

CHAPITRE 2

SOUTIEN LOGISTIQUE EN MAINTENANCE**1 – INTRODUCTION**

Par définition, la logistique est le processus stratégique par lequel l'entreprise organise et soutient son activité. Appliquée à la maintenance, cette définition peut être exprimée de la manière suivante : « c'est l'ensemble des moyens permettant aux techniciens de maintenance d'être efficace dans leurs actions ». La logistique de maintenance peut se décliner en quatre volets essentiels :

- matières et produits consommables,
- pièces et modules de rechange,
- outillage spécifique,
- moyens spéciaux.

1 – Matières et produits consommables

Ce sont les produits classiques d'atelier :

- quincaillerie (vis, écrous, rondelles, ...),
- petite mécanique (joints, roulements, ...),
- produits de nettoyage (solvants, dégrissants, ..),
- baguettes de soudure, pâtes d'étanchéité, ...

S'y ajoutent :

- les matières premières nécessaires à la réfection des pièces ou pour les fabrications diverses (tubes, tôles, barres, etc..),
- les lubrifiants standardisés par le service.

2 – Pièces et modules de rechange

Ils peuvent être standards ou alors attachés à un équipement (pièces d'usure). La fonction Méthodes doit en avoir déterminé la nomenclature. La constitution d'un stock de pièces de rechange est fondamentale si on veut obtenir une bonne efficacité du service Maintenance.

3 – Les outillages spécifiques

Ce sont tous les outillages, autres que l'outillage classique que l'on trouve dans la caisse à outils d'un bon technicien. Ils sont souvent attachés à des matériels (préconisation du constructeur) ou alors définis comme « moyens communs » en atelier. Les appareils nécessaires aux CND en font partie.

4 – Les moyens spéciaux

Ce sont tous les moyens nécessaires à des opérations de maintenance sur des équipements lourds ou difficiles d'accès (moyens de levage, échafaudage, etc..).

Il est clair que la logistique de soutien va permettre d'optimiser les activités de maintenance (gain de temps, d'énergie, réduction des coûts) et surtout assurer la flexibilité du service Maintenance. Parmi ces quatre volets, un doit faire l'objet de beaucoup de soins : il s'agit du volet n°2 concernant les pièces et modules de rechange. Une erreur dans l'approvisionnement d'une pièce critique et c'est la catastrophe assurée : arrêt de la ligne de production pendant au moins 24 heures, délais de livraison obligent ! Nous allons donc essayer dans la suite de ce chapitre de voir comment gérer de manière rationnelle un stock maintenance.

Aujourd'hui, les entreprises cherchent à minimiser le plus possible leurs stocks afin de réduire les coûts (voir les cinq zéros « olympiques » : 0 stock, 0 délai, etc..). Mais dans certaines situations, et c'est le cas de la maintenance, ceux-ci sont indispensables. Gérer un stock maintenance n'est pas toujours une chose simple, surtout lorsque les équipements de l'entreprise sont hétérogènes : il est alors difficile de standardiser les pièces de rechange. Nous allons essayer de dégager dans un premier temps les éléments généraux d'une gestion de stock. Nous essayerons ensuite de les appliquer à la gestion d'un stock maintenance.

2 – ELEMENTS DE GESTION DE STOCK

D'une manière générale, un stock est une réserve de matière première destinée à éviter les ruptures (de production, de livraison, etc.). Si dans certains cas, on stocke pour des raisons techniques (certains produits doivent vieillir comme le bois) ou économiques (on profite des baisses des cours pour commander en grande quantité et à meilleur prix), un stock représente souvent une marge de sécurité en cas de problème d'approvisionnement (délais de livraison importants, fournisseurs peu fiables, délais imprévus comme en cas de grève de transporteurs). En maintenance, il permettra de réduire le délai d'intervention et surtout d'éviter des temps d'indisponibilité importants. La gestion d'un stock est comparable à un problème de robinet (figure 2.1).



Figure 2.1 – Symbolisation d'une gestion de stock

Un réservoir est alimenté par un robinet R1. Le liquide qu'il contient est le stock. Le robinet R2 permet de satisfaire les demandes, donc le stock diminue. L'objectif est donc de réguler le contenu du réservoir en maintenant un certain niveau de manière qu'il n'y en ait ni trop, ni trop peu.

Plus scientifiquement, une gestion de stock est un système boucle (boucle de régulation) qui peut se symboliser par la figure 2.2.

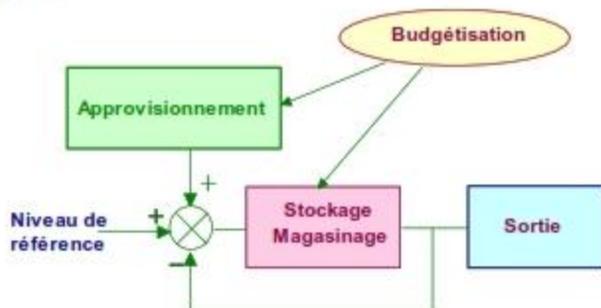


Figure 2.2 – Principe d'une gestion de stock

2.1 – Définitions

1. *Approvisionnement* : ce sont toutes les opérations permettant à l'entreprise de disposer de biens et de services nécessaires à son activité et qu'elle doit se procurer à l'extérieur.
2. *Evolution des stocks*
Elle est caractérisée par la relation **Stock initial + Entrées – Sorties ≥ 0**.
3. *Rupture de stock* : elle a lieu lorsque la relation précédente n'est pas vérifiée. Les ruptures sont généralement la cause «d'un manque à gagner» parce qu'elles arrêtent les ventes ou la production. Elles influent donc fortement sur les coûts d'indisponibilité.
4. *Politique d'approvisionnement* :

Elle doit :

- assurer la satisfaction du client (en interne ou en externe),
- assurer la réalisation de la production dans de bonnes conditions (qualité, délais, etc..),
- rechercher les prix les plus avantageux, rechercher la meilleure qualité

- prévoir et surveiller les délais de livraison.
5. *Budgétisation* : elle correspond à la somme qu'il faut affecter chaque année à la gestion du stock (commandes, frais de magasinage et stockage, coûts de rupture).
6. *Gestionnaire de stock*

Appelé encore magasinier, il effectue :

- la gestion administrative du stock (réception, bons d'entrée et de sortie, fiches de stock),
- le contrôle de sécurité (incendie, accident, etc..),
- l'entretien des locaux et du matériel,
- la gestion spatiale du stock.

Il est aidé par des manutentionnaires.

2.2 – Coûts de gestion d'un stock

La gestion des stocks est un élément important du système « entreprise » dans la mesure où elle induit des coûts importants. Elle a donc pour but de minimiser les coûts associés à l'approvisionnement. Différents coûts peuvent être retenus :

- le coût d'approvisionnement,
- le coût de possession,
- le coût de rupture.

2.21 – Coût d'approvisionnement C_a

Il est composé du coût de passation de commande et du coût d'achat proprement dit de la pièce ou matière. En effet, chaque fois que l'entreprise passe une commande, elle engage des frais :

- frais de négociation (téléphone, courrier, fax, déplacement, etc..) et de relance car il faut rechercher les fournisseurs, faire jouer la concurrence puis passer les commandes,
- frais de transport et livraison,
- coût des contrôles d'entrée,
- frais de manutention car il faut assurer la gestion « physique » des stocks (entrées, sorties, entretien, etc..).

On a $C_a = u + p$ avec u = coût d'achat unitaire et p = coût de passation de commande.

2.22 – Coût de possession de stock C_{ps}

Le coût de possession de stock correspond à une immobilisation stérile de capitaux. Il comprend :

- le *coût de financement*, c'est à dire coût financier de l'immobilisation des capitaux dans le stock (c'est le loyer de l'argent immobilisé),
- le coût de détention car il y a un lieu de stockage entraînant des frais (loyer, chauffage et/ou climatisation, hygrométrie, assurances, etc..),
- le *coût de gestion* car le stock doit être géré et pour cela il faut du matériel mais aussi du personnel (salaires et charges),
- le *coût de dépréciation* (avarie, obsolescence, perte de caractéristique) ou perte de valeur du stock.

Plutôt que d'utiliser le C_{ps} , on préfère utiliser le **taux de possession t** , pourcentage du précédent pour un article et pour une période donnée (une année en règle générale). Dans ces conditions, si u est le coût d'achat unitaire d'un article, alors le coût de possession annuel de l'article est $C_{ps} = t.u$.

Le taux de possession est le plus souvent de l'ordre de **20 à 25%**, ce qui signifie encore qu'un stock coûte le double de sa valeur tous les quatre à cinq ans environ (ce n'est pas négligeable !). Par exemple, dire qu'un stock de 10 000 DTu coûte 20%, cela signifie que le coût de possession s'élève à 2000 DTu.

2.23 – Coût de rupture C_r

Les coûts de rupture sont générés par l'absence du produit au moment où il est demandé. Il est toujours difficile à évaluer et est très lié à la nature même du stock :

- perte d'une vente si l'article n'est pas disponible,

- arrêt de production (coût d'indisponibilité),
- manque à gagner,
- pénalités de retard,
- perte de qualité, perte d'image.

2.24 – Coût total de stock C_{gs}

On a :

$$C_{gs} = \sum C_a + \sum C_{ps} + \sum C_r$$

L'objectif de la gestion optimale des stocks est d'en réduire au maximum le **coût total**.

2.3 – Niveaux de stock

A tout instant t , le nombre d'éléments en stock est donné par l'équation :

$$N(t) = N(0) + \sum_0^t \text{Entrées} - \sum_0^t \text{Sorties}$$

2.31 – Stock initial $N(0)$

Il est connu par un inventaire périodique réalisé par le magasinier. Cet inventaire régulier est nécessaire parce que la formule précédente ne suffit pas : elle ne prend pas en compte les erreurs, le coulage ou piratage, le manque de rigueur. Même si la gestion du stock est assistée par ordinateur, un inventaire périodique est nécessaire pour recalculer $N(0)$.

2.32 – Evolution du stock dans le temps

Elle est fonction de la consommation et de l'approvisionnement. Dans un premier temps le stock va diminuer au rythme des sorties. Dans un second temps, il va être nécessaire de passer une commande pour réapprovisionner le stock et éviter une rupture. Le niveau du stock évolue donc entre 0 et une valeur N , appelé **stock maximum**, plafond à ne pas dépasser pour éviter des coûts de stockage importants.

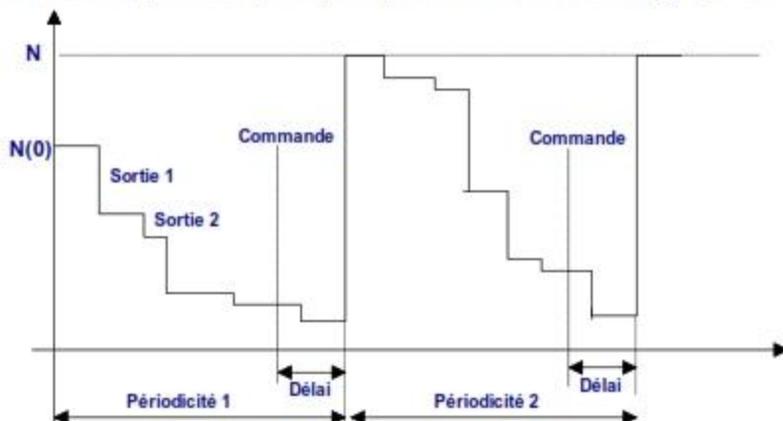


Figure 2.3 – Fonctionnement d'un stock

L'allure d'évolution du stock étant souvent aléatoire, on préfère utiliser des représentations simplifiées.

A - Consommation régulière et délai d'approvisionnement nul

Figure 2.4 – Evolution régulière d'un stock

L'approvisionnement étant périodique, le stock moyen s'exprime mathématiquement par $\bar{N} = \frac{1}{T} \int_0^T N(t) dt$. Si la consommation est linéaire, alors $\bar{N} = \frac{N}{2}$. Cette situation est bien sûr idéale. De plus, sur la figure 10.4, on admet qu'on accepte une rupture de stock, aussi courte soit-elle.

B - Consommation irrégulière et délai d'approvisionnement nul

Le phénomène de consommation irrégulière est tout à fait courant : dans certaines entreprises, fermées au mois d'août, la consommation est moins importante au troisième trimestre.

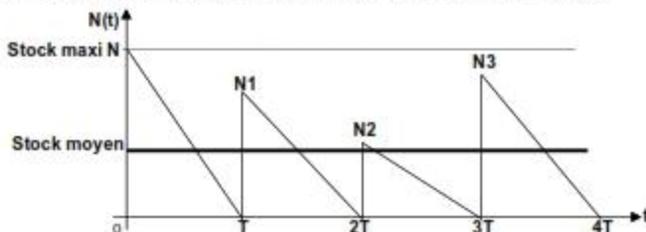


Figure 2.5 – Consommation irrégulière

Sur la figure 2.5, si on admet que T représente la durée d'un trimestre, alors :

$$\bar{N} = \frac{N/2 + N1/2 + N2/2 + N3/2}{4}$$

Il est évident qu'on est encore ici dans une hypothèse d'école, car les délais d'approvisionnement ne sont jamais nuls et que la rupture de stock est à déconseiller surtout si on fait de la maintenance. Il est donc nécessaire de borner le stock.

C - Cas général

La rupture de stock a un coût, et en maintenance, on ne peut jouer avec. Il faut donc prévoir un stock de sécurité qui puisse pallier les aléas de livraison (figure 2.6).

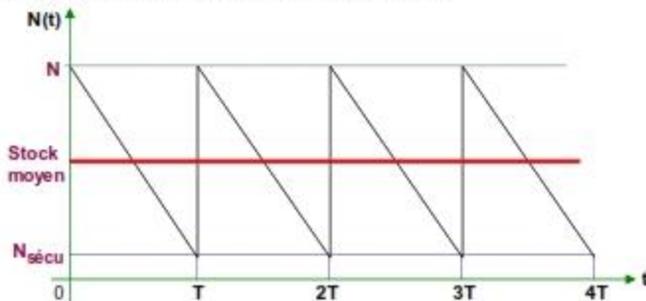


Figure 2.6 – Evolution générale d'un stock

On appelle stock de roulement la partie du stock consommée entre deux approvisionnements. La valeur moyenne de la consommation est donc $\frac{\text{Stock initial} - \text{stock en fin de période}}{2}$.

2.33 – Ratios de gestion

Les ratios de gestion permettent de connaître dans quel état se trouve le stock : trop élevé, normal ou trop faible.

A – Taux de rotation du stock ou taux de renouvellement

C'est l'instrument de mesure permettant de mesurer l'efficacité d'un stock. Le stock est renouvelé plus ou moins rapidement en fonction des activités de l'entreprise ou en fonction de leur nature (un poissonnier renouvelle son stock tous les jours !). Donc, plus le stock tourne vite, plus les coûts de stockage sont faibles et plus l'entreprise réalise des bénéfices.

Le **taux de rotation** du stock est donné par la relation :

$$T_r = \frac{\text{Consommation sur 12 mois}}{\text{Quantité moyenne en stock}}$$

La **durée de stockage** est alors $D_S = 360.T_r$ en jours, ou $D_S = 12.T_r$ en mois.

Exemple : on a un stock moyen de 500 articles qui alimente une consommation annuelle de 4000 articles. Le taux de rotation est donc :

$$T_r = \frac{4000}{500} = 8$$

Le stock « tourne » donc 8 fois. Jusqu'à une certaine limite, plus le taux est élevé, meilleure est la gestion du stock.

B - Taux de couverture

C'est le rapport entre la quantité moyenne en stock et les consommations annuelles. C'est donc l'inverse du taux de rotation.

$$T_c = \frac{\text{Quantité moyenne en stock}}{\text{Consommation sur 12 mois}}$$

Il est mesuré normalement en année, mais il reste plus « parlant » en jours. Reprenons notre exemple :

- on a une consommation annuelle de 4000 articles et un stock moyen de 500 ;
- le besoin journalier est de $\frac{4000}{365} = 10,96$ articles/jour ;
- pour un stock moyen de 500 articles, la couverture aura pour valeur $\frac{500}{10,96} = 45$ jours, ce qui signifie qu'on peut tenir 45 jours sans risque de rupture.

2.4 - Obsolescence

Les articles en stock se dégradent, disparaissent ou sont périmés au bout d'un certain temps. La quantité perdue de ces articles est une exponentielle fonction du temps $q = a^t$. En règle générale, on prend $a = 107$ et t varie par période de réapprovisionnement :

- 1 à 24 mois pour les pièces mécaniques et les composants électroniques,
- 1 à 365 jours pour des produits organiques.

2.5 – Surveillance d'un stock

2.51 – Notion d'inventaire permanent

A) Définition

L'**inventaire comptable permanent** est une organisation de comptes de stock qui, par l'enregistrement des mouvements, **permet de connaître de façon constante**, en cours d'exercice, **les existants** chiffrés en quantités et en valeurs (PCG : Plan Comptable Général).

Cette notion s'oppose à celle d'**inventaire intermittent** qui nécessite une étude périodique des stocks pour en connaître le niveau et la valeur. C'est le cas de l'inventaire physique effectué en fin d'exercice pour les besoins de la comptabilité générale. Légalement, l'inventaire comptable doit être réalisé au moins **une fois** par an.

B) Fiche de stocks

Elle n'est pas standardisée, chaque entreprise étant libre de la mettre au point. La figure ci-dessous donne un exemple courant de fiche de stock.

Date	Libellé	Entrées			Sorties			Stocks		
		Q.	P.U.	Total	Q.	P.U.	Total	Q.	P.U.	Total

Figure 2.8 – Exemple de fiche de stock

2.52 – Evaluation des entrées

Quel que soit le produit considéré, il importe d'abord de reprendre au débit du compte le stock initial, avec son montant provenant de l'inventaire fait par la comptabilité générale à la fin de la période précédente. Ensuite deux cas sont à considérer.

1. Produits achetés : au fur et à mesure des achats et des entrées en magasin, le compte correspondant de stock est débité des coûts d'achat calculés.
2. Produits fabriqués : les comptes de stocks de produits fabriqués par l'entreprise sont débités des coûts de production

2.53 – Evaluation des sorties

Les entrées successives peuvent avoir des valeurs différentes. C'est le cas notamment pour les produits achetés lorsque les prix d'achat fluctuent entre deux entrées.

Il faut pouvoir évaluer les sorties portées aux crédits des comptes de stock lorsque les produits sont utilisés et que l'on veut déterminer les coûts.

Exemple : Pour une fabrication, on a constitué un stock de matières premières X en deux commandes :

- la première, de 500 m a coûté 4 DTu,
- la deuxième, de 800 m, a coûté 5,8 DTu.

On utilise le premier mois de fabrication 700 m de matières. A quel coût faut-il les compter ?

Plusieurs méthodes peuvent être employées pour évaluer ces sorties.

2.54 – Les différentes méthodes de tenue de fiches de stock

Les entreprises sont libres d'utiliser l'une des méthodes énoncées ci-dessous mais elles ne peuvent pas en changer durant la même année comptable.

A) Coût moyen unitaire pondéré périodique (CMUPP)

A1 - Principe

Les sorties sont évaluées au coût moyen des entrées, stock initial inclus. Elles le sont toutes au même coût unitaire donné par la formule :

$$\text{CMUPP} = \frac{\text{Valeur du stock initial} + \text{valeur des entrées}}{\text{Quantité en stock initial} + \text{quantités entrées}}$$

Ce calcul est fait pour une période, souvent le mois. Le Plan comptable Général demande que cette période n'excède pas la durée moyenne de stockage. Durant la période, on enregistre les entrées en quantité. Ces dernières sont valorisées en fin de période par le calcul des coûts du stade précédent. Les sorties et le stock final ne sont valorisés et connus qu'en fin de période.

A2 - Critiques

Les calculs sont simples dans cette méthode mais sont forcément tous effectués au même moment. Elle est couramment utilisée en pratique.

B) Premier entré, premier sorti (PEPS)**B1 - Principe**

Dans cette méthode également appelée FIFO (First In, First Out), chaque lot entré est fictivement individualisé. Les sorties sont ensuite valorisées en épuisant les lots en stock du plus ancien au plus récent.

B2 - Critiques

Elle suppose qu'on connaît séparément le coût de chaque entrée, ce qui est assez théorique en dehors des valorisations de matière première aux prix d'achat quand les frais d'approvisionnement peuvent être tenus pour négligeables. Une méthode simplifiée consisterait à considérer que l'ensemble des entrées d'un mois représente un lot et que toutes les sorties sont faites en fin de mois. Elle conduit à valoriser les sorties à des coûts qui peuvent être anciens et à valoriser les stocks finals à des coûts récents.

C) Coût moyen unitaire pondéré après chaque entrée (CMUP)

On le trouve aussi sous l'appellation PUMP = Prix Moyen Unitaire Pondéré.

C1 - Principe

On calcule un coût moyen unitaire pondéré après chaque entrée et, entre deux entrées, toutes les sorties sont évaluées au dernier coût moyen calculé.

$$\text{CMUP} = \frac{\text{Valeur du stock avant l'entrée} + \text{valeur de l'entrée}}{\text{Quantité en stock avant l'entrée} + \text{quantité entrée}}$$

C2 - Critiques

Cette méthode suit l'évolution des prix et des coûts de très près et a l'avantage de répartir les calculs tout au long de la période de calcul. Elle est difficile à mettre en œuvre car elle n'est possible que si on connaît le coût de chaque lot entré immédiatement. Elle exige en outre des calculs longs et fastidieux, mais l'informatique peut les faciliter. Ce sera le cas avec une GMAO pour gérer le stock maintenance.

2.6 - Cadence d'approvisionnement

Elle représente le nombre de commandes N à passer pendant la période de référence. Elle est déterminée pour réduire au maximum le coût total de stock. Les modèles utilisés sont très nombreux, ils varient selon la nature des stocks, la situation dans laquelle ils se trouvent (certitude, incertitude...). La cadence obtenue « mathématiquement » doit être adaptée à la réalité pour ne pas conduire à des impossibilités (volume de livraison ou de stock inadapté aux aires de stockage...), voire même à des absurdités :

- nombre de commandes trop faible (par exemple, on imagine ce que pourrait être le stock d'un mareyeur qui commanderait du poisson frais deux fois dans l'année!..),
- nombre de commandes trop élevé (par exemple 500 dans l'année, ce qui fait 3 commandes en moyenne tous les deux jours !..).

La stratégie de commande consiste à répondre aux deux questions suivantes :

- à quelle date faut-il commander ?
- combien de pièces faut-il commander ?

Comme les dates de commande et les quantités commandées peuvent être fixes ou variables, on a quatre stratégies possibles (figure 2.9).

Date	Quantité	
	Fixe	Variable
Fixe	1	2
Variable	3	4

Figure 2.9 – Stratégies de réapprovisionnement

Les méthodes 1, 2 et 3 sont très générales, alors que la méthode est plus spécifique à la maintenance.

2.61 – Méthode 1 : plan d'approvisionnement

La méthode 1 est la plus simple et est applicable aux articles de faible valeur et de consommation régulière. En maintenance, c'est le cas de la petite quincaillerie. En règle générale, on passe commande selon un échéancier régulier (par exemple le premier du mois). La quantité commandée est estimée à partir des commandes précédentes (moyenne statistique) et affinée progressivement, ou alors calculée par « quantité économique » (voir méthode suivante).

Cette méthode, appelée « plan d'approvisionnement » a l'avantage de regrouper les commandes destinées à un même fournisseur, ce qui a pour effet de limiter le C_{LC} , d'offrir des opportunités de remise et de simplifier l'organisation. Mais, bien que la date de commande ne soit pas liée à l'état du stock, il faut néanmoins s'assurer que l'on n'entame pas le stock de sécurité sous peine de risque de rupture.

2.62 – Méthode 2 : gestion calendaire

Cette méthode est bien adaptée à des articles de faible coût et dont la demande est stable. Cette méthode a été proposée par Wilson. Celui-ci a constaté que, si on commande fréquemment, le stock moyen est plus faible et le coût de possession du stock est moins élevé. Par contre le coût de passation de commande sera plus élevé. L'objectif de la méthode consiste donc à trouver la quantité de pièces à commander afin de minimiser le coût total de stock.

A – Quantité économique de commande

On recherche une quantité optimum, dite « **quantité économique** », à commander (ou un nombre de commandes optimum) de sorte que le coût de stockage soit le plus faible possible. On utilisera les notations suivantes :

- **C** : consommation annuelle du produit commandé
- **u** : prix unitaire du produit
- **t** : taux de possession du stock (coût de possession exprimé en % du coût unitaire)
- **p** : coût de passation d'une commande
- **Q** : quantité à commander

Dans un premier temps et afin de simplifier les calculs, Wilson se place dans le cas idéal d'une consommation régulière et d'un délai d'approvisionnement négligeable. Le coût annuel global correspond à la somme des trois coûts suivants :

- le coût total des achats $C_A = C.u$,
- le coût total de possession $C_{ps} = \frac{Q}{2}.tu$ où $\frac{Q}{2}$ est la valeur moyenne du stock (voir paragraphe 1.32A),
- le coût total de lancement de commande $C_{LC} = p.\frac{C}{Q}$.

Dans ces conditions, le coût global annuel s'écrit $C_G = C.u + \frac{Q}{2}.tu + p.\frac{C}{Q}$. On peut le représenter graphiquement (figure 2.10). Sur ce graphe, nous constatons que le coût global passe par un minimum. Nous pouvons vérifier théoriquement ce fait en calculant sa dérivée par rapport à Q et en vérifiant qu'elle s'annule. Comme celle-ci s'écrit :

$$\frac{dC_G}{dQ} = \frac{tu}{2} - \frac{p.C}{Q^2}$$

on constate qu'elle s'annule si $\frac{tu}{2} - \frac{p.C}{Q^2} = 0$, soit $\frac{Q.tu}{2} = \frac{p.C}{Q}$ ou encore $C_{ps} = C_{LC}$.

On obtient l'optimum lorsque le coût de possession C_{ps} est égal au coût de lancement de commande C_{LC} .

La valeur de Q qui annule la dérivée est appelée « quantité économique de commande » ; elle s'écrit :

$$Q_{eco} = \sqrt{\frac{2C.p}{u.t}}$$

Cette formule est appelée « **formule de Wilson** ».

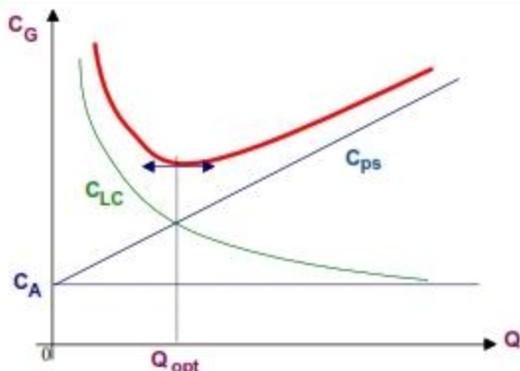


Figure 2.10 – Mise en évidence du coût global minimum

Remarque : La quantité économique de commande peut être remise en cause :

- s'il s'agit de produits périssables,
- si le fournisseur propose des conditions économiques d'achat (rabais ou remise lorsqu'on commande en quantité supérieure).

B – Durée optimale entre deux commandes

Le nombre optimal annuel de commandes est alors donné par $N_{opt} = \frac{C}{Q_{eco}} = \sqrt{\frac{C \cdot u \cdot t}{2p}}$

On en déduit que la durée optimale entre deux commandes est :

$$T_{opt} = \frac{12}{N_{opt}} \text{ (en mois) ou } T_{opt} = \frac{365}{N_{opt}} \text{ (en jours)}$$

2.63 – Méthode 3 : gestion par point de commande

Cette méthode s'applique aux articles à demande fluctuante. Pour cela, on va surveiller régulièrement le stock et on va attendre que celui-ci passe sous un certain niveau pour passer une commande ; c'est la notion d'approvisionnement sur « point de commande ».

Pour réaliser ce type de gestion, il est nécessaire de connaître les principaux paramètres de gestion du stock (figure 2.11) :

- le **stock de sécurité** (N_{min}) représente la consommation pendant le délai moyen de réapprovisionnement d_{map} ;
- le **stock d'alerte** (N_{st}) représente le niveau de stock qui déclenche la commande ;
- le **stock de couverture** (N_{couv}) représente le « supplément » de stock qui permet de faire face à une accélération de la demande ou à un retard de livraison sans prélèvement sur le stock de sécurité ; on a donc $N_{couv} = N_{st} - N_{min}$.

Le stock de sécurité est donc un stock « dormant » en valeur moyenne ; il va donc générer un surcoût de stockage. Le stock de couverture est par contre un stock « vivant », puisqu'il est destiné à couvrir les besoins en cas de surconsommation et/ou augmentation des délais de livraison. On montre que :

$$N_{secul} = K \cdot \sigma \cdot \sqrt{d}$$

Dans cette expression :

- K est une **variable fonction du risque de rupture** que l'on est prêt à accepter ; cela signifie encore qu'elle correspond à un **niveau de service** demandé à la pièce à réapprovisionner ;
- σ est l'**écart-type des sorties de stock**, c'est à dire l'écart-type de la **consommation moyenne** ;
- d est le **délai de livraison**.

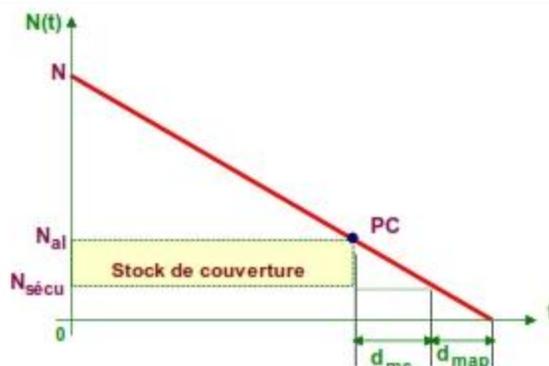


Figure 2.11 – Paramètres d'une gestion de stock

Les variables σ et d doivent s'exprimer dans les mêmes unités. Par exemple si d s'exprime en mois, alors l'écart-type σ est mensuel. On a également :

$$N_{al} = m.d + N_{seu}$$

où m est la moyenne de la loi normale qui modélise la consommation.

La notion de *niveau de service* mérite qu'on s'y arrête un peu. En effet, estimer que l'équipement doit avoir un niveau de service maximum (100%) signifie encore que sa disponibilité doit être optimale, donc que le stock de sécurité doit être suffisamment élevé pour pallier tout risque de défaillance. Inversement si on estime que le niveau de service est faible, c'est à dire que le coût d'indisponibilité est négligeable devant le coût de stockage, alors, il est inutile de constituer un stock de sécurité. On montre que l'expression mathématique du niveau de service d'une pièce de rechange est :

$$N_s = 1 - \frac{tu}{NC_r}$$

Dans cette expression, N est le nombre de commande annuelle, C_r le coût de rupture de stock ou le coût d'indisponibilité du matériel, u le coût unitaire de la pièce et t le taux de possession. A ce niveau de service qu'on exprime souvent en %, correspond une valeur de K . A titre indicatif, le tableau figure 2.12 donne quelques valeurs de K .

Niveau de service (en %)	K
100	3,95
99,99	3,75
99,9	3,09
99,8	2,88
99,7	2,75
99,6	2,65
99,5	2,58
99	2,33
95	1,65
90	1,29
85	1,04
80	0,85
70	0,52
60	0,25
50	0

Figure 2.12 – Identification du risque de rupture

La méthode du point de commande a l'avantage de lier l'approvisionnement à la consommation réelle. Donc, cette méthode offre un maximum de sécurité dans la gestion des stocks. Par contre, comme chaque type de pièce bénéficie d'un suivi particulier, cela entraîne une augmentation des commandes, donc une augmentation du C_{Lc} .

Exemple : on suppose que le coût unitaire d'une pièce est de 94 DTu, que son taux de possession est de 20%, que le nombre annuel de commandes est de 4 et qu'une rupture de stock entraîne un coût d'indisponibilité de 1500 DTu. On a $N_s = 1 - \frac{0,2 \times 94}{4 \times 1500} = 0,997$. On prendra donc $K = 2,75$. Supposons maintenant que le délai de livraison soit de 6 semaines et l'écart-type de la consommation soit de 3 semaines, on a alors $S_{COUV} = 2,75 \times 3 \times \sqrt{6} = 21$.

Remarque : cette méthode n'est valable que si l'on consomme plus de 20 pièces.

2.64 – Méthode 4 : modèle poissonien

Ce modèle s'adapte bien à la gestion des pièces ou matières coûteuses (prix variables). Elle couvre le cas des pièces ou modules de rechange dont la probabilité de défaillance est faible pendant la durée de vie des équipements. On montre que cette probabilité de défaillance suit une loi de Poisson. Les commandes sont alors passées au mieux en fonction des conditions du marché. Chaque article est donc suivi individuellement, ce qui coûte plus cher et n'est donc pas toujours compatible avec la volonté de réduire les coûts de stock.

3 - APPLICATION A LA GESTION DU STOCK MAINTENANCE

Bien qu'un stock coûte de l'argent à l'entreprise, il serait totalement irréaliste de travailler à « stock zéro » en maintenance, car cela supposerait :

- que les défaillances soient périodiques et qu'il suffit de commander la pièce défaillante un peu avant,
- que les délais de livraison soient constants.

Comme il n'en est rien, il sera donc nécessaire de créer un stock maintenance.

Définition : le stock maintenance est l'ensemble des articles stockés, nécessaires à la réalisation optimale de la fonction maintenance, c'est à dire dans les meilleures conditions de délais, de coûts et de sécurité.

Le stock maintenance a un comportement différent de celui du stock d'un négociant ou d'un stock de production : diversité des références, difficulté d'établir des prévisions de consommation, stock sécurité lié très fortement à l'indisponibilité de l'équipement en cause, etc.. Le stock maintenance demande un mode de gestion adapté, car on peut accroître le stock sans nécessité ou sans le vouloir tout simplement parce qu'on emploie les mêmes indicateurs que les autres types de stock :

- taux de rotation calculés sur une trop longue période,
- probabilités de consommation basées sur des formulations mathématiques difficiles à employer (a t-on encore du temps ?),
- gestion au « pifomètre » du stock (après tout, pourquoi pas ?).

En maintenance, la gestion du stock peut s'effectuer autrement, car logiquement, on dispose d'indicateurs suffisants issus des historiques de machines. Ce stock est constitué, selon la politique de maintenance de l'entreprise, par des articles appartenant à la nomenclature des biens à maintenir, selon le niveau de maintenance défini par l'entreprise, et par les outils et équipements nécessaires à la réalisation des travaux de maintenance. Ce stock exclut donc les outillages de fabrication. Pour gérer ce stock, on peut appliquer quatre méthodes :

- standardisation des équipements,
- gestion des pièces « mouvementées »,
- gestion des pièces de sécurité,
- politique de cannibalisation.

3.1 – Standardisation des équipements

La standardisation des équipements permet de limiter les quantités de pièces en stock. En effet, la théorie de la gestion des stocks montre que, dans le cas de N équipements identiques, le stock nécessaire est égal à celui d'un équipement unique majoré de \sqrt{N} .

Exemple : on dispose de 9 machines identiques ; le stock correspond seulement à 3 fois le stock relatif à une machine.

L'intérêt de la standardisation est donc certain. Une bonne politique de gestion des équipements commence toujours par une étude de standardisation. Le responsable maintenance doit toujours l'avoir en tête.

3.2 – Gestion des pièces mouvementées

Les pièces mouvementées sont des pièces de rechange utilisées couramment (pièces de fonctionnement et pièces d'usure).

Rappels :

- une pièce de rechange est dite **pièce de fonctionnement** lorsqu'elle fait partie d'un matériel et que, pendant la durée de vie normale de ce matériel, elle est appelée à subir des détériorations prévisibles nécessitant une remise en état ou un remplacement. Par détérioration prévisible, on entend ici l'abrasion, la corrosion, le vieillissement, la fatigue, etc.. C'est la notion de module de rechange.
- une pièce de rechange est dite **pièce d'usure** si elle est conçue pour recevoir seule ou en priorité les détériorations énoncées ci-dessus.

Les pièces d'usure font l'objet le plus souvent d'une maintenance préventive systématique, mais une maintenance conditionnelle peut aider à diminuer les coûts. Leur demande est assez constante. Les pièces de fonctionnement doivent faire l'objet de surveillance, leur remplacement étant souvent programmé lors de révision ou rénovation. Leur demande est plus fluctuante.

Il est clair que les méthodes 2 et 3, explicitées précédemment sont particulièrement bien adaptées à la gestion des pièces mouvementées.

3.3 – Gestion du stock de pièces de sécurité

Ce sont les pièces de fonctionnement dont le risque de défaillance pendant la durée de vie de l'équipement est faible, mais non négligeable, et dont la défaillance entraînerait un coût d'indisponibilité très supérieur au coût de la pièce elle-même. Ce sont donc des pièces stratégiques. A titre d'exemple, pour une automobile usuelle, le bloc allumage électronique est une pièce de sécurité dans la mesure où une défaillance provoque l'impossibilité de démarrer. Pourtant, peu de propriétaires d'automobile ont cette pièce à disposition.

La probabilité de non-rupture de stock suit une loi de Poisson, car la demande de pièce de rechange est faible (la loi Normale est plus représentative des demandes fortes). Tout le problème consiste à déterminer la pertinence d'un stock de pièces de sécurité. Pour cela, on va prendre en compte les données suivantes :

- $P(N)$ = probabilité d'avoir une défaillance pendant N années de vie,
- t = taux de possession
- u = coût unitaire d'achat
- r = coût de remplacement
- Cl = coût d'indisponibilité

En fonction de ces données, on peut déterminer les coûts relatifs à chaque situation. Elles sont regroupées dans le tableau figure 2.13.

	Pas de stock Coût de la défaillance	Stockage de la pièce Coût de stockage
Pas d'avarie - Probabilité = $1 - P(N)$	0	$u.(1 + tN)$
Une avarie Probabilité = $P(N)$	$u + r + Cl$	$u.(1 + tN) + u + r$
Espérance mathématique de coût	$P(N).(u + r + Cl)$	$u.(1 + tN) + P(N)(u + r)$

Figure 2.13 – Evaluation de la pertinence de stockage d'une pièce sécurité

Pour déterminer la meilleure solution, on compare :

- l'espérance mathématique du coût d'indisponibilité $P(N).Cl$,

- le coût de stockage de la pièce $u.(1+tN)$.

Donc si $P(N).CI > u.(1+tN)$, alors il sera très pertinent d'avoir la pièce en stock. Dans le cas contraire, il sera inutile de l'acheter. On trouve en pratique des abaques permettant de déterminer le nombre de pièces de rechange à stocker (figure 2.14).

3.4 – Politique de cannibalisation

Cette politique s'applique dans le cas d'équipements dont le parc diminue dans le temps : c'est le cas du remplacement progressif de machines par d'autres plus récentes et plus rapides. Le principe de cannibalisation consiste à réparer les machines anciennes mais en fonctionnement avec des pièces de celles qui ont été rebutées.

Cette façon de travailler à l'avantage de réduire les coûts de maintenance pour les équipements anciens ainsi que les coûts de stockage. Le point fort de cette méthode réside dans le fait que les pièces de machines anciennes sont toujours très difficiles à obtenir, il n'y qu'à prendre comme exemple les automobiles qui ont au moins 20 ans d'âge.

3.5 – Gestion du magasin

Quelques remarques de bon sens :

- pour assurer un bon rangement, il est nécessaire que les aires de circulation représentent 60% de la surface du magasin ;
- le plan de stockage doit être tenu à jour : le MDT en sera d'autant plus faible ;
- le conditionnement d'origine doit être conservé ;
- d'une manière générale, les pièces doivent être conservées dans les endroits qui leur conviennent ;
- un inventaire est obligatoire une fois par exercice comptable.

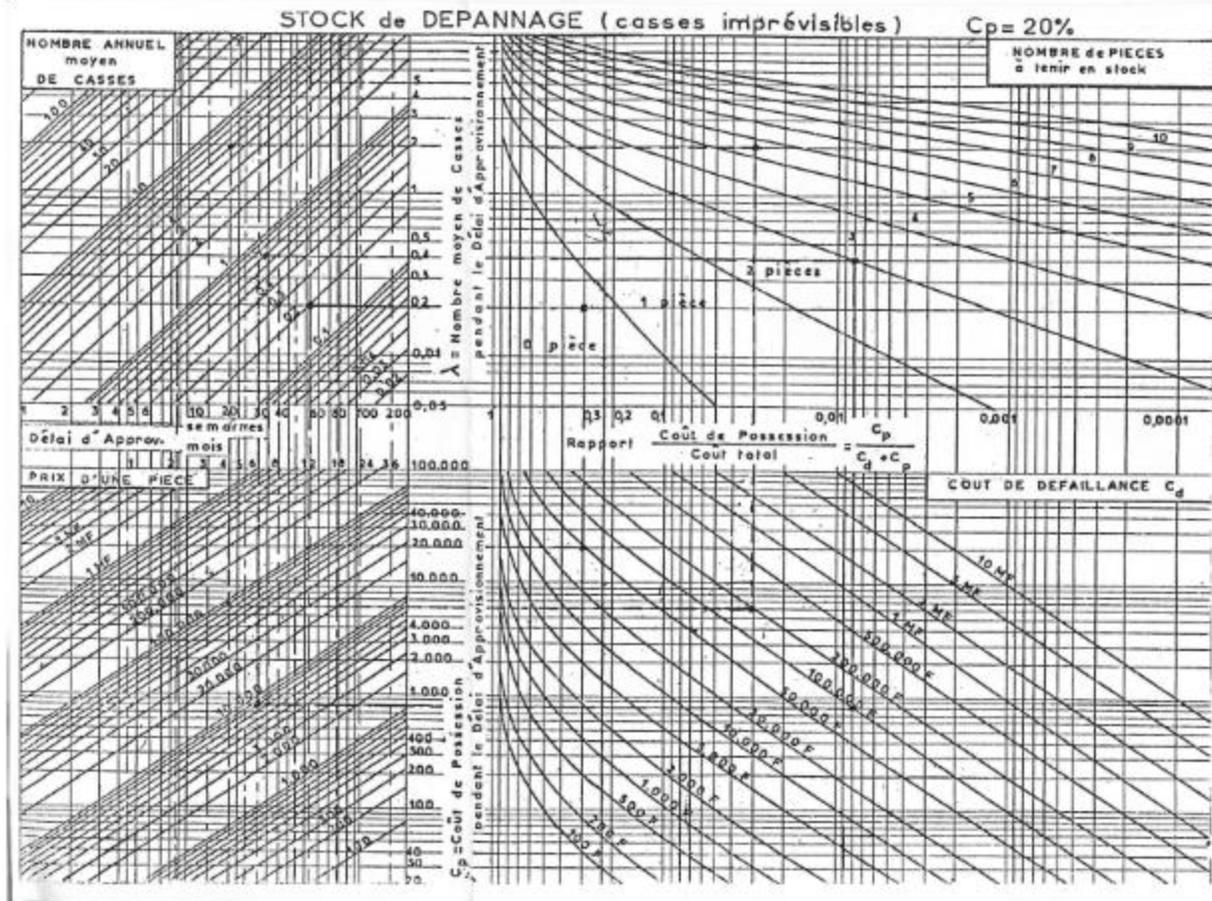


Figure 2.14 – Abaque de création d'un stock de pièces de sécurité ($t = 20\%$)