

Chapitre N°02 Les modules de base de la GMAO

Introduction

Tous les logiciels de GMAO ont en commun la même structure modulaire proposant les mêmes fonctions. Mais, selon les logiciels, les fonctions remplies sont diversement dénommées, diversement réparties et diversement organisées.

Dans les bureaux techniques d'une entreprise (méthodes, ordonnancement, logistique et travaux neufs), on pourra effectuer la gestion par exploitation des 10 modules suivants:

II.1 Module "gestion des équipements"

Il s'agit de décrire et de coder l'arborescence du découpage allant de l'ensemble du parc à maintenir aux équipements identifiés et caractérisés par leur DTE (dossier technique d'équipement) et leur historique, puis à leur propre découpage fonctionnel.

II.2 Module "gestion du suivi opérationnel des équipements"

Ce module permettra de suivre les performances d'un équipement à partir des indicateurs de fiabilité, de maintenabilité, de disponibilité.

II.3 Module "gestion des interventions"

Ce module doit permettre un enregistrement rapide de la durée, de la localisation, et de la nature d'une intervention.

II.4 Module "gestion du préventif"

Ce module doit permettre de gérer la maintenance systématique à travers un planning calendaire par équipement, les dates doivent être déterminées à partir d'un relevé de compteur (ou d'une mesure dans le cas de la maintenance conditionnelle). Ce qui fait que le déclenchement sera automatique, par listing hebdomadaire des opérations prévues dans la semaine. Chaque opération sera prévue par sa gamme préventive.

II.5 Module "gestion des stocks"

Le système repose sur le fichier des articles en magasin comprenant les "lots de maintenance" par équipement et sur les mouvements entrées/sorties du magasin.

II.6 Module "gestion des approvisionnements et des achats"

Les caractéristiques de la fonction de maintenance sont beaucoup de références et de fournisseurs pour des quantités faibles et des délais courts. Ce module doit permettre la gestion des achats.

II.7 Module "analyse des défaillances"

La base de ce module est constituée des historiques automatiquement alimentés par chaque saisie de BT (bons de travaux) ou OT (ordre de travaux). Ce qui permet une analyse quantitative ou qualitative des défaillances.

II.8 Module "budget et suivi des dépenses"

L'objectif de ce module est le suivi de l'évolution des dépenses par activité dans un budget donné.

II.9 Module "gestion des ressources humaines"

Spécifiquement adapté au service maintenance, ce module sera principalement une aide à l'ordonnancement.

II.10 Module "tableaux de bord et statistiques"

Les tableaux de bord concernent la mise en forme de tous les indicateurs techniques, économiques, et sociaux sélectionnés pour assurer la gestion et le management du service maintenance.

La fonction ordonnancement

1. La fonction ordonnancement

C'est la fonction de l'entreprise chargée de gérer les temps d'activités. En effet, elle occupe une position chronologique dans le déroulement d'une intervention entre les méthodes et la réalisation; La fonction méthode affecte une durée de travail pour une tâche: c'est le temps alloué, la fonction ordonnancement planifie cette tâche, c'est à dire l'heure (**h**) du jour (**J**) où elle doit débiter et la fonction réalisation, au moment choisi par l'ordonnancement, suivant les prescriptions des méthodes, la met en œuvre.

L'ordonnancement utilise un vocabulaire spécifique qu'il est indispensable de définir avant d'aborder les méthodes à utiliser pour gérer les activités de maintenance. La gestion des stocks et le magasin pourront être rattachés à l'ordonnancement quand ils font partie des responsabilités du service maintenance.

L'ordonnancement est chargée de :

- Calculer l'ensemble des besoins en main-d'œuvre ;
- Répartir le personnel en fonction des délais ;
- S'engager sur des délais ;
- Suivre l'avancement des travaux ;
- Planifier le préventif ;
- Contrôler et regrouper les informations ;
- S'assurer de la présence de stocks.

La figure ci-dessous montre que l'ordonnancement fait la comparaison entre les besoins et les moyens.

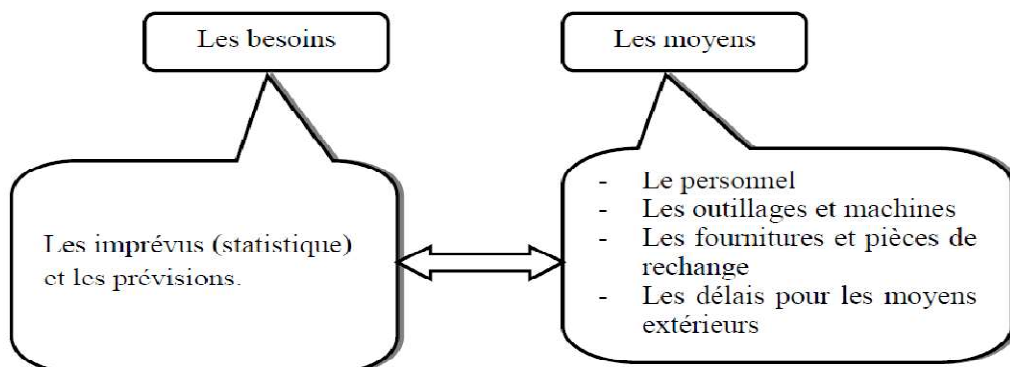


Figure 1. La relation entre les besoins et les moyens de la fonction ordonnancement.

2. Terminologies de l'ordonnancement

2.1 Capacité de charge

Elle est estimée par le potentiel d'heures qu'une équipe représente, dans les horaires normaux de travail. C'est une valeur facile à estimer et sensiblement constante.

Exemple : 12 ouvriers représentent une capacité de charge de $12 \times 35 \text{ h} = 420$ heures par semaine.

2.2 Charge

Elle est matérialisée par le cumul des temps prévus affectés à une équipe (ou un technicien) pour une période de temps de référence nommée unité d'ordonnancement.

2.3 Surcharge

Elle se manifeste quand la charge est supérieure à la capacité (sureffectifs).

2.4 Sous-charge

Elle se manifeste quand la charge est inférieure à la capacité (sous-effectifs).

2.5 Tâche

Il faut signaler que la tâche est le déroulement dans le temps d'une action; elle permet au projet d'avancer vers son état final. On attribue une lettre à chaque tâche afin d'alléger le schéma. La tâche a des propriétés d'ordre temporel qui qualifient le temps de réalisation : la durée, exprimée en minutes ou bien heures, jours, semaines, mois, etc.

En maintenance, c'est une intervention caractérisée par une durée propre, estimée par les méthodes, et portée sur l'ordre de travail. La situation dans le temps de cette tâche entraîne la définition des termes suivants :

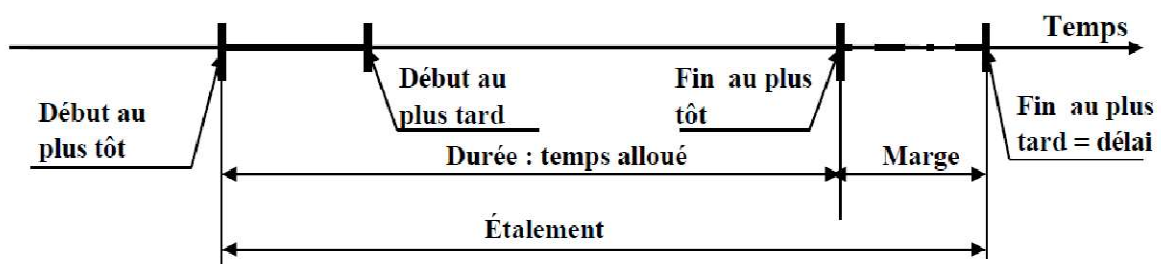


Figure 2 .Représentation d'une tâche.

2.6 Projet

C'est un ensemble de tâches ; chaque tâche étant une phase, c'est à dire un élément de décomposition du projet auquel les méthodes ont affecté une durée propre.

Exemples : révision annuelle d'un process, arrêt d'une tranche de centrale nucléaire,...

2.7 Chemin critique

C'est l'ensemble des tâches « en série » qui conditionnent la durée totale d'un projet.

4.2.8 Délai

C'est une contrainte technique ou commerciale s'appliquant à l'achèvement d'une tâche (fin au plus tard) ou d'un projet.

3 Les 5 niveaux d'ordonnancement

3.1 1^{er} niveau : prévisions à long terme

Il correspond à la notion de « plan de charge » et se situe à un horizon compris entre 1 et 5 ans. Les prévisions concernent la direction et sa politique ; elles permettent, en fonction des prévisions économiques de l'entreprise, de prévoir globalement une charge de travail ; donc du personnel et des investissements en matériels. Ces prévisions impliquent la définition d'une politique de maintenance adaptée à ces investissements.

3.2 2^{ème} niveau : prévisions à moyen terme

La période qui se situe entre 1 à 12 mois concerne précisément le bureau d'ordonnancement. Cette période est caractérisé par :

- L'enregistrement des commandes;
- La possibilité d'avoir un planning des charges mensuelles
- L'approvisionnement des stocks est lancé, ainsi que les pièces et les outillages à fabriquer ou à modifier.

3.3 3^{ème} niveau : le lancement (prévisions à court terme)

Il concerne le bureau de lancement, charnière entre la prévision et l'exécution. Il gère le « planning de lancement » et déclenche la mise à disposition du chef d'équipe des matières et des outillages, ainsi que des préparations des méthodes et des procédures de sécurité (consignations).

3.4 4^{ème} niveau : répartition du travail (futur immédiat)

C'est la mise en main, par le chef d'équipe, des tous les éléments permettant aux exécutants de faire le travail dans les conditions de temps, qualité et sécurité prévues.

3.5 5^{ème} niveau : contrôle de l'avancement

Le respect des délais nécessite un contrôle permanent de l'avancement des travaux, une étude des écarts par rapport aux prévisions et une adaptation éventuelle.

4. Ordonnancement par la méthode de GANTT

4.1 Mission et rôle de la méthode de GANTT

Un projet comporte un nombre de tâches plus ou moins grand à réaliser dans les délais accordés et selon un agencement bien déterminé. Le diagramme de GANTT est un outil permettant de planifier le projet et de rendre plus simple le suivi de son avancement.

Il faut noter que le diagramme de GANTT est un planning présentant une liste de tâches en colonne et en abscisse l'échelle de temps retenue. La mise en œuvre de technique de planification nécessite que les tâches soient identifiées, quantifiées en termes de délais, de charges ou de ressources et que la logique de l'ensemble des tâches ait été analysée.

Afin de mener à bien la réalisation de cet outil, il faut donc procéder comme suit :

- Déterminer et structurer la liste des tâches à réaliser;
- Estimer les durées et les ressources: il faut remplir un tableau présentant, pour chaque tâche, la durée de celle-ci et les ressources affectées (matériels et personnels). L'unité de temps pour exprimer la durée est fonction du type du projet réalisé. Elle peut aller de la minute à l'année ;
- Réaliser le réseau logique: le réseau doit reprendre les hypothèses de priorités des tâches. Il se présente souvent sous la forme de tâches reliées entre elles par des liens logiques. Pour chaque tâche, il est primordial de trouver les relations d'antécédence et de succession. Une fois le réseau tracé, on retrouvera la chronologie du projet ;
- Tracer le diagramme de GANTT: avec en abscisse l'échelle de temps et en ordonnée la liste des tâches, il faut tracer un rectangle d'une longueur proportionnelle à sa durée, le tout suivant la logique d'ordre d'exécution du réseau. Il peut apparaître des tâches se réalisant pendant la même période. En effet, c'est un peu le but recherché car plus les tâches pourront se faire simultanément, plus la durée du projet sera courte et plus le coût du projet risque de baisser. Il faut toutefois vérifier la disponibilité des ressources en regardant dans le tableau d'affectation, les ressources utilisées plusieurs fois.

4.2 Exemple de représentation GANTT

On cherche dans cet exemple à ordonnancer la réalisation des 5 tâches d'un projet ayant les caractéristiques suivantes :

Tâche	Tâche antérieure	Durée (j)
A	aucune	3
B	A	6
C	B	4
D	A	7
E	D	5

Tableau 1 Tableau des antécédents des tâches.

Le diagramme de GANTT se présente sous forme d'un tableau quadrillé où chaque colonne correspond à une unité de temps et chaque ligne à une opération à réaliser.

On définit une barre horizontale pour chaque tâche, la longueur de celle-ci correspondant à la durée de la tâche. La situation de la barre sur le graphique est fonction des liens entre les différentes tâches.

Tâche \ Temps	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A															
B															
C															
D															
E															

Tableau 2 Diagramme de Gantt du projet.

5 Ordonnancement par la méthode PERT

5.1 Mission et rôle de la méthode PERT

La méthode PERT est une méthode de gestion du projet visant à prévoir les propriétés d'un projet en termes de temps, délais et coûts.

Il a pour but de découper un projet en un ensemble d'actions appelées tâches et de les représenter sous forme graphique selon un graphe de dépendances.

Il est important de signaler que, grâce à la chronologie et l'interdépendance de chacune des tâches, on structure ainsi l'ensemble du projet et on peut alors planifier la réalisation de chacune des tâches les unes par rapport aux autres, afin de minimiser les délais, ainsi que réduire l'impact des retards lors de l'exécution de différentes tâches.

Exemple : Changer un pneu crevé d'une roue, les tâches sont données par le tableau suivant.

Tâche	Tâche antérieure	Durée (min)
A	aucune	5
B	A	3
C	B	1
D	C	4
E	D	3

Tableau 3 Tableau des antériorités des tâches.

Exprimée grâce à la méthode PERT, ce projet prendra la forme suivante :

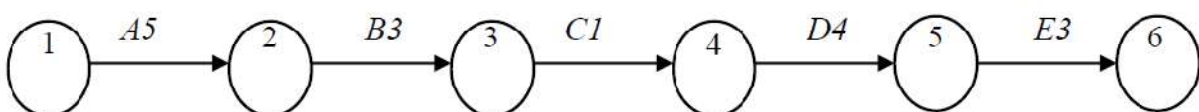


Figure 3 Exemple de représentation d'un projet suivant la méthode PERT.

5.2 Les éléments constitutifs du réseau PERT

5.2.1 Tâche

La tâche via la méthode PERT est représentée par une flèche, précisée par son nom et sa durée.

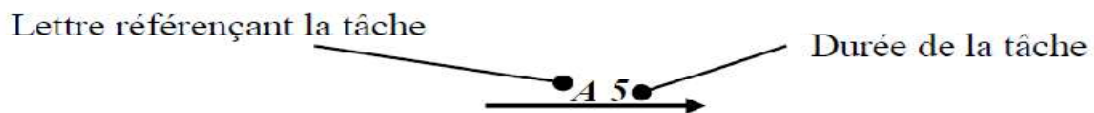


Figure 4 Représentation d'une tâche.

Une tâche ne peut être représentée qu'une seule fois ; inversement, une flèche ne peut représenter qu'une seule tâche. La longueur, la courbure et la forme des flèches sont sans signification particulière.

5.2.2 Étape

Une étape indique le début et la fin d'une tâche. On numérote les étapes afin de clarifier le schéma. L'étape a des propriétés d'ordre temporel : dates au plus tôt et au plus tard, exprimées en minutes, heures, etc.

Exprimée via la méthode PERT, une étape est représentée par un rond, découpé en 3 zones, précisé par son numéro, ainsi que ses dates au plus tôt et au plus tard.

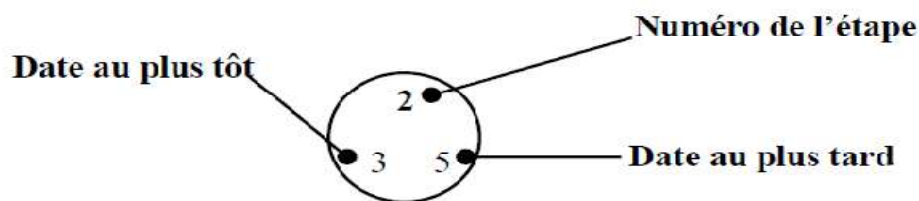


Figure 5 Représentation d'une étape.

La date au plus tôt est le délai minimum, depuis le début du projet, nécessaire pour atteindre l'étape considérée.

La date au plus tard est la date maximum, depuis le début du projet, à laquelle doit être atteinte l'étape considérée pour que le délai de l'ensemble du projet ne soit pas modifié.

5.2.3 Réseau

Il faut noter qu'un réseau est l'ensemble des tâches et des étapes formant l'intégralité de la planification du projet.

Deux tâches qui se succèdent immédiatement dans le temps sont représentées par deux flèches qui se suivent séparées par une étape.

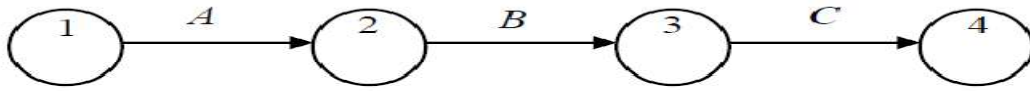


Figure 6 Représentation d'un réseau PERT.

5.2.4 Règle de représentation graphique

Un réseau possède toujours une seule étape de début ainsi qu'une seule étape de fin.

Toute tâche a au moins une étape de début et au moins une étape de fin; une tâche ne peut démarrer que si la tâche qui la précède est terminée.

On ne peut pas avoir 2 tâches différentes qui ont à la fois même étape de début et même étape de fin.

Deux tâches qui commencent en même temps et s'exécutent en même temps sont dites simultanées, et sont représentées chacune par un flèche dont le point de départ est une seule et possédant même étape.

Exemple :

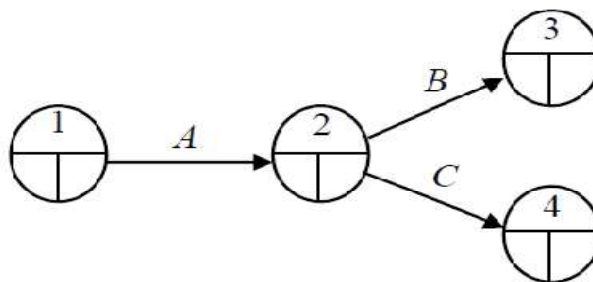


Figure 7. Représentation de tâches simultanées.

Les tâches B et C sont simultanées et suivent la tâche A : B et C ne pourront débuter que lorsque A sera complètement achevée.

Remarque : Évidemment, ce principe peut s'appliquer à plus de 2 tâches simultanées.

Deux tâches qui s'exécutent en même temps et s'achèvent en même temps, sont dites convergentes et sont représentées chacune par une flèche dont le point d'arrivée est une seule et même étape.

Exemple :

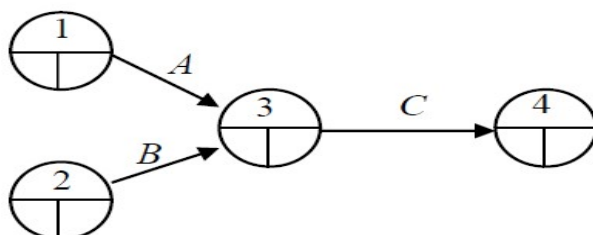


Figure 8 Représentation de tâches convergentes.

Les tâches A et B sont convergentes et précèdent la tâche C : C ne pourra débiter que lorsque A et B seront complètement achevées.

Remarque : Ce principe peut bien évidemment s'appliquer à plus de 2 tâches convergentes.

Lorsque deux tâches convergentes précèdent une ou plusieurs tâches en commun, et que l'une de ces deux tâches convergentes précède également une tâche (ou plusieurs) que l'autre tâche convergente ne précède pas, il est nécessaire d'avoir recours à une tâche fictive.

L'intérêt de la tâche fictive est de préciser la dépendance chronologique qu'il existe entre certaines tâches de manière qualitative (avant/après) mais pas de manière quantitative : elle possède donc une durée qui est considérée comme nulle, et n'induit aucun retard sur le délai final.

Une tâche fictive est représentée par une flèche à trait pointillé, sans aucune indication de lettre (ou nom) et de durée.

Exemple :

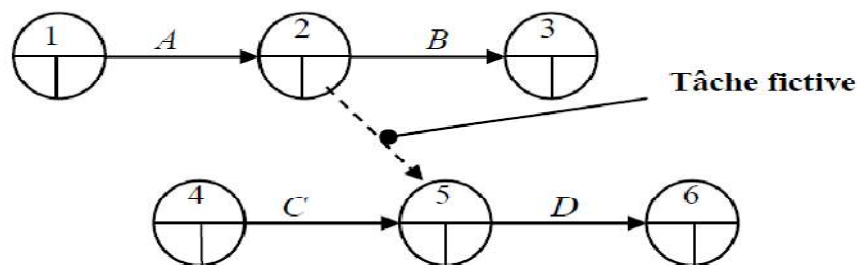


Figure 9. Représentation d'une tâche fictive.

Les tâches A et C sont convergentes et précèdent la tâche D. C ne précède que D, mais, en revanche, A précède non seulement D, mais aussi B. On précise alors cette dernière condition à l'aide d'une tâche fictive.

6. Étude d'un exemple: planification via la méthode PERT

6.1 Construction d'un réseau PERT

La construction d'un réseau PERT, et son exploitation, supposent d'effectuer les étapes suivantes :

1. Déterminer la liste des tâches nécessaires à la réalisation du projet et estimer leur durée ;
2. Déterminer les dépendances logiques entre les tâches ;
3. Dessiner le diagramme PERT : mise à niveau plus la construction du graphe PERT ;
4. Calculer pour chaque nœud la date au plus tôt
5. Repartir de la date finale et calculer pour chaque nœud la date au plus tard ;
6. Définir le chemin critique.

6.2 Contraintes d'antériorité des tâches

L'analyse du projet et de l'ensemble des tâches le constituant nous amène à définir les relations chronologiques d'antériorité des tâches; ces résultats sont regroupés dans le tableau suivant, dans la colonne tâche(s) antérieure(s) :

Tâche	Tâche(s) antérieure(s)	Durée
A	Aucune(s)	3
B	A	1
C	A	5
D	B	6
E	B	4
F	C, I, D	2
G	E, F	9
H	Aucune(s)	5
I	H	8
J	H	2
K	I	3
L	J, K	7

Tableau 4 Liste des tâches et des tâches antérieures.

6.3 Construire le graphe du réseau PERT par l'approche cartésienne

On pourrait partir directement du réseau PERT, mais l'utilisation de l'approche cartésienne permet d'être plus général dans l'établissement des chronologies et ainsi de faciliter l'élaboration du calendrier des tâches.

On utilise l'approche cartésienne pour l'élaboration du diagramme de PERT, on commence par la construction du tableau de gestion d'avancement des tâches; celui-ci reprend, dans un premier temps, les informations de tâche(s) antérieure(s) par rapport à la tâche courante. Puis il va nous permettre de définir des niveaux d'antériorité au sein de l'ensemble des tâches du projet. Enfin, il nous permettra de mettre en place le planning.

		<i>Il faut avoir terminé la ou les tâche(s)</i>											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
<i>Pour réaliser la tâche</i>	A												
	B	×											
	C	×											
	D		×										
	E		×										
	F			×	×					×			
	G					×	×						
	H												
	I								×				
	J								×				
	K									×			
	L										×	×	

Tableau 5 Tableau de gestion d'avancement des tâches (niveau 0).

On précise les rapports d'antériorité en renseignant le tableau suivant la règle *Pour réaliser la tâche ... il faut avoir réalisé la ou les tâche(s) ...*. Puis on détermine le nombre de tâches antérieures à la tâche considérée et on indique donc dans la colonne ni le nombre de croix de chacune des lignes.

Une valeur de 0 spécifie donc que la tâche concernée n'a pas ou plus de tâches antérieures qui n'ont pas été exécutées et qu'elle peut donc démarrer.

		<i>Il faut avoir terminé la ou les tâche(s)</i>												
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	n1
<i>Pour réaliser la tâche</i>	A													<i>0</i>
	B	x												<i>1</i>
	C	x												<i>1</i>
	D		x											<i>1</i>
	E		x											<i>1</i>
	F			x	x					x				<i>3</i>
	G					x	x							<i>2</i>
	H													<i>0</i>
	I								x					<i>1</i>
	J								x					<i>1</i>
	K									x				<i>1</i>
	L										x	x		<i>2</i>

Tableau 6 Tableau de gestion d'avancement des tâches (niveau 1).

Ici, les tâches A et H n'ont pas d'antécédents, elles pourront donc démarrer au niveau d'antériorité n1.

Ensuite, ayant déterminé quelles sont les tâches pouvant démarrer à ce niveau d'antériorité, on va éliminer celles-ci du tableau en barrant les colonnes correspondantes. On va alors introduire le niveau d'antériorité suivant, et réitérer le processus de comptage de tâches antérieures; et ce ainsi de suite jusqu'à avoir traité toutes les tâches.

		<i>Il faut avoir terminé la ou les tâche(s)</i>													
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	n1	n2
<i>Pour réaliser la tâche</i>	A													0	
	B	x												1	0
	C	x												1	0
	D		x											1	1
	E		x											1	1
	F			x	x					x				3	3
	G					x	x							2	2
	H													0	
	I								x					1	0
	J								x					1	0
	K									x				1	1
	L										x	x		2	2

Tableau 4.7 Tableau de gestion d'avancement des tâches (niveau 2).

Les tâches B, C, I et J démarrent au niveau n2.

		<i>Il faut avoir terminé la ou les tâche(s)</i>												n1	n2	n3
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L			
<i>Pour réaliser la tâche</i>	A													0		
	B	x												1	0	
	C	x												1	0	
	D		x											1	1	0
	E		x											1	1	0
	F			x	x					x				3	3	1
	G					x	x							2	2	2
	H													0		
	I								x					1	0	
	J								x					1	0	
	K									x				1	1	0
	L										x	x		2	2	1

Tableau 8 Tableau de gestion d'avancement des tâches (niveau 3)

Les tâches D, E et K démarrent au niveau n3.

		Il faut avoir terminé la ou les tâche(s)															
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	n1	n2	n3	n4
Pour réaliser la tâche	A													0			
	B	x												1	0		
	C	x												1	0		
	D		x											1	1	0	
	E		x											1	1	0	
	F			x	x					x				3	3	1	0
	G					x	x							2	2	2	1
	H													0			
	I								x					1	0		
	J								x					1	0		
	K									x				1	1	0	
	L										x	x		2	2	1	0

Tableau 9 Tableau de gestion d'avancement des tâches (niveau 4).

Les tâches F et L démarrent au niveau n4.

		Il faut avoir terminé la ou les tâche(s)																
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	n1	n2	n3	n4	n5
Pour réaliser la tâche	A													0				
	B	x												1	0			
	C	x												1	0			
	D		x											1	1	0		
	E		x											1	1	0		
	F			x	x					x				3	3	1	0	
	G					x	x							2	2	2	1	0
	H													0				
	I								x					1	0			
	J								x					1	0			
	K									x				1	1	0		
	L										x	x		2	2	1	0	

Tableau 10 Tableau de gestion d'avancement des tâches (niveau 5).

La tâche G démarre au niveau n5, c'est le niveau final pour cet exemple.

Nous allons maintenant représenter les deux diagrammes correspondant à l'exemple traité en considérant que le début du projet est fixé au mardi 28 août.

On pourrait obtenir en première étape le graphe suivant :

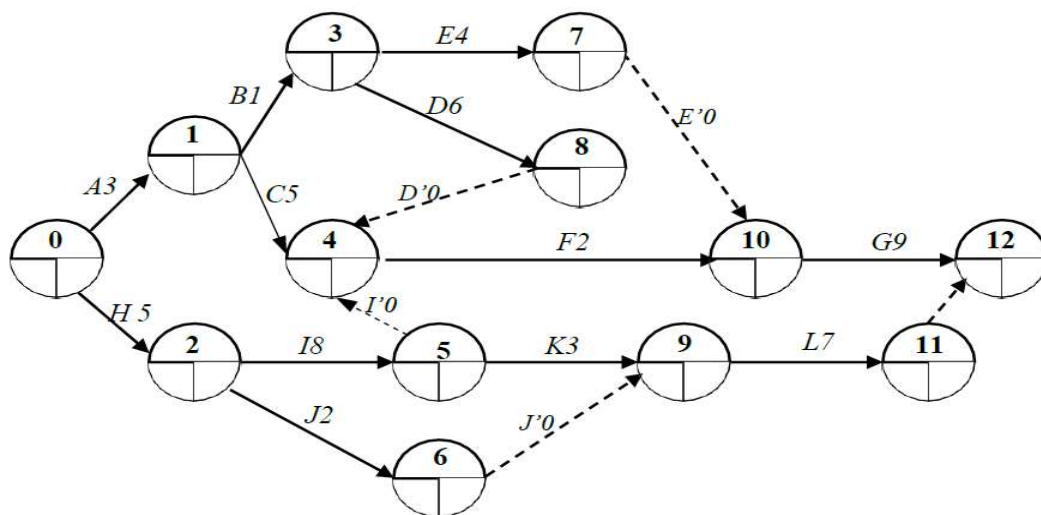


Figure 10 Réseau PERT obtenu sans tâches fictives inutiles.

Après simplifications des tâches fictives inutiles, on obtient le graphe définitif suivant :

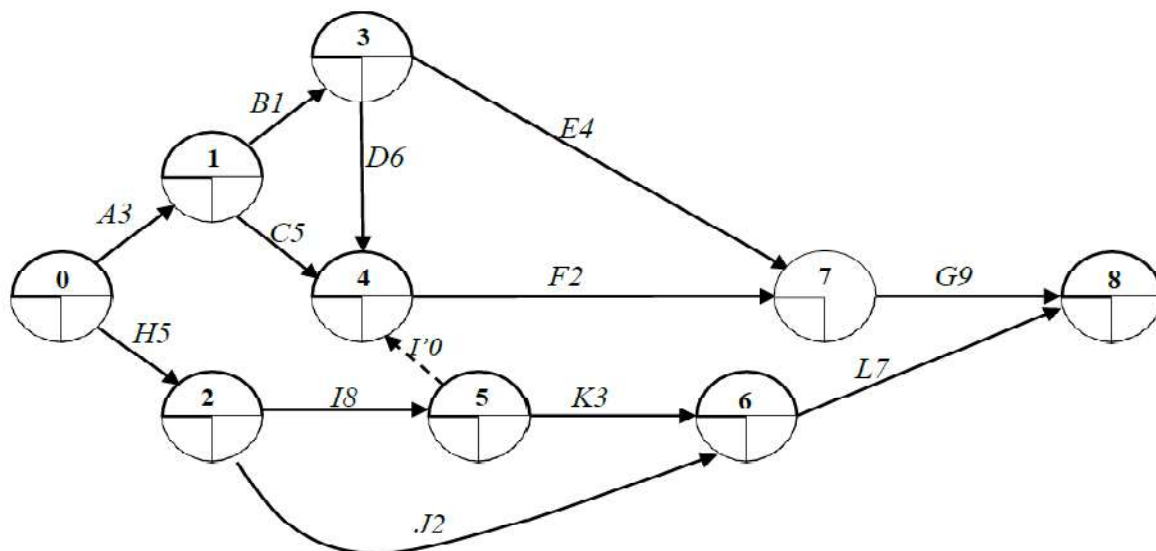


Figure 11 Réseau PERT obtenu sans tâches fictives inutiles.

6.4 Calcul de l'ordonnancement au plus tôt, et plus tard des tâches

On associe au problème d'ordonnancement central un graphe dont les sommets représentent les diverses étapes.

On ajoute un nœuds (0) qui correspond à la date de début du projet et un nœuds (n) qui correspond à la date de fin du projet.

Les arcs du réseau représentent les diverses contraintes sous la formes $ti + d_{ij} \leq t_j$,

avec d_{ij} est la durée entre deux étapes i et j tel que l'étape j se dispose chronologiquement après l'étape i.

L'ordonnancement au plus tôt détermine les dates de début au plus tôt de différentes étapes du projet en partant du nœud de début de projet c'est-à-dire le nœuds (0). Le calcul de la date de début au plus tôt pour l'étape j en fonction de l'étape i, noté $\underline{t}_j$ s'écrit donc :

$\forall (i, j) (i:0 \rightarrow (n-1) \text{ et } j:1 \rightarrow n)$

$$\underline{t}_j = \max_{(i < j)} (\underline{t}_i + d_{ij})$$

Pour calculer l'ordonnancement au plus tard, on part du nœud fin de projet (n) pour lequel la date de début au plus tard coïncide avec la date de début au plus tôt. Le calcul de la date de début au plus tard pour l'étape i en fonction de l'étape j, noté $\bar{t}_i$, s'écrit donc :

$\forall (i, j) (i:0 \rightarrow n-1 \text{ et } j:1 \rightarrow n)$

$$\bar{t}_i = \min_{(i < j)} (\bar{t}_j - d_{ij})$$

La figure 12 représente la configuration finale du réseau PERT. On peut maintenant calculer les temps au plus tôt et au plus tard de chaque étape. Pour ce faire, appliquons simplement les formules vues précédemment pour les calculs des dates au plus tôt et au plus tard des différentes étapes.

Remarque :

Deux étapes qui se suivent l'une après l'autre peut être liées d'au moins par une tâche.

6.5 Calcul des marges

La marge relative à une tâche se détermine en considérant la valeur des dates au plus tôt et au plus tard des étapes entourant la tâche. Cette marge vaut alors la date au plus tard de l'étape postérieure à laquelle on retranche la date au plus tôt de l'étape antérieure ainsi que la durée de la tâche elle-même. La marge d'une tâche liée entre deux étapes i et j s'écrit donc:

$\forall (i, j) i:0 \rightarrow (n-1) \text{ et } j:1 \rightarrow n$

$$m_{ij} = \bar{t}_j - \underline{t}_i - d_{ij}$$

Dans le cadre de notre exemple, on a

Tâche	Durée de la tâche	Marge
A	3	$6-0-3=3$
B	1	$7-3-1=3$
C	5	$13-3-5=5$
D	6	$13-4-6=3$
E	4	$15-4-4=7$
F	2	$15-13-2=0$
G	9	$24-15-9=0$
H	5	$5-0-5=0$
I	8	$13-5-8=0$
J	2	$17-5-2=10$
K	3	$17-13-3=1$
L	7	$24-16-7=1$

Tableau 11 Calcul des marges.

6.6 Détermination du chemin critique

On parle du mot « chemin » car il part de l'étape initiale et mène à l'étape finale via une suite de différentes tâches. Il est dit « critique » car tout retard pris sur l'une des tâches constituant ce chemin aura une incidence directe sur la date d'achèvement du projet.

Pour savoir quel est le chemin critique d'un projet, il suffit de répertorier toutes les tâches ayant une marge nulle.

Dans notre exemple, les tâches ayant une marge nulle sont : F, G, H et I.

Le chemin critique coloré en vert passe (voir figure 4.12) donc successivement par les tâches H, I, F et G. Soient donc les étapes 0, 2, 5, 4, 6 et 8.

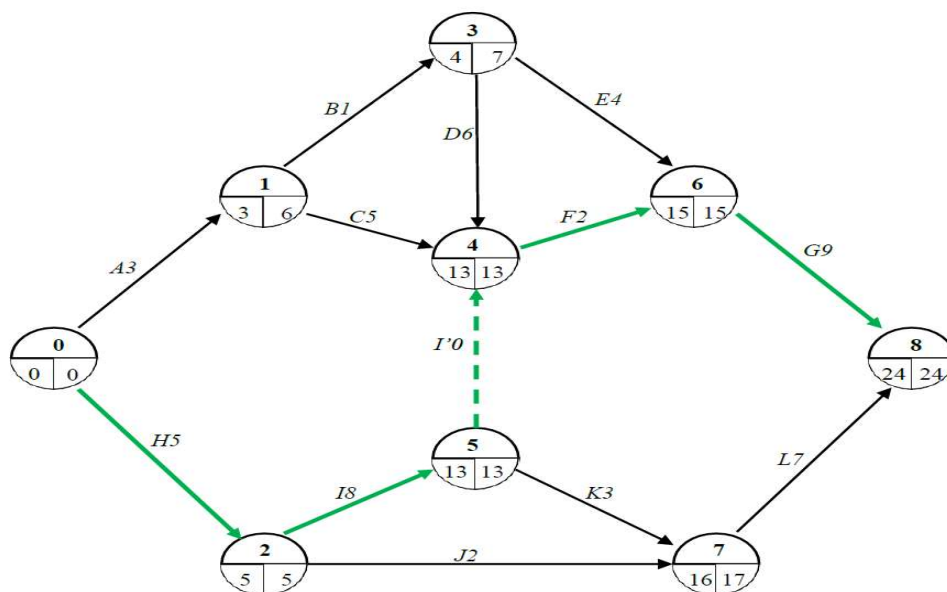


Figure 12 Réseau PERT du projet avec les dates au plus tôt et au plus tard.

Gestion de stock en maintenance

1 Introduction

Le stock de maintenance est l'ensemble des biens stockés, qui sont nécessaires à la réalisation optimale de la maintenance en termes de délais, de disponibilité, coûts, qualité, sécurité.

Il est constitué d'articles appartenant à la nomenclature des biens à maintenir et de matériels ou outils nécessaires à la réalisation des actions de maintenance selon la politique et les niveaux de maintenance définis.

On peut classer les biens constituant le stock maintenance en cinq catégories :

- Consommables
- Pièces à remplacement programmé
- Pièces à remplacement non programmé ;
- Pièces à remplacement exceptionnel ;
- Matériels et outillages dédiés à la maintenance.

Le stock de maintenance d'une usine est constitué de l'ensemble des articles (matières et pièces de rechange) qui permettent au service maintenance :

- De maintenir de la façon la plus économique possible le matériel de l'usine, en accord avec la fabrication,
- D'exécuter des travaux de différentes natures, à la demande de différents services en qualité de fournisseur.

On ne trouve pas dans le stock de maintenance :

- Les matériels et matières commandés pour les constructions nouvelles.
- Les outillages de fabrication.
- Les articles commandés directement sur un OT pour un matériel préparé, dont l'intervention sera préparée.
- Les matières et produits de fabrication.

2 Terminologies essentielles dans la gestion de stock

2.1 Stock

Un stock est une quantité d'articles gardée en réserve pour usage ultérieur. Il sert aussi à rendre indépendantes les opérations successives dans le processus de fabrication ou dans la distribution de cet article vers le client. En effet, les stocks peuvent être constitués de produits finis prêts à la vente, mais aussi de pièces, d'articles intermédiaires, d'en-cours, ou de matières premières.

2.2 Gestion de stock

Il y a des activités et des techniques qui sont destinées à maintenir le stock d'articles à un niveau souhaité, que ce soit des matières premières, des en-cours ou des produits finis. Les stocks ne se traitent pas de façon indépendante des opérations de production. L'investissement que représente la constitution d'un stock doit être traité en concurrence avec les autres investissements possibles. On a toujours intérêt à gérer les stocks au plus bas niveau acceptable compte tenu des objectifs et des niveaux de maîtrise du processus. Il faudra déterminer à quel moment et en quelle quantité un article devra être renouvelé. On cherchera le meilleur équilibre entre les coûts entraînés par les stocks et les coûts de pénurie.

2.3 Le fichier du stock de maintenance

La tenue d'un fichier «stock maintenance» doit permettre à la fonction maintenance d'améliorer ses propres prestations.

- Un fichier complet des articles pourrait contenir par exemple tout ou partie des éléments suivants pour chaque article :
 - Désignation ;
 - Code de l'article chez l'utilisateur ;
 - Code de l'article chez le fabricant, ou les fournisseurs ;
 - Code du fabricant et ou des fournisseurs ;
 - Etc.
- Préconisations spécifiques d'approvisionnement :
 - Quantité à réapprovisionner ;
 - Seuil de déclenchement de commande ;
 - Stock maximum ;
 - Période de réapprovisionnement ;

- Décision d'approvisionnement ;
- Etc. ;
- Durée moyenne d'approvisionnement ;
- Conditions particulières de stockage ;
- Durée de vie en stockage pour des biens périssables ;
- Applicabilité (sur quels équipements peut-on trouver ce bien? ;
- Criticité de l'article dans sa fonction.

Remarque :

Les exigences de gestion des articles constituant le stock maintenance conduisent généralement à affecter, à chaque article identifié, un code. Dans tous les cas de figure, on devra s'attacher à mettre en place, un système de codification, permettant d'identifier de façon biunivoque, l'article dont on a besoin pour un usage donné.

2.4 Stock des pièces de rechanges

- Classification des pièces de rechanges : Les stocks de maintenance sont constitués de pièces de rechanges (pièces d'usure, pièces de fonctionnement, pièces de structure) qui peuvent être classées en :
 - Pièces d'origine ;
 - Pièces équivalentes (non fournie par le constructeur de l'équipement, mais cahier des charges identique) ;
 - Pièces interchangeables (peu se substituer à une pièce d'origine) ;
 - Pièces adaptables (doit être adaptée pour être montée).
- Codification unique des pièces de rechange: les articles sont composés d'une désignation (libellé long et court) et d'un code article. Ce dernier est constitué de lettre et chiffres en fonction des caractéristiques de l'article (classe d'équipement, diamètre, épaisseur, etc.).
- Classes d'articles: les articles peuvent être regroupés par classes, ces dernières constitueront une partie des codes article.

Remarque:

La codification du fournisseur n'est pas utilisée comme codification de magasin mais on l'utilisera comme une information complémentaire.

3 Les coûts de gestion des stocks

3.1 Coût de passation de commande (ou coût d'acquisition)

Le coût de passation de commande C_a comprend tous les frais inhérents à la préparation, au traitement et au paiement de la commande. Ce coût varie beaucoup selon les articles. Dans le cas d'une commande interne, on désigne par coût de passation de commande, le coût de préparation et de mise en route, c'est-à-dire l'ensemble des frais relatifs au réglage de l'équipement utilisé pour produire le bien requis.

3.2 Coût de possession (ou coût de stockage)

Le coût de possession C_p comprend, lui, trois catégories de coûts : le coût de renonciation, le coût d'entreposage et le coût lié aux pertes sur les stocks. Sur une année, le coût de stockage est substantiel : il peut représenter entre 20 % et 50 % du coût d'achat ou de production selon les articles.

- Coût de renonciation: coût sur le capital emprunté; taux de rendement sur les investissements autres que les stocks.
- Coût d'entreposage: taxes foncières; assurances sur l'entrepôt ou le magasin; énergies consommées; manutention; réparations à l'entrepôt.
- Coût de détention: assurances sur les stocks; désuétude; détérioration; conditionnement; feu, vol et bris.

3.3 Coût administratif

Il faut aussi éviter de commander trop souvent, et d'alourdir l'entreprise d'un nombre considérable de petites factures.

4 La prévision pour la gestion des stocks

La connaissance de base pour une bonne gestion, la prévision de la consommation peut s'effectuer suivant plusieurs méthodes : à partir de l'historique ou à partir de données extérieures (enquête). Un grand nombre de méthodes sont applicables aux prévisions sur historique. Les modèles de consommation applicables sont les suivants.

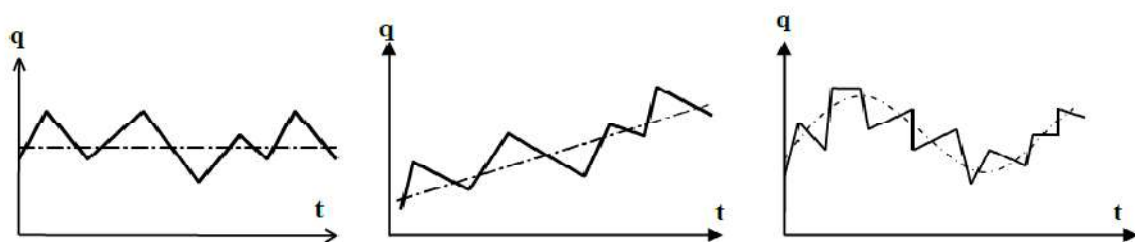


Figure 13 Les différents types de consommations en fonction du temps.

5 Principes de gestion des stocks

5.1 Introduction

L'investissement que représente la constitution d'un stock doit être traité en concurrence avec les autres investissements possibles. D'une manière générale, les stocks doivent être gérés au plus bas possible.

Les activités de la gestion des stocks consistent à répondre aux deux problèmes suivants :

- A quel moment commander un article?
- En quelle quantité le commander?

5.2 Représentation graphique du stock

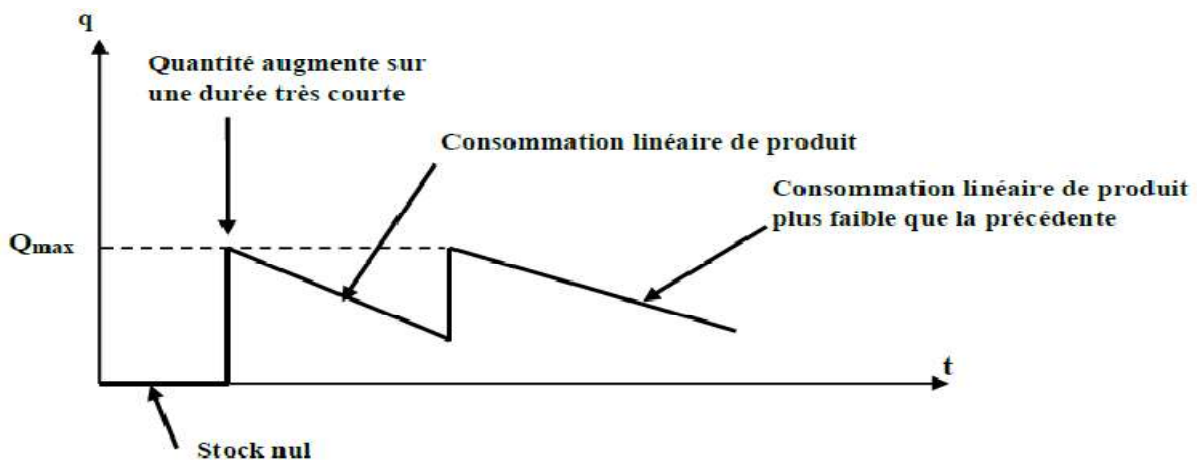


Figure 14 Représentation graphique du stock.

5.3 Niveau de service

Lorsque la demande est connue à l'avance, il en découle une certitude dans les prévisions et il n'y a généralement pas de pénurie. Mais lorsqu'il y a des variations aléatoires dans la demande ou dans les délais de livraison ou les deux, on doit se prémunir contre les risques de pénurie (voir la Figure 15).

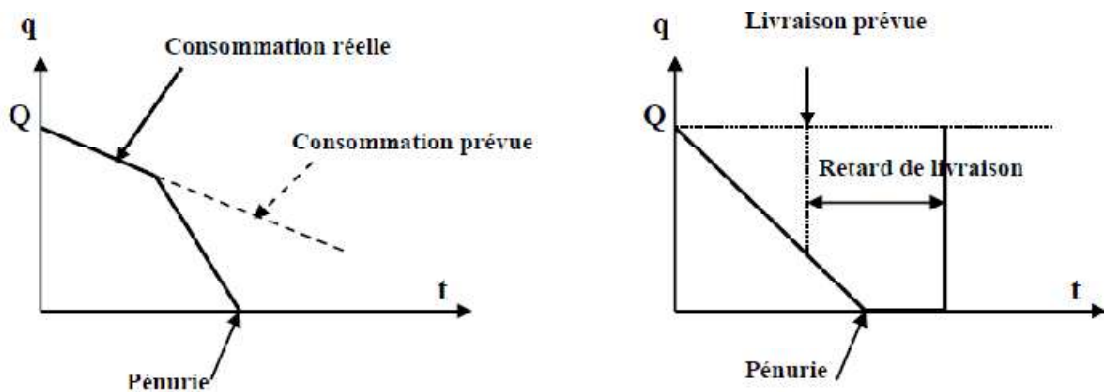


Figure 15 Variation de la demande en fonction de la présence de pénurie.

6 Les politiques d'approvisionnement

6.1 Les hypothèses de calcul

Si le niveau de décision se fait au niveau d'une référence de pièce, il faut admettre que les paramètres à prendre en compte sont souvent l'objet d'hypothèses plus ou moins justes dès le départ, et qui en plus, risquent fort d'évoluer au cours du temps.

Il serait donc logique de réajuster sans cesse les hypothèses et remettre en cause les choix effectués. Cette démarche serait naturelle si on se limitait à quelques pièces.

Si ce n'est pas le cas, il faut admettre les erreurs, car le temps passé à remettre en cause les hypothèses sur l'ensemble des références reviendrait à coûter plus cher que la conséquence des erreurs.

On résume cet état de fait par "Écraser une mouche avec un éléphant". Bien sûr, il faudra suivre avec plus d'attention certaines pièces pour lesquelles un ajustement ou un suivi particulier sera nécessaire (10% des références en général).

De plus, il faut admettre que la méthode d'estimation qui vous sera donnée si elle s'applique dans les faits sur une pièce, s'avère en général mauvaise au cas par cas pour une gestion manuelle. Par contre dans le cas d'une gestion automatique informatisée celle-ci peut se concevoir. Il est préférable de traiter un cas particulier tout en gardant une vue d'ensemble.

Plus concrètement, le problème des approvisionnements se résume de la façon suivante : Comment commander et commander ? Et combien de pièces commander ? Suis-je assuré ne pas être en rupture avant la réception de ma commande ?

6.2 Bon de commande

Le Bon de commande est adressé à un fournisseur, mais comportera plusieurs lignes de commande (soit de 1 à n références). On note que le coût d'une commande C_c qui représente le coût administratif de la commande. L'étude au niveau de la pièce doit donc tenir compte que plusieurs références sont commandées et facturées sur le même bon.

On divisera donc le C_c par le nombre de références habituellement commandées chez le fournisseur.

6.3 Regroupement des commandes

Si on admet qu'une même pièce peut être commandée chez plusieurs fournisseurs, on sera donc souvent confronté au choix suivant :

- Je dois commander la pièce A au fournisseur F en urgence.
- La fiche de la pièce B prévoit une commande la semaine prochaine, mais le fournisseur G est moins cher que le fournisseur F.

Situation 1 : une commande chez le fournisseur F avec les pièces A et B.

Situation 2 : deux commandes chez le fournisseur F pour A et le fournisseur G pour B.

7 Les différents types d'approvisionnement

Le tableau ci-dessous montre que selon le type d'article à consommer et son utilisation, on utilisera une méthode différente d'approvisionnement.

	Quantité	Intervalle
Point de commande	Variable	Variable
Plan	Variable	Fixe
Programme	Fixe	Fixe

Tableau 12 Les différents types d'approvisionnement.

7.1 Méthode de gestion des stocks

7.1.1 Méthode dite des deux tiroirs

C'est une méthode empirique qui permet de gérer des stocks de consommables ayant un faible coût et une consommation très régulière. A partir de la figure 16, on remarque que la quantité totale en stock Q soit divisée en deux parties égales.

- *Situation 1* : Soit Q_1 est la consommation courante du produit B tel que $Q_1 = \frac{Q}{2}$

- *Situation 2* : Soit Q_2 est le stock du produit A tel que $Q_2 = \frac{Q}{2}$.

Lorsque $Q_2 = 0$, alors on transfère Q_1 dans B et on commande la quantité $Q/2$ que l'on replace dans A.

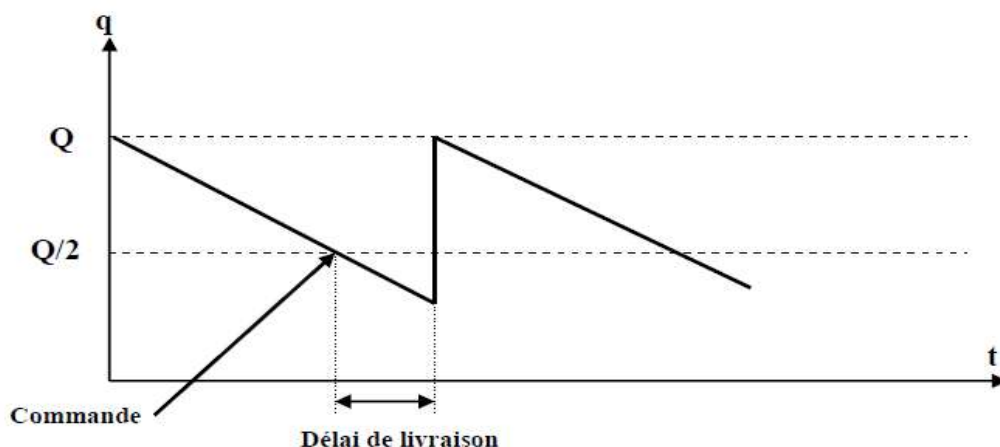


Figure 16 Méthode des deux tiroirs.

7.1.2 Lot économique

La méthode du lot économique permet de déterminer la quantité adéquate et d'estimer à chaque passation de commande, si l'on veut minimiser le coût de gestion du stock (coûts de passation de commande et coûts de stockage). La quantité ainsi obtenue est notée Q_e (quantité économique à commander).

Pour présenter cette méthode, il faut partir du modèle de base qui est simplifié à l'extrême et qui sera par la suite complété de conditions qui le rapprocheront des situations réelles (remises sur quantité, stock de sécurité, etc.).

a) Coût annuel de passation de commande

Il est lié aux frais administratifs engendrés par la passation d'une commande. D'après la figure 17, le coût annuel de passation de commande s'augmente avec la fréquence des commandes passées.

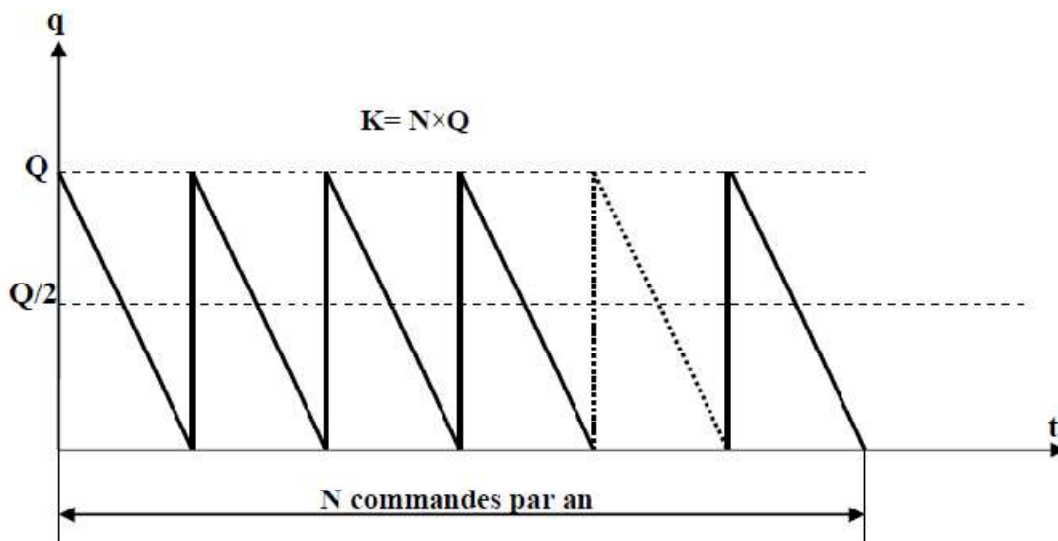


Figure 17 Évolution du coût de passation de commande en fonction du temps.

$C_{at} = C_a \times N = C_a \times \frac{K}{Q}$	C_{at}	Coût annuel de passation de commande
	C_a	Coût de passation d'une commande
	N	Nombre de commande par an
	K	Consommation annuelle prévisionnelle
	Q	Quantité commandée

Tableau 13 Expression du coût annuel de passation de commande.

b) Coût de possession

Le coût total de stockage dépend du coût unitaire de stockage et de la quantité moyenne annuelle du stock. En sachant que : $Q = K / N$, le stock moyen correspond à : $Q / 2$ ou $K / 2N$.

Le coût de possession est donc:

$C_P = \frac{Q}{2} \times P_u \times i$	C_P	Coût de possession
	Q	Quantité commandée
	N	Nombre de commande par an
	P_u	Prix unitaire
	i	Taux de possession

Tableau 14 Expression du coût de possession annuel.

c) Coût de gestion de stock

Le coût total de gestion de stock représenté par la courbe résultante suivante ; la couleur rouge correspond à la somme des deux coûts précédents s'écrit :

$$C_T = C_{at} + C_P = C_a \times \frac{K}{Q} + \frac{Q}{2} \times P_u \times i$$

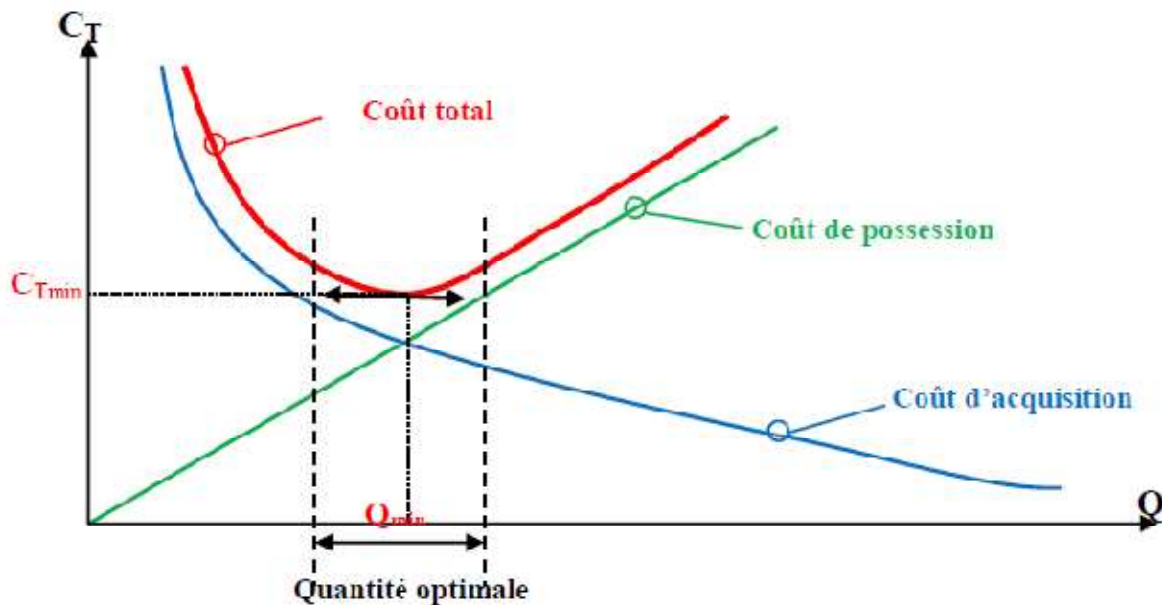


Figure 18 Politique d'approvisionnement de type point de commande (C_{Tmin} , Q_{min}).

d) Quantité économique - Formule de Wilson

$Q_e = \sqrt{\frac{2 \times C_a \times k}{P_u \times i}}$	Q_e	Quantité économique à commander
	C_a	Coût de passation d'une commande
	K	Consommation annuelle prévisionnelle
	P_u	Prix unitaire
	i	Taux de possession

Tableau 15 Expression du coût annuel de gestion de stock.

Exercices d'application

Exercice 1

Le coût de passation d'une commande C_a est de 38 €, le taux de possession annuel $i\%$ est de 23 % et le prix d'achat P_u est 69 €, le délai de livraison T est une semaine, la consommation annuelle de l'article est de 328.

La gestion de cet article doit exclure toute situation de pénurie (carence) car le coût d'indisponibilité s'élève à 700 € par jour.

Travail à faire :

- 1) Calculer la quantité optimale d'une commande Q_e
- 2) Calculer le nombre de commandes par an

Corrigé de l'exercice 1

- 1) La quantité optimale d'une commande se calcule comme suit:

$$Q_e = \sqrt{\frac{2 \times C_a \times k}{P_u \times i}} = \sqrt{\frac{2 \times 38 \times 328}{69 \times 0,23}} = 39,6 \approx 40 \text{ articles}$$

- 2) Le nombre de commandes par an se calcule par la formule suivante :

$$N = \frac{K}{Q_e} = \frac{328}{40} = 8,2 \approx 8 \text{ commandes/an}$$

Exercice 2

Soit une entreprise EESOR à estimer son taux de possession à 12 %. La consommation annuelle de référence C représente 78000 € (soit 2600 produits à 30 €). La valeur de chaque livraison ne saurait être inférieure à 10000 € (pour bénéficier des remises consenties par ses fournisseurs aux professionnels).

L'étude du coût du service approvisionnement de l'entreprise permet d'estimer à 270 € le coût de lancement et de suivi d'une commande.

N.B :

- Coût de passation d'une commande $\equiv$ coût de lancement d'une commande.
- Coût de possession de stock $\equiv$ coût de détention de stock.
- Nombre de livraisons $\equiv$ nombre de commandes.

Travail à faire :

- 1) Quel est le nombre maximum de livraisons ?
- 2) Dans chacune des hypothèses possibles, en utilisant le tableau suivant, pour calculer le coût de gestion de stock correspond à chaque nombre de commandes.

Nombre de commandes	1	2	3	4	5	6	7
Stock moyen							
Coût de détention de stock							
Coût de lancement							
Coût total de stock							

Tableau 16 Tableau de calcul des coûts de stock.

- 3) Retrouver le nombre de commandes optimal N^* .

Corrigé de l'exercice 2 :

- 1) Avec $N = 8$ livraisons, la commande s'élèverait à $78000/8 = 9750 < 10000$ €

Dans ce cas, d'après l'entreprise, elle ne pourrait pas bénéficier des remises consenties par les fournisseurs.

Avec $N = 7$ livraisons, la commande donnerait $78000/7 = 11142 > 10000$ €

Par la suite, le nombre maximum de livraison égale à 7

2)

- Stock moyen $= C/2N$
- Coût de détention de stock $= C/2N \times i$
- Coût de lancement d'une commande $= C_a \times N$

Donc le coût de gestion de stock s'écrit :

Coût total du stock = Coût de détention du stock + Coût de lancement du stock

Nombre de commandes	1	2	3	4	5	6	7
Stock moyen	39000	19500	13000	9750	7800	6500	5571
Coût de détention du stock	4680	2340	1560	1170	936	780	669
Coût de lancement	270	540	810	1080	1350	1620	1890
Coût total de stock	4950	2880	2370	2250	2286	2400	2559

Tableau 17 Tableau de calcul des coûts de stock.

Remarque :

Nous constatons que, pour un nombre de commandes égale à 4, notre coût total de stock sera minimum égale à 2250 €. Par conséquent, nous pourrions conclure que nous devons passer 4 commandes dans l'année pour minimiser le coût de gestion de stock.

3) D'après la formule de Wilson, le nombre de commandes optimal est :

$$N^* = \sqrt{\frac{C \times i}{C_a \times N}} = \sqrt{\frac{78000 \times 0,12}{270 \times 2}} = 4,16$$

Soit 4 livraisons, nous retrouvons bien la valeur obtenue dans le tableau 3.7.