convenues et dans les délais convenus.

La dégradation du taux de service d'une entreprise, au point de se traduire par des ruptures et des pertes de chiffre d'affaires, est infiniment plus dommageable qu'un niveau de stocks trop élevé. C'est une priorité absolue pour l'entreprise de suivre ce taux de service et de veiller à ce qu'il reste toujours conforme aux objectifs qu'elle s'est fixés vis-à-vis de sa clientèle.

Gestion des stocks
M. Nakhla

2. Niveau de stock

Étant donné son influence sur le besoin de financement, il est important de surveiller son évolution, non seulement au moment de la construction du bilan, mais tout au long de l'année. Il faut l'apprécier en valeur absolue et en jours, mais aussi le rapporter au CA et aux ventes prévisionnelles. Il est aussi nécessaire d'évaluer avec précision l'ensemble des coûts engendrés par la détention d'un stock : son financement propre d'abord, mais aussi le coût du stockage, de la manutention et des assurances.

3. Qualité des stocks

Disposer d'un niveau de stocks raisonnable est une chose, disposer d'un stock d'éléments ayant une réelle valeur sur le marché en est une autre.

Il est important d'évaluer en permanence l'utilité de son stock :

Est-il utilisable pour être consommé dans des productions ?

Est-il vendable en l'état ?

Répond-il à des besoins futurs ?

Gestion des stocks
M. Nakhla

En complément du caractère indissociable des trois éléments du triangle :

- Le stock doit être connu en temps réel. Trop souvent, les entreprises n'ont pas de connaissance précise de leur stock avant la date d'inventaire obligatoire de fin d'année.

- L'utilisation de la méthode de l'inventaire permanent qui enregistre tous les mouvements d'entrée et de sortie et qui actualise en même temps le stock. Le

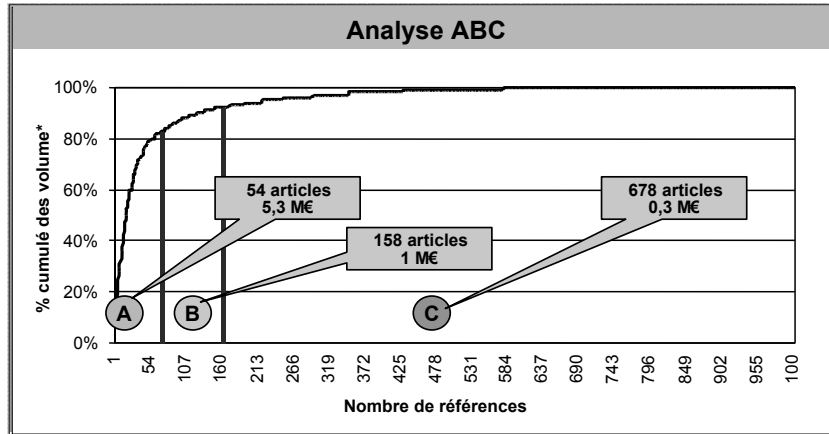
niveau du stock doit être évalué au plus fin, c'est-à-dire la référence.

- Le stock doit être adapté aux écoulements. Cela passe par la réalisation d'une équation de stock :

$$\text{Stock initial} + \text{entrées en stocks} - \text{sorties de stocks} = \text{stock final}$$

Cette équation est la base indispensable à toute gestion de stock.
Elle est aussi réalisée informatiquement à la référence.

Gestion des stocks
M. Nakhla



Gestion des stocks
M. Nakhla

Les politiques de gestion de stock

Période	Quantité	Fixe	variable
Fixe		T, Q	Recomplètement T, S
Variable (seuil)		Point de commande S, Q	Systemes mixtes MRP ou Kanban

Les politiques de gestion de stock dans l'entreprise

Les politiques de gestion de stock visent à répondre aux deux grandes questions :

1. Quand déclencher l'approvisionnement du stock?

La réponse à cette question est différente selon la politique de gestion adoptée :

- En gestion de stock par point de commande, l'approvisionnement du stock est déclenché lorsque l'on observe que le stock descend en dessous d'un niveau s , le point de commande.
- En gestion calendaire, l'approvisionnement du stock est déclenché à intervalles réguliers T , par exemple, chaque jour ou chaque semaine.
- En gestion calendaire conditionnelle, l'approvisionnement du stock est déclenché à intervalles réguliers T , mais uniquement lorsque l'on observe que le stock descend en dessous d'un niveau s , le point de commande.

2. Combien commander ?

La réponse à la question dépend également du type de gestion de stock appliquée :

- En gestion par point de commande, on commande une quantité fixe, notée Q appelée quantité économique de commande. Sa détermination résulte d'un calcul d'optimisation.
- En gestion calendaire de stock, la quantité commandée est égale à la différence entre le stock résiduel observé R et S , le niveau de rechargement du stock, c'est-à-dire le niveau voulu du stock en début de période T .

Modélisation de deux politiques de gestion des stocks :

- La politique de gestion calendaire des stocks,

notée (T,S)

avec T l'intervalle entre deux commandes

et S, le niveau de rechargement du stock.

- La politique de gestion par point de commande, quantité économique de commande,

notée (Q, s)

avec Q, la quantité économique à commander régulièrement

et s, le point de commande qui déclenche l'approvisionnement du stock.

Les coûts associés aux stocks

En cas de demande aléatoire, il peut y avoir non coïncidence entre la demande et le stock.

- une demande supérieure au stock : → rupture de stock
- une demande inférieure au stock : → un stock résiduel

Le critère de gestion généralement retenu en gestion des stocks est celui de la minimisation des coûts (fonction C).

C(S) : en gestion calendaire, la variable de commande est S (le niveau de rechargement du stock)

C(Q,s) : en gestion par point de commande, les deux variables de commandes sont Q, la quantité commandée et s, le point de commande.

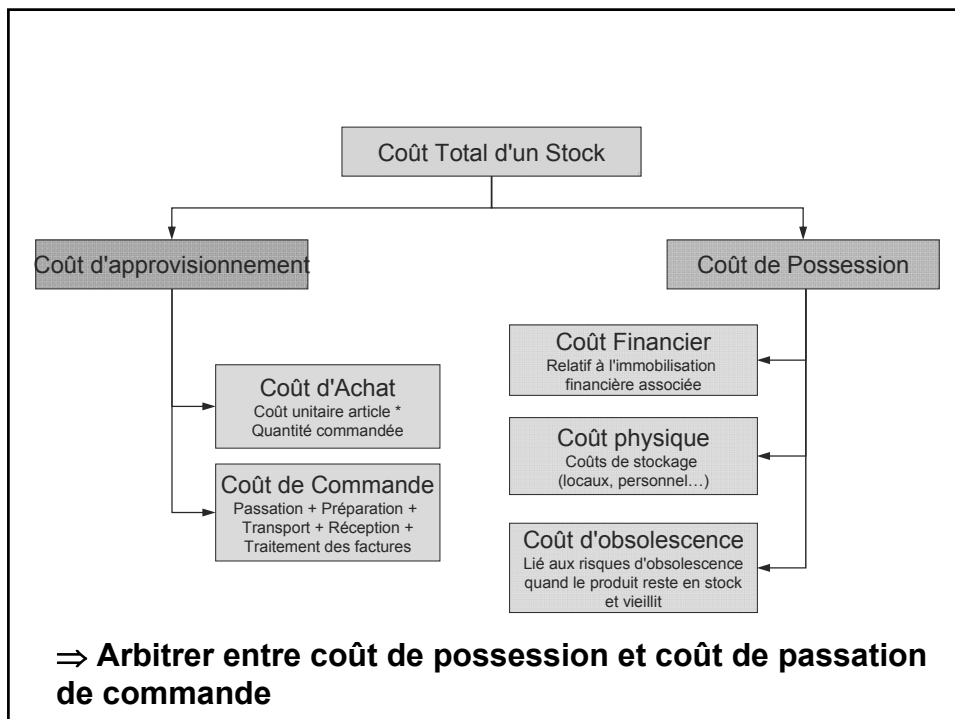
Ces variables de commandes déterminent en général trois variables d'état du système :

I_r , la rupture moyenne : le nombre moyen de demandes non satisfaites au cours d'une période, auquel est associé un coût unitaire de rupture, noté c_r

I_p , le stock moyen possédé au cours d'une période, auquel est associé un coût unitaire de possession, c_s

I_L , le nombre moyen de commandes lancées au cours d'une période, auquel est associé un coût unitaire de commande, c_c

$$C = c_L I_L + c_S I_S + c_r I_r$$



Les coûts de possession

Ces coûts comprennent :

- les coûts de détention d'un article en stock durant une certaine période en fonction des conditions financières d'acquisition et des éventuelles conditions de reprise.
- les coûts de stockage qui sont les dépenses de logistique, de conservation du stock.

Les conséquences d'un stock résiduel seront différentes selon :

• le cas du stock à rotation nulle : le stock résiduel est sans utilité pour l'entreprise :

- obsolescence technique ou commerciale : les vêtements de modes, . . .
- consommation avec un délai maximum : les primeurs, les journaux

Dans ce cas, le coût de possession d'un article du début à la fin de la période se calcule comme le coût d'acquisition d'un article moins la valeur de récupération (solde).

Un quotidien acheté 0,9 € par le libraire et dont l'inventu est repris 0,75 € par le grossiste : le coût de possession est :

$$0,9 - 0,75 = 0,15 \text{ €}.$$

• le cas du stock à rotation non nulle : l'inventu peut être vendu à une période ultérieure. C'est le cas, par exemple, des boîtes de conserves non vendues une période qui le seront aux périodes suivantes.

Dans ce cas, le coût de possession est lié à l'immobilisation du capital.

En gelant la somme d'argent correspondant au coût d'achat de l'article inventu, on se prive du revenu d'un placement financier. Ce coût est appelé coût d'opportunité.

Si le taux d'opportunité est de 6 % l'an, une boîte de conserves achetée 1,20 € et restant en rayon un mois entier a coûté :

$$1,20 \times 6 \% \times 1/12 = 0,006 \text{ €}.$$

L'autre partie du coût de possession concerne les coûts de stockage. Ces coûts de stockage, comprennent, en général des frais fixes (coût de location d'entrepôts...) et des frais variables (le coût de manutention...)

Le Coût unitaire de stockage à prendre en considération dans la fonction objectif est le coût moyen de l'ensemble de ces frais et dépend du volume d'activité, de la valeur d'acquisition des stocks...

Rq :

La difficulté de disposer d'informations précises peut conduire à ne pas inclure le coût de stockage dans le coût de possession. le coût de possession se réduit donc au seul coût d'immobilisation du capital.

Le coût de possession représente de 20% à 40% de la valeur du stock moyen

Les coûts de rupture

► En cas de demande externe (le produit est destiné à la vente), la demande non satisfaite peut être perdue (ventes manquées) ou reportée (ventes différées) :

• dans le cas de ventes manquées, le coût de rupture est le manque à gagner de la non fourniture d'une unité du produit, généralement la marge bénéficiaire sur cet article.

Un journal acheté 0,90 € par le libraire et revendu 1,20 € a un coût de rupture de

$$1,20 - 0,90 = 0,30 \text{ €}$$

• dans le cas de ventes différées, le coût de rupture n'inclut pas la marge car la vente sera réalisée plus tard. Ce coût de rupture est le coût administratif d'ouverture d'un dossier de prise de commande et éventuellement un coût commercial (on fait une ristourne pour ne pas perdre le client).

Un garagiste qui n'a plus de stock de véhicule désiré par son client va lui proposer une voiture de location gratuite durant le délai d'attente pour ne pas perdre le client.

Le coût de rupture correspond ici à la prise en charge par le garage de la location de la voiture

► **En cas de demande interne**

**On ne parle plus de stock de distribution mais de stock de fabrication.
Dans ce cas, la rupture entraîne un chômage technique des postes en aval.**

Le coût de rupture correspond au coût financier du chômage technique des postes en aval.

Ce coût peut être très important dans une chaîne d'assemblage travaillant en juste à temps.

Les coûts de commande (ou de lancement)

Il faut distinguer le cas d'une demande interne et celui d'une demande externe

• En cas de stock de fabrication, le coût de commande est le coût de lancement de la production.

Il s'agit du réglage des machines, . . .

Normalement, ce coût est indépendant de la quantité fabriquée.

• En cas de stock d'approvisionnement, le coût de commande est le coût administratif de gestion de la commande : établissement d'un bordereau, contrôle de livraison, liquidation comptable, . . .

Normalement, ce coût est également indépendant de la quantité commandée.

La gestion calendaire de stock en rotation nulle

On parle de gestion calendaire de stock lorsque l'intervalle entre deux reconstitutions du stock est fixé, noté T (intervalle la période de révision calendaire)

La plupart des articles frais sont réapprovisionnés en gestion calendaire.

Exemple : le boulanger reconstitue son stock tous les jours ou deux fois par jour.

Dans ce cas, T vaut une journée ou une demi-journée suivant le cas.

Rq : La variable de commande du système est dans ce cas, S , le niveau initial du stock (appelé le niveau de recomplètement du stock).

Dans le cas de ventes manquées ou différées, il faut ajouter au niveau initial voulu du stock S , les commandes enregistrées lors des ruptures de la période précédente.

Inversement, s'il y a des invendus d'une période et que le produit peut encore être vendu à la période suivante (cas de la rotation non nulle), on commande la différence entre le niveau S et le stock résiduel afin de ramener le stock initial à son niveau voulu S .

Modélisation de la gestion calendaire de stock à rotation nulle

➡ Comment déterminer le niveau du stock initial S (variable de commande) ?

- T , est généralement fixé par la nature de l'approvisionnement :

un pâtissier met en fabrication des gâteaux chaque jour.

Un libraire commande des journaux chaque jour, des périodiques chaque semaine ou chaque mois.

- Pas de report possible des invendus aux périodes suivantes (stock à rotation nulle)

L'exemple du pâtissier

Cas de la rotation nulle pour une demande aléatoire modélisée par une variable aléatoire discrète : la variable de Poisson.

Données et hypothèses :

- La demande suit une loi de probabilité discrète.
- Le coût de fabrication est de 25 l'unité et le prix de vente est de 60 l'unité.
- La demande quotidienne de ce gâteau, notée X , suit une loi de Poisson de moyenne égale à 2,5 gâteaux par jour.

Rq : la moyenne d'une quantité entière (la variable aléatoire de Poisson ne prend que des valeurs entières positives ou nulle) peut ne pas être entière. Si on vend un jour sur deux 2 gâteaux et un jour sur deux 3 gâteaux, en moyenne on en vend 2,5 par jour.

la distribution de probabilité du nombre X de clients par jour pour ce produit

x	P(X)=x
0	0,0821
1	0,2052
2	0,2565
3	0,2138
4	0,1336
5	0,0668
6	0,0278
7	0,0099
8	0,0031
9	0,0009

Dans ce tableau x indique une valeur possible de la demande et $P(X = x)$ indique la probabilité d'occurrence de cette valeur. Ainsi on a 8,21 % de chances d'observer aucun client un jour donné. Les invendus de la journée sont donnés.

Combien mettre de gâteaux en fabrication chaque jour pour maximiser le bénéfice ?

- Le coût de possession, cs , lié à l'invendu en fin de journée est le coût de production = 25.
- Le coût de rupture, cr , lié à une vente manquée est égal à la marge = $60 - 25 = 35$.
- Le coût de commande, cl , correspond ici au coût de mise en route d'une fabrication de gâteaux.

On doit déterminer S , le stock initial, de manière à minimiser :

$$\begin{aligned} C(S) &= (cs \times Is(S)) + (cr \times Ir(S)) + (cl \times l_L) \\ &= 25 \times Is(S) + 35 \times Ir(S) + cl \times 1 \end{aligned}$$

avec

$Is(S)$, le stock moyen résiduel en fin de journée

$Ir(S)$, nombre moyen de ruptures sur la journée.

l_L , le nombre moyen de commandes par jour est fixé : il y a une seule mise en route de fabrication chaque jour et donc $l_L = 1$. On peut donc négliger le dernier terme dans l'optimisation.

Résolution numérique du problème

Calcul de $I_r(S)$, le nombre moyen de ruptures.

Le tableau 1, donne explicitement le nombre de ruptures en fonction du stock initial (S) et de la demande observée (x) : ce nombre de ruptures est la partie positive de (x-S).

Pour calculer le nombre moyen de ruptures en fonction du stock initial S, il suffit, pour chaque valeur de S de faire la moyenne pondérée de ce nombre par la probabilité d'observer x. Ceci est fait en dernière ligne du tableau.

Calcul de $I_s(S)$, le stock moyen possédé. Au tableau 2, on calcule explicitement le stock possédé en fonction du stock initial (S) et de la demande observée (x) : ce stock final possédé est la partie positive de (S - x).

Pour calculer le stock moyen possédé en fonction du stock initial S, il suffit, pour chaque valeur de S de faire la moyenne pondérée de ce nombre par la probabilité d'observer x. Ceci est fait en dernière ligne du tableau 2.

Tableau 1

Calcul du nombre de ruptures (x-S)+							
x	P(X=x)	S=1	S=2	S=3	S=4	S=5	S=6
0	0,0821	0	0	0	0	0	0
1	0,2052	0	0	0	0	0	0
2	0,2565	1	0	0	0	0	0
3	0,2138	2	1	0	0	0	0
4	0,1336	3	2	1	0	0	0
5	0,0668	4	3	2	1	0	0
6	0,0278	5	4	3	2	1	0
7	0,0099	6	5	4	3	2	1
8	0,0031	7	6	5	4	3	2
9	0,0009	8	7	6	5	4	3
	$I_r(S)$	1,579	0,867	0,411	0,169	0,061	0,019

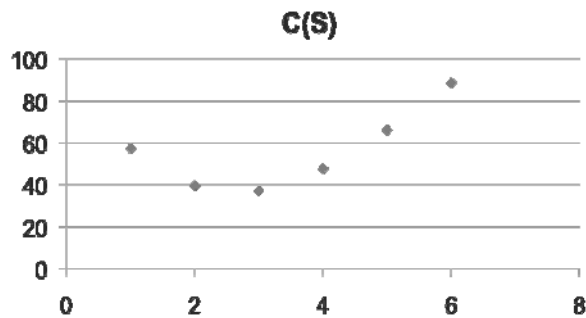
Tableau 2

Calcul du stock résiduel (S-x)+							
x	P(X=x)	S=1	S=2	S=3	S=4	S=5	S=6
0	0,0821	1	2	3	4	5	6
1	0,2052	0	1	2	3	4	5
2	0,2565	0	0	1	2	3	4
3	0,2138	0	0	0	1	2	3
4	0,1336	0	0	0	0	1	2
5	0,0668	0	0	0	0	0	1
6	0,0278	0	0	0	0	0	0
7	0,0099	0	0	0	0	0	0
8	0,0031	0	0	0	0	0	0
9	0,0009	0	0	0	0	0	0
	$I_p(S)$	0,0821	0,3694	0,9132	1,6708	2,562	3,52

Calcul du coût moyen de possession du stock en appliquant la formule suivante : $C(S) = 3 \times I_r(S) + 20 \times I_3(S)$

stock	1	2	3	4	5	6
$C(S)$	57,33	39,67	27,66	37,66	47,66	57,66

Le coût minimum est obtenu pour $S^* = 3$.



Résolution analytique du problème

En cas de coût convexe (on peut vérifier sur le graphique que le coût est bien une fonction convexe de S), le stock optimal S^* est celui pour lequel le coût de gestion $C(S^*)$ est inférieur à celui des stocks immédiatement inférieur ou supérieur :

$$\begin{cases} C(S^*) < C(S^* + 1) \\ C(S^*) < C(S^* - 1) \end{cases}$$

ou encore :

$$\begin{cases} C(S^* + 1) - C(S^*) > 0 \\ C(S^*) - C(S^* - 1) < 0 \end{cases}$$

Etudier l'évolution de la différence de coût de stocks successifs définie comme : $C(S + 1) - C(S)$

L'étude de $C(S + 1) - C(S)$ passe par celle de $I_r(S + 1) - I_r(S)$. (on peut exprimer cette variation de coût en fonction de la seule variation de rupture moyenne. On va donc étudier $I_r(S + 1) - I_r(S)$).

Calcul de la rupture moyenne $I_r(S = 4)$ associée au stock initial $S = 4$.

On doit donc calculer l'espérance mathématique de $X - 4$ pour des valeurs de X supérieures à 4 :

$$I_r(S = 4) = \sum_{x=5}^{\infty} (x - 4)P(X = x)$$

Calculons, de même, la rupture moyenne $I_r(S = 5)$ associée au stock initial $S = 5$:

$$I_r(S = 5) = \sum_{x=6}^{\infty} (x - 5)P(X = x)$$

En général :

$$I_r(S) = \sum_{x=S+1}^{\infty} (x - S)P(X = x)$$

La différence de ces ruptures moyennes pour deux stocks initiaux consécutifs :

$$\begin{aligned} I_r(S = 4) - I_r(S = 5) &= \sum_{x=5}^{\infty} (x - 4)P(X = x) - \sum_{x=6}^{\infty} (x - 5)P(X = x) \\ &= \sum_{x=5}^{\infty} (x - 4)P(X = x) - \sum_{x=5}^{\infty} (x - 5)P(X = x) \\ &= \sum_{x=5}^{\infty} 1 \times P(X = x) \\ &= P(X > 4) \end{aligned}$$

Conclusion : la diminution de rupture moyenne $I_r(S)$ occasionnée par une augmentation d'une unité du stock initial à partir de S est égale à la probabilité que la demande soit strictement supérieure ou égale au stock initial S .

Il est facile de montrer que ceci est vrai quelle que soit la forme la distribution de probabilité discrète :

$$I_r(S + 1) - I_r(S) = -P(X > S)$$

On dispose du calcul de $P(X > x)$ en fonction de λ , la valeur du paramètre de la loi de Poisson.

Il est donc possible de ramener la fonction de coût comme une fonction de la seule variable d'état $I_r(S)$. Pour cela, nous allons établir la relation entre $I_r(S)$ et $I_s(S)$.

Le stock moyen sur lequel porte le coût de possession est le stock moyen observé en fin de période qui correspond donc à l'inventu. On observera un stock résiduel si la demande observée x est inférieure à S , le stock initial. Son niveau moyen est calculé par l'espérance mathématique suivante :

$$\begin{aligned} I_s(S) &= \sum_{x=0}^{S-1} (S - x)P(X = x) = \sum_{x=0}^S (S - x)P(X = x) \\ &= \sum_{x=0}^{\infty} (S - x)P(X = x) - \sum_{x=S+1}^{\infty} (S - x)P(X = x) \\ &= S \sum_{x=0}^{\infty} P(X = x) - \sum_{x=0}^{\infty} xP(X = x) + \sum_{x=S+1}^{\infty} (x - S)P(X = x) \\ &= S - \bar{X} + I_r(S) \end{aligned}$$

Où \bar{X} = la moyenne de la demande X .

D'où la relation entre I_s et I_r :

$I_s(S) = S - (\bar{X} - I_r(S))$: le stock moyen résiduel $I_s(S)$ est égal au stock de départ S diminué de la demande moyenne satisfaite ($\bar{X} - I_r(S)$). En effet, si \bar{X} est la demande moyenne exprimée, il faut tenir compte de $I_r(s)$, la rupture moyenne pour en déduire la demande moyenne satisfaite.

En partant de : $I_s(S) = S - \bar{X} + I_r(S)$

On peut exprimer C(S) en fonction du seul coût de rupture l_r :

$$C(S) = c_r I_r + c_s I_s = c_r I_r(S) + c_s (S - \bar{X} + I_r(S))$$

Revenons maintenant au problème de la détermination de la solution optimale, c'est-à-dire au stock initial S^* qui minimise :

$$C(S) = c_s(S - \bar{X}) + (c_r + c_s)I_r(S)$$

On a donc que :

$$\begin{aligned} C(S+1) - C(S) &= c_s(S+1 - \bar{X}) + (c_r + c_s)I_r(S+1) - c_s(S - \bar{X}) - (c_r + c_s)I_r(S) \\ &= c_s + (c_r + c_s)(I_r(S+1) - I_r(S)) \end{aligned}$$

Compte tenu de la relation $(I_r(S+1) - I_r(S)) = -P(X > S)$

$$C(S+1) - C(S) = c_s - (c_r + c_s)P(X > S)$$

Les conditions d'optimalité deviennent ici :

$$\begin{cases} c_s - (c_s + c_r)P(X > S^*) \geq 0 \\ c_s - (c_s + c_r)P(X > S^* - 1) \leq 0 \end{cases}$$

ou encore S^* optimal si :

$$P(X > S^*) \leq \frac{c_s}{c_s + c_r} \leq P(X > S^* - 1)$$

Application à l'exemple :

$$\frac{c_s}{c_s + c_r} = \frac{25}{25 + 35} = 0,417$$

En consultant le tableau donnant $P(X > S)$, on trouve :

$$P(X > 3) = 0,2424 < 0,417 < P(X > 2) = 0,4562.$$

D'où :

$$S^* = 3.$$

On en conclut qu'il est optimale de mettre en production 3 gâteaux chaque matin.

La gestion par point de commande

1. Optimisation économique

a. Types de stocks

- > Matières premières
- > Composants
- > En-cours de fabrication
- > Produits finis

b. Fonctions d'un stock

- > Tampons (aléas demande, appro., Fab.)
- > Anticipation (saisonnalité, congés...)
- > Lancement par lot (achat et fabrication)
- > Stocks de précaution ou spéculatifs (variations des cours de MP)

c. Objectif de la gestion des stocks

Pour chaque type de stock, assurer les fonctions nécessaires au **moindre coût**

2. Les coûts des stocks

a. Coût d'acquisition

= Coût unitaire X nombre d'unités achetées

Coût unitaire a priori indépendant du nombre d'unités achetées

Mais possibilités de variation du coût unitaire :

==> Marché : fluctuation selon offre et demande

==> Politique du fournisseur (réduction du prix pour groupage, remises sur quantité)

b. Coût de possession (de stockage)

Frais de stockage

Détérioration et obsolescence

Frais financiers

==> Le coût de possession représente de 20% à 40% de la valeur du stock moyen

Gestion des stocks
M. Nakhla

c. Coût de passation des commandes (de lancement)

- . Suivi du stock
- . Appel d'offres éventuel
- . Négociation avec le fournisseur
- . Emission de la commande
- . Suivi de la commande
- . Réception, contrôle et entrée en magasin
- . Vérification de la facture
- . Paiement de la facture

==> Le coût de passation de commande est de l'ordre de 100F à 10 000F

d. Coût de rupture

- . Perte de marge
- . Pénalités de retard
- . Perte d'image
- . Coût d'approvisionnement d'urgence

Gestion des stocks
M. Nakhla

3. Le modèle de base

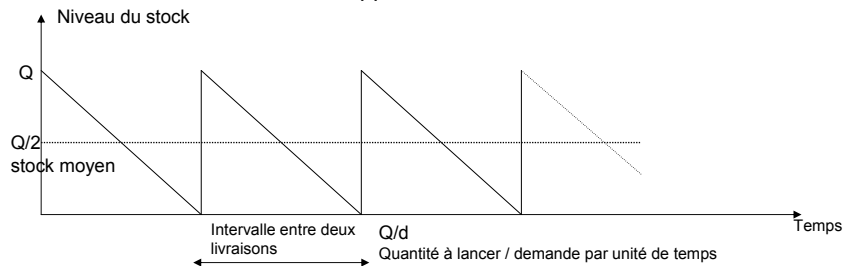
Questions :

Quand réapprovisionner ?

Quelles quantités commander ?

==> Arbitrer entre coût de possession et coût de passation de commande

Connaissant : la nature de la demande (déterministe ou aléatoire)
les délais de réapprovisionnement



Gestion des stocks
M. Nakhla

a. Le modèle de Wilson

Notations

Q : Quantité à lancer

T : Période de réapprovisionnement

d : Demande (nombre de pièces consommées/unité de temps)

Reliées par :

$$Q = dT$$

C_L : Coût de passation de commande

C_s : Coût de stockage (coût unitaire de l'article C X taux de détention h)

Pour une politique (Q,T) donnée :

sur une période T

$$\text{coût de stockage} = C_s \cdot Q/2 \cdot T = C_s \cdot Q^2/2d$$

Gestion des stocks
M. Nakhla

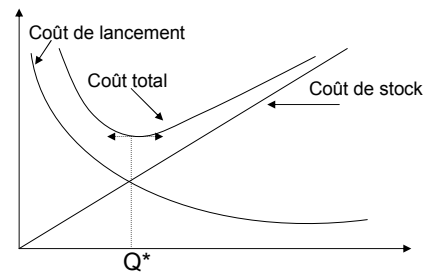
sur un horizon $\theta = nT$ donné

Coût de lancement : $nC_L = \theta/T \cdot C_L = \theta d / Q \cdot C_L$

Coût de stockage = $nC_s \cdot Q^2/2d = \theta/T C_s \cdot Q^2/2d = \theta C_s \cdot Q/2$

$$\text{Coût total} = \theta [dC_L/Q + C_s \cdot Q/2]$$

Fonction (Q) à Minimiser



Gestion des stocks
M. Nakhla

Coût total minimum pour $Q=Q^*$

$$Q^* = \sqrt{2d C_L / C_s}$$

(Quantité économique)

$$T^* = Q^*/d = \sqrt{2/d \cdot C_L / C_s}$$

$$n^* = \theta/T^* = \theta \sqrt{d/2 \cdot C_s / C_L}$$

Exercice :

Un opérateur téléphonique vend dans une de ses boutiques un accessoire pour téléphone portable qu'il achète à 30€ l'Unité. La vente annuelle de ces accessoires est estimée à 2400 unités/an. Cette demande peut raisonnablement être considérée comme stable au cours du temps (en particulier, elle ne subit pas de variations saisonnières). Le vendeur suit de près le niveau des stocks et est en mesure d'éviter toute rupture de stock en lançant à temps une commande de réapprovisionnement.

Pour ce faire, il tient compte du caractère certain de la demande et de l'existence d'un délai de réapprovisionnement de 20 jours ouvrables (l'année comportant 48 semaines de 6 jours ouvrables soit 288 jours ouvrables). Le taux de détention des articles en stock est de 20% du prix d'achat (par unité par an). Le coût de passation d'une commande est estimée à 300€.

Questions :

- Calculez la quantité optimale de commande et le coût annuel moyen.
- Quel doit être, par ailleurs, votre point de commande ?
- Le fournisseur, après réflexion, vous propose à l'occasion de la négociation annuelle, les conditions suivantes de remises sur les quantités achetées :

Commande < 250 articles	Prix	31€
Commande de 250 à 499 articles	Prix	30,5€
Commande de 500 à 749 articles	Prix	30€
Commande de 750 à 999 articles	Prix	29,5€
Commande de plus de 1000 articles	Prix	29€

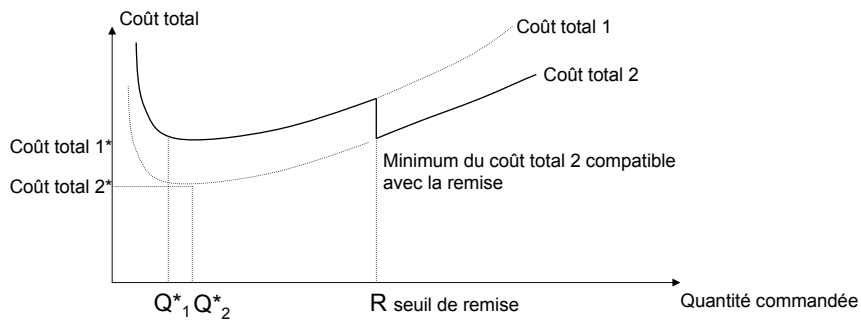
Ces prix s'entendent pour l'ensemble des quantités commandées, à partir du moment où l'on dépasse les seuils respectifs.

- Quelle quantité de commandes allez-vous retenir ?

Gestion des stocks
M. Nakhla

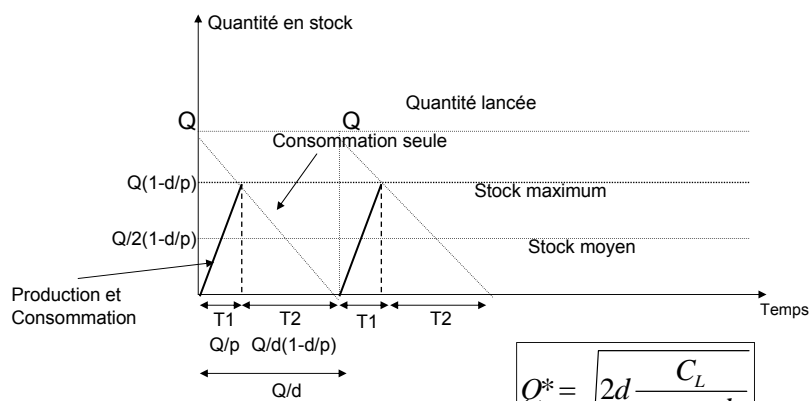
b. Remise sur quantité

- . Bénéficier ou non des remises sur quantités proposées par un fournisseur
- . Recherche du coût total minimum



Gestion des stocks
M. Nakhla

c. Production et consommation simultanées



$$Q^* = \sqrt{2d \frac{C_L}{C_S(1-\frac{d}{p})}}$$

Gestion des stocks
M. Nakhla

Programmation dynamique

La cas déterministe

On symbolise les différents états possibles à la date t par la seule variable x_t

On a :

$$x_t = \{E_0^{(t)}, E_1^{(t)} \dots E_{k(t)}^{(t)}\}$$

Lorsque l'on passe de x_t à x_{t+1} , le coût de cette transition est : $v_t(x_t, x_{t+1})$.

Les x_{t+1} accessibles à partir de x_t forment un ensemble $\Gamma(x_t)$.

Nous appellerons *politique* (et non plus stratégie, pour opposer le cas déterministe au cas aléatoire), un ensemble de T-1 choix possibles.

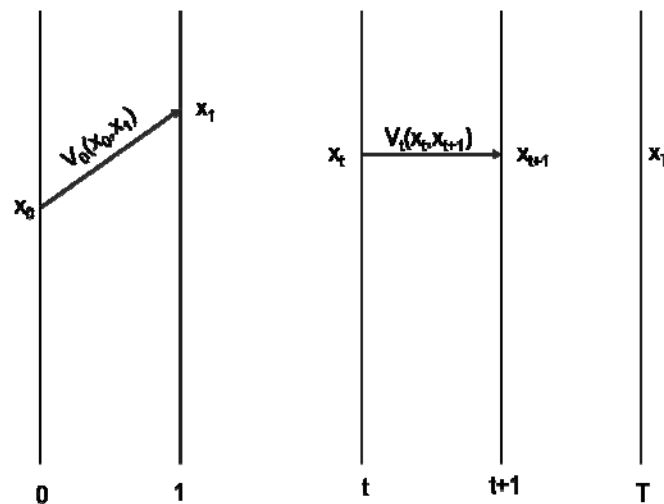
$$x_t \rightarrow x_{t+1} \quad \text{Pour } T=0, \dots, T-1$$

$$x_{t+1} \in \Gamma(x_t)$$

Il s'agit alors de trouver la politique qui minimise $V = \sum_{t=0}^{T-1} v_t(x_t, x_{t+1})$

en trouvant $x_1, x_2 \dots x_{T-1}$

Gestion des stocks
M. Nakhlia
avec $x_{t+1} \in \Gamma(x_t)$



Gestion des stocks
M. Nakhlia

Plaçons nous à une date t et un état déterminé x_t .

On appelle sous politique de 0 à i le choix : x_1, x_2, \dots, x_{i-1}

On appelle sous politique optimale de 0 à i pour l'état x_i , le choix de x_1, x_2, x_{i-1} qui minimise la fonction :

$$V_i(x_i) = \sum_{k=0}^{i-1} v_k(x_k, x_{k+1})$$

avec :

$$x_{k+1} \in \Gamma(x_k) \text{ et } x_i \text{ fixé}$$

$$V_i^*(x_i) = \text{Min} \sum_{k=0}^{i-1} v_k(x_k, x_{k+1})$$

$$x_1 \dots x_{i-1}$$

Pour un x_i donné, d'après le principe d'optimalité, on alors si Γ^{-1} est l'application

Inverse de Γ

$$V_i^*(x_i) = \text{Min} [v_{i-1}(x_{i-1}, x_i) + V_{i-1}^*(x_{i-1})] \quad x_{i-1} \in \Gamma^{-1}(x_i)$$

D'où l'algorithme :

M. Nakhla

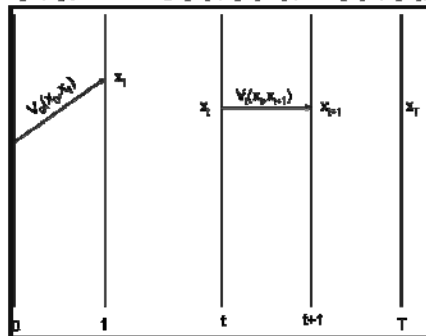
Algorithme

Phase 1: $V_1^*(x_1) = v_0(x_0, x_1)$

Phase 1: $V_2^*(x_2) = \text{Min} [v_1(x_1, x_2) + V_1^*(x_1)] \quad x_1 \in \Gamma^{-1}(x_2)$

Phase i : $V_i^*(x_i) = \text{Min} [V_{i-1}(x_{i-1}, x_i) + V_{i-1}^*(x_{i-1})] \quad x_{i-1} \in \Gamma^{-1}(x_i)$

Phase T : $V_T^*(x_T) = \text{Min} [V_{T-1}(x_{T-1}, x_T) + V_{T-1}^*(x_{T-1})] \quad x_{T-1} \in \Gamma^{-1}(x_T)$



Gestion des stocks
M. Nakhla

Gestion séquentielle des stock : Application (cas déterministe)

La demande d'un équipement important en janvier, février et mars est de 2 unités, les 2 unités étant livrées à la fin de chaque mois.

Le fabricant souhaite établir le plan de production de cet équipement.

Le stock ne peut dépasser 2 unités en février et mars, et, est nul en janvier et en avril. La production maximale pour un mois donné est de 4 unités.

Pour un stock de i équipements et une production y , le coût mensuel vaut :

$C(y,i) = f(y) + 6i$ avec : $f(0) = 0$, $f(1) = 15$, $f(2) = 17$, $f(3) = 19$, $f(4) = 21$.

Quelles est la politique qui permet de minimiser le coût de stockage ?

77

Pour approfondir :

