

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Université Abderahmane Mira de Béjaïa  
Faculté des Sciences Exactes  
Département de Recherche Opérationnelle



## Mémoire Master

Option : Modélisation Mathématique et Techniques de Décision

Thème :

*Gestion des Stocks des pièces de rechange des pompes centrifuges principales au long des stations de pompage de l'OB1.*

Présenté par : TIGHILT Ghiles & YOUNSIOUI Yasmine

Devant le jury composé de :

Président	<i>M<sup>me</sup></i> Yasmina ZIANE	M.C.A.	Univ. de Béjaïa
Encadreurs	<i>M<sup>me</sup></i> Fazia AOUDIA	M.C.A.	Univ. de Béjaïa
	<i>M<sup>me</sup></i> Naouel HALIMI	M.C.B.	Univ. de Béjaïa
Examinatrices	<i>M<sup>me</sup></i> Lamia DJERROUD	M.C.B.	Univ. de Béjaïa
	<i>M<sup>lle</sup></i> Nedjma AIANE	Doctorante	Univ. de Béjaïa
Invité	<i>M<sup>r</sup></i> Boualem BOUNIF	Ingénieur	Sonatrach-Bejaia.

Béjaïa, Septembre 2021.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Introduction Générale</b>	<b>8</b>
<b>1 SONATRACH</b>	<b>10</b>
1.1 Présentation de l'entreprise SONATRACH . . . . .	10
1.1.1 Création de la SONATRACH . . . . .	10
1.1.2 Mission de la SONATRACH . . . . .	11
1.1.3 Objectif et Evolution . . . . .	11
1.2 Présentation de Transport par Canalisation-TRC . . . . .	13
1.3 SONATRACH-RTC ( Bejaia ) . . . . .	14
1.3.1 Organisation Structurale et Fonctionnelle de la RTC Bejaia . . . . .	15
1.3.2 Les différentes Structures de la RTC [6] . . . . .	17
1.3.3 Département Approvisionnement et Transport (ATR) . . . . .	18
1.3.4 Présentation du service gestion des stocks . . . . .	20
1.4 Position du Problème . . . . .	22
<b>2 Gestion des Stocks</b>	<b>23</b>
2.1 Notion et Notation de base . . . . .	23
2.1.1 Définition des stocks . . . . .	23

---

2.1.2	Les Natures de stock . . . . .	24
2.1.3	Les Formes de stock . . . . .	24
2.1.4	La Classification des stocks selon leur utilisation . . . . .	25
2.1.5	Les Différents Niveaux de Stock . . . . .	26
2.1.6	Le Rôle des Stocks . . . . .	31
2.1.7	Les objectifs du stock . . . . .	32
2.1.8	Les avantages et les inconvénients du stock . . . . .	32
2.1.9	L'utilité des stocks . . . . .	33
2.1.10	Les différents coûts de stock . . . . .	33
2.2	Règles de contrôle . . . . .	34
2.2.1	Réapprovisionnement à Date et Quantité fixes . . . . .	35
2.2.2	Réapprovisionnement à Date fixe et Quantité variable . . . . .	35
2.2.3	Réapprovisionnement à Date variable et Quantité fixe . . . . .	36
2.2.4	Réapprovisionnement à Date et Quantité variables . . . . .	37
2.3	Classification des stocks . . . . .	39
2.3.1	Classement ABC . . . . .	39
2.4	Modèles de gestion des stocks . . . . .	43
2.4.1	Modèles déterministes . . . . .	43
2.4.2	Modèles stochastiques . . . . .	46
2.5	Conclusion . . . . .	51
<b>3</b>	<b>Maintenance Industrielle et Previsions</b>	<b>52</b>
3.1	Maintenance Industrielle . . . . .	52
3.1.1	Définition . . . . .	52
3.1.2	La Maintenance Industrielle, un Outil de Prévention . . . . .	53
3.1.3	La Maintenance Industrielle, un Outil Correctif . . . . .	54
3.2	Cycle de Maintenance Préventive Suivi par la RTC . . . . .	55

---

3.3	Prévisions . . . . .	57
3.3.1	Types de prévisions . . . . .	58
3.3.2	Séries Chronologiques . . . . .	58
3.4	Méthodes de prévision . . . . .	59
3.4.1	Les méthodes de lissages exponentiels . . . . .	59
3.4.2	Méthode de Box et Jenkins . . . . .	61
3.5	Conclusion . . . . .	67
<b>4</b>	<b>Application</b>	<b>68</b>
4.1	Modélisation et Application . . . . .	68
4.1.1	Analyse et Prévisions . . . . .	69
4.2	Modèle de gestion de stock approprié . . . . .	74
4.2.1	Stock de sécurité avec la formule de wilson . . . . .	76
4.2.2	Modèle à point de commande (Q,r) . . . . .	77
4.2.3	Modèle à révision périodique (R,T) . . . . .	78
4.3	Conclusion . . . . .	79
	<b>Conclusion Générale</b>	<b>80</b>

## TABLE DES FIGURES

1.1	Organigramme de la SONATRACH . . . . .	12
1.2	Réseau de Transport par Canalisation . . . . .	13
1.3	Les Stations de Pompages OB1 . . . . .	15
1.4	Organigramme de la RTC-Bejaia . . . . .	16
1.5	Organigramme de l'ATR . . . . .	19
2.1	Consommation Accélérer . . . . .	27
2.2	Retard de Livraison . . . . .	27
2.3	Stock de Sécurité. . . . .	27
2.4	Représentation Graphique du Stock Maximum. . . . .	28
2.5	Représentation Graphique du Stock Minimum. . . . .	29
2.6	Réapprovisionnement à Date fixes et Quantité fixes. . . . .	35
2.7	Réapprovisionnement à Date fixe et Quantité variable. . . . .	36
2.8	Réapprovisionnement à Date variable et Quantité fixe. . . . .	37
2.9	Réapprovisionnement à Date variable et Quantité variable. . . . .	37
2.10	Courbe de classification des articles par la méthode ABC. . . . .	39
2.11	Exemple de produits XYZ. . . . .	41
2.12	Principe ABC-XYZ. . . . .	42

---

2.13	La courbe de Wilson. . . . .	45
2.14	Modèle à point de commande (Q,r). . . . .	46
2.15	Le modèle à révision périodiques (R,T). . . . .	49
3.1	Types de Maintenance. . . . .	54
3.2	Cycle de maintenance préventive suivi par la RTC. . . . .	55
3.3	Shéma d'une Pompe. . . . .	57
4.1	Présentation des Résultats de XLSTAT-Forecast pour l'article "571011440C" Classe AZ. . . . .	70
4.2	Résultats de l'analyse ABC-XYZ. . . . .	72
3	Présentation des Résultats de XLSTAT-Forecast pour l'article "571010287C" Classe AX. . . . .	84
4	Présentation des Résultats de XLSTAT-Forecast pour l'article "571011465C" Classe AY. . . . .	85
5	Présentation des Résultats de XLSTAT-Forecast pour l'article "571011066C" Classe BX. . . . .	86
6	Présentation des Résultats de XLSTAT-Forecast pour l'article "571011466C" Classe BY. . . . .	87
7	Présentation des Résultats de XLSTAT-Forecast pour l'article "571011050C" Classe BZ. . . . .	88

## LISTE DES TABLEAUX

2.1	les politiques de réapprovisionnement . . . . .	38
4.1	Résultats obtenus par XLSTAT-Forcaste pour l'article "571011440C" . . .	70
4.2	Classification ABC-XYZ. . . . .	72
4.3	Articles de la classe A et B étudiés . . . . .	74
4.4	Quantités de Wilson . . . . .	76
4.5	Résultats du Calcul du point de commande . . . . .	77
4.6	Résultats du Calcul des quantités de recomplètement . . . . .	78
4.7	Résultats de la comparaison des coûts totaux de gestion pour les modèles étudiés . . . . .	79
8	Résultats obtenus par XLSTAT-Forcaste pour l'article "571010287C ". . .	84
9	Résultats obtenus par XLSTAT-Forcaste pour l'article "571011465C ". . .	85
10	Résultats obtenus par XLSTAT-Forcaste pour l'article "571011066C ". . .	86
11	Résultats obtenus par XLSTAT-Forcaste pour l'article "571011466C". . .	87
12	Résultats obtenus par XLSTAT-Forcaste pour l'article "571011050C". . .	88

## NOTATIONS

Symbole	Désignation
GPL	Gaz de Pétrole Liquéfié
DRGB	Direction Régionale de Béjaia
L	Date de réception de la livraison
D.L	Délai de Livraison
S	Stock Maximale
T	Temps
Q	Quantité des pièces approvisionnées ou commandée en une seule fois
N	Le nombre de pièces consommées
$P_u$	Le prix unitaire de l'article
s	Le stock de sécurité envisagé pour un article
$\tau$	Le taux de possession de l'entreprise exprimée en %
$C_L$	Le coût d'approvisionnement ou de lancement de commande
$C_T$	coût Total de gestion
$C_s$	coût de stockage
$Q_e$	Quantité économique (Quantité de Wilson)
i	Le $i^{me}$ article étudié
$N_i$	La demande annuelle du $i^{me}$ article
$\tau_i$	Le taux de possession du $i^{me}$ article
$P_u^i$	Le prix unitaire du $i^{me}$ article
$h_i$	Le coût Unitaire de réapprovisionnement du $i^{me}$ article
$Q_e^i$	La quantité optimale a commander du $i^{me}$ article
r	Point de commande
D	La demande ponctuelle qui suit une loi normale de paramètres $(\mu_D, \sigma_D)$
F	La fonction de densité de la variable aléatoire D
X	La demande durant le délai de livraison
$\alpha$	Risque de rupture de stock
n	Le nombre d'années
R	Le niveau de reapprovisionnement
x	La demande durant la période (T+D.L)
(Q,r)	Modèle de gestion de stock a point de commande
(R,T)	Modèle de gestion de stock a quantité de reapprovisionnement

## INTRODUCTION GENERALE

La recherche d'une plus grande efficacité au sein d'une entreprise mène souvent les responsables à se pencher sur la situation des stocks pour vérifier s'ils ne sont pas au niveau qui leur a été assigné dans le cadre de la politique générale de l'entreprise. En période de difficultés financières, le contrôle des stocks et la tendance de vouloir les réduire sont encore plus prononcés.

Le stock constitue « un mal nécessaire » pour tout système de gestion industriel il apporte de la souplesse en masquant de nombreux problèmes, mais son coût est élevé. Gérer les stocks est donc un impératif pour maîtriser son niveau au juste nécessaire.

La gestion des stocks a pour but de maintenir à un seuil acceptable le niveau de service pour lequel le stock considéré existe.

Les questions qui se posent pour le responsable de la gestion des stocks sont alors :

- A quel niveau faudrait-il maintenir le niveau des stocks ?
- A quel niveau faudrait-il les approvisionner ?
- Quels sont les outils à utiliser pour suivre le mouvement des stocks et pouvoir maintenir l'équilibre qui leur a été assigné dans le cadre de la stratégie de l'entreprise ?

L'indication de ces quelques cas de figures des entreprises nous permet de nous interroger sur les coûts que la gestion des stocks engendre et enfin d'analyser les causes des phénomènes et les solutions les plus adéquates pour les atténuer et pourquoi pas les supprimer.

Ce mémoire traite le cas de la gestion des stocks d'une certaine gamme de pièces de rechanges au sein de la SONATRACH . Nous nous intéressons dans cette étude à l'élaboration des modèles de décisions permettant une gestion optimale, à l'aide d'outils

Des travaux dans ce sens existent, le premier est basé sur une approche de résolution à l'aide des méthodes multicritères d'aide à la décision, en 2004 [4]. Quant au second traite d'une approche prévisionnelle la gestion de stock d'une famille de pièces de rechange nobles (2014). En 2016 [2], un travail d'actualisation sur la seconde étude est réalisé. Le nôtre s'inscrit donc, dans le cadre d'élargissement et d'actualisation des deux derniers travaux .

Pour arriver à répondre à ces questions, nous avons réparti notre travail en 4 chapitres :

- Le premier est consacré à la présentation de l'entreprise SONATRACH .
- Au second chapitre, nous présentons les notions de base liées à la gestion scientifique des stocks.
- Le troisième chapitre traite les méthodes de prévisions et de maintenance industrielle .
- Le quatrième et dernier chapitre sera consacré à notre cas pratique au sein de l'entreprise Sonatrach, qui nous permettra d'étudier sur le terrain un cas réel de notre sujet.
  
- Nous terminons par une conclusion générale et quelques perspectives qui ne feront qu'améliorer le travail réalisé.

# CHAPITRE 1

SONATRACH

Etant une entité économique, l'entreprise évolue dans un environnement concurrentiel, sa survie dépend donc de la qualité de sa gestion.

Les stocks représentent un capital dormant très important alors une bonne gestion des stocks est primordiale pour l'entreprise.

Nous présentons dans ce premier chapitre l'entreprise qui domine l'industrie de l'hydrocarbure en Algérie : Sonatrach. Nous nous intéressons au département transport et approvisionnement de la Région Transport Centre (RTC), qui nous a accueillis lors de notre stage pratique.

## 1.1 Présentation de l'entreprise SONATRACH

L'entreprise SONATRACH est considérée comme la plaque tournante de l'économie algérienne. Elle assure plus de 95% des recettes de l'Etat, mais seulement 15% des recettes reviennent à l'entreprise pour ses propres besoins d'exploitation et de fonctionnement.

### 1.1.1 Création de la SONATRACH

La SONATRACH a été créée le 31 décembre 1963 par le décret n 63 /491. La dimension nationale de cette entreprise s'est spontanément identifiée à celle donnée au pétrole, puis à tout terme générique d'hydrocarbures dans lequel le gaz occupera, peu à peu, une place prépondérante.

---

### 1.1.2 Mission de la SONATRACH

Dès sa création, SONATRACH qui avait pour mission de prendre en charge le transport et la commercialisation des hydrocarbures dans un contexte marqué alors par la mainmise des compagnies étrangères sur parcours de panier en réalisant l'oléoduc Haoud-el-Hamra / Arzew d'une longueur de 801 Km .

Après avoir vu en 1966 ses missions étendues à l'ensemble des activités pétrolières, la SONATRACH est confirmée dans son rôle d'outil privilégié de la politique nationale dans le domaine des hydrocarbures, le 24/02/1971.

Elle s'attelle dès lors à consolider le processus de récupération totale des richesses pétrolières et gazières ainsi que leurs maîtrises technologiques tout en sauvegardant l'approvisionnement énergétique du pays, et en pourvoyant aux recettes en devises nécessaires à son développement, parallèlement a ce rythme soutenu par le terrain, les débouche aux produits pétroliers et gaziers sont assurés en aval par une remarquable percée commerciale sur le marché international.

Aujourd'hui, la SONATRACH assure des missions stratégiques centrées sur la recherche, la production, le traitement, la liquéfaction du G.P.L, de l'approvisionnement du marché national et la commercialisation des hydrocarbures liquides et gazeux sur le marché international, les activités découlant de ces missions demeurent le souci des 40000 Employés dont environs 10000 cadres qui constituent l'effectif de la SONATRACH .

### 1.1.3 Objectif et Evolution

Les objectifs de la SONATRACH durant les 25 années à venir consistent à doubler le rythme de la production pour atteindre la barre des 100 Tep annuellement, ce qui donnera une production cumulée prévisionnelle de 2 milliards de Tep à la fin de l'année 2021.

Si parallèlement les efforts d'exploitation et de prospection des hydrocarbures ne suffisent pas à renouveler la totalité des réserves en place par la découverte de nouveaux gisements, on irait irrémédiablement vers un déséquilibre énergétique très grave. Le programme des réserves à maintenir la même durée à venir a été élaboré en fonction d'une espérance de découvertes de gisement équivalents à 144 millions de Tep annuellement.

Il est évident que si l'on tient compte du volume de réserves potentiellement récupérables, cette découverte ne suffirait pas à couvrir notre rythme de production des hydrocarbures ou encore moins, rattraper le retard en matière de ressources énergétiques. Il est donc très important pour le secteur de l'énergie de la SONATRACH de tracer une nouvelle politique énergétique ayant pour but essentiel de préserver et consolider la dynamique de production et l'exploitation des hydrocarbures.

---

Aujourd'hui, l'évolution de l'économie mondiale des hydrocarbures ne laisse pas d'autres alternatives à la SONATRACH que l'adaptation, l'amélioration et la modernisation des conditions de travail. Pour cela, la SONATRACH s'appuie sur les valeurs fondamentales de la culture de l'entreprise, l'engagement dans l'intérêt et l'esprit de l'éthique.

Le professionnalisme, la quête de l'excellence constituent les valeurs de l'entreprise ; le développement de la SONATRACH se fait par une volonté de défi qui s'appuie sur :

- La compétence technologique .
- L'amélioration de la qualité de l'environnement social.
- La satisfaction de la clientèle.
- Le transfert du savoir-faire.

Les activités de la SONATRACH se résument comme suit :

- l'Exploration, la Recherche et l'Exploitation des gisements d'hydrocarbures. (E&P)
- La liquéfaction et la transformation du gaz. (LQS)
- Le transport par canalisation. (TRC)
- Raffinage et Pétrochimie . (RPC)
- La commercialisation des hydrocarbures. (COM)

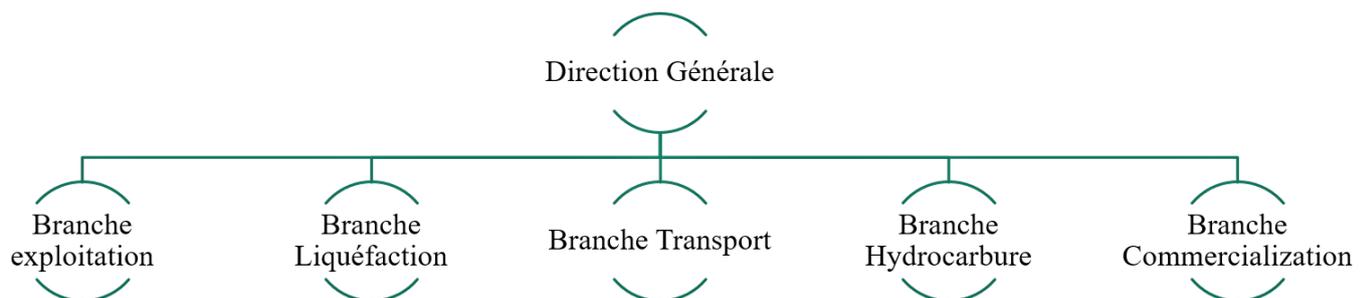


FIGURE 1.1 – Organigramme de la SONATRACH

Le but recherché par la restriction et la réorganisation est la décentralisation des pouvoirs. La SONATRACH exerce ses activités dans quatre principaux domaines à savoir :

- **Activité Amont** : Recouvre les métiers de la recherche, de l'exploration, du développement et de la production des hydrocarbures ;
- **Activité Transport** : Assure l'acheminement des différents hydrocarbures par canalisation ;
- **Activité Aval** : A pour charge le développement et l'exploitation des complexes hydrocarbures (liquéfaction, raffinerie) ;
- **Activité Commercialisation** : A pour mission l'élaboration et l'application de la stratégie commerciales de SONATRACH sur le marché national et international .

---

## 1.2 Présentation de Transport par Canalisation-TRC

L'activité transport est confiée à la branche « Transport par Canalisation » (TRC) dont la mission principale est d'assurer le transport des hydrocarbures par pipe-line.

Ainsi, huit régions de l'activité transport par canalisation, ont été créés à savoir :

- \* **RTC** : Région Transport Centre (Bejaia).
- \* **RTH** : Région Transport de Haoud el-Hamra (Centre de distribution).
- \* **RTI** : Région Transport d'In Aminas .
- \* **RTE** : Région Transport Est (Skikda).
- \* **RTO** : Région Transport Ouest (Arzew).
- \* **GHR** : Gazoducs Hassi R'mel .
- \* **GEM** : Gazoducs Enrico-Mattei .
- \* **GPDF** : Gazoducs Pedro-Durel farrel .

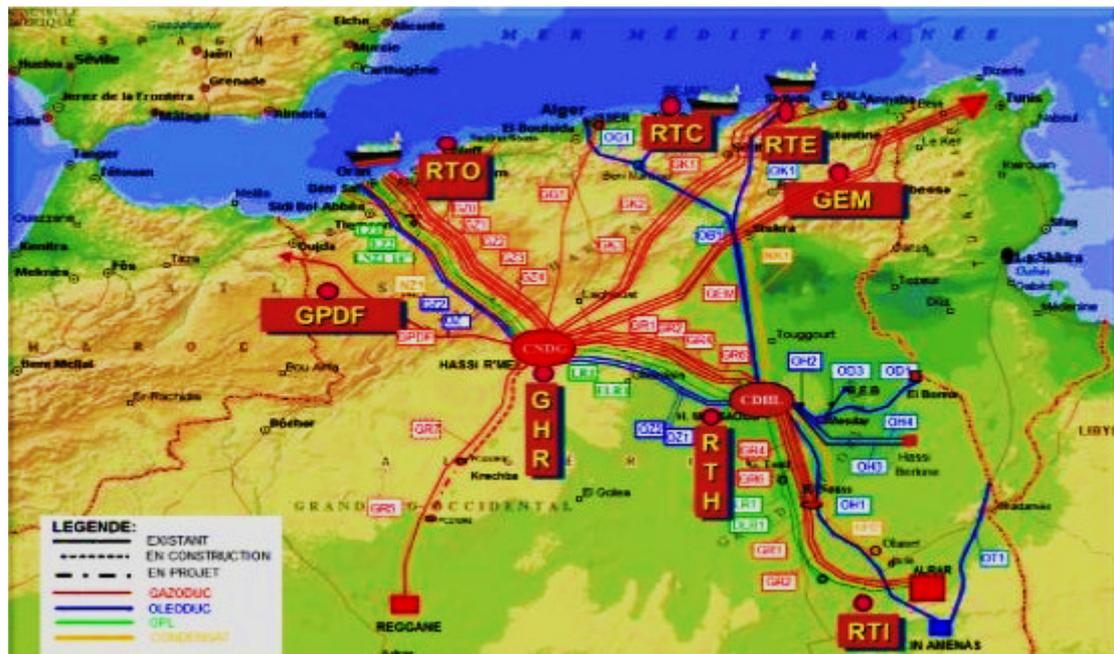


FIGURE 1.2 – Réseau de Transport par Canalisation

---

## 1.3 SONATRACH-RTC ( Bejaia )

La société pétrolière de gérance (SOPEG) est devenue depuis, la Direction Régionale de Bejaia (DRGB), elle-même devenue Région Transport Centre (RTC) .

Le siège de la RTC est située au nord de Bejaia (arrière port) à l'entrée de la ville s'étend sur une superficie globale répartie comme suit : [6]

\* **Terminaux ( nord et sud ) :**

- Surface clôturée : 516135 m<sup>2</sup> ;
- Surface couverte : 7832 m<sup>2</sup> ;
- Surface occupée par les bacs : 43688 m<sup>2</sup> ;
- surface non clôturée : 2250 m<sup>2</sup> ;
- Surface de stockage : 3800 m<sup>2</sup> ;

\* **Port Pétrolier :**

- Surface clôturée : 19841 m<sup>2</sup> ;
- Surface couverte : 300 m<sup>2</sup> ;
- Surface occupée par les bassins de déballastage : 1600 m<sup>2</sup> .

La RTC compte quatre stations de pompage et deux terminaux qui sont :

- o **SP1 BIS** : Station de pompage à Djemaa ( EL-Oued ) : Elle assure un débit maximum de 2200 m<sup>3</sup>/h. Elle est essentiellement équipée de :
  - 03 turbopompes (TPA, TPB et TPC), mais les deux premières ne sont plus en état de marche.
  - 02 bacs de stockage d'une capacité 450 m<sup>3</sup> chacun.
- o **SP2** : Station de Pompage a Biskra : Elle est équipée de :
  - 05 groupes motopompes (GMP) placées en série.
  - 03 électropompes boosters placées en parallèle.
  - 02 groupes électrogènes assurant le relais en cas de disjonction.
  - Un groupe électrogène de secours.
  - 02 bacs tampons d'une capacité 2900 m<sup>3</sup>.
- o **SP3** : Station de Pompage à M'sil : dans cette station, on retrouve exactement les mêmes installations que celles de la SP2, à l'exception du montage des GEP qui sont branchés en parallèle.
- o **SBM** : Station de Pompage Beni-Mansour ;

- TRA : Terminal Raffinerie d'Alger ;
- TMB : Terminal Marin de Bejaia .

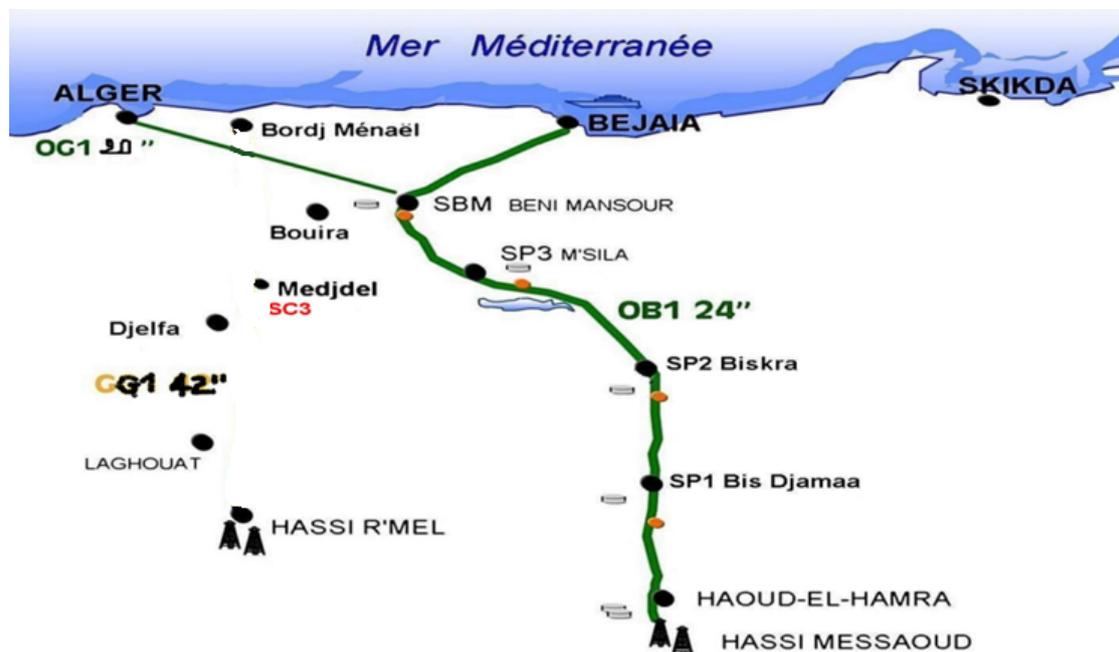


FIGURE 1.3 – Les Stations de Pompages OB1

La RTC est chargée du transport, du stockage et de la livraison du pétrole transportés à travers les deux canalisations gérées par celle-ci, qui sont de 24 pouces et de 20 pouces.

Sa capacité de transport est d'environ 14 millions de tonnes, la capacité réelle de transport est d'environ 11 millions de tonnes, sont acheminées à la raffinerie d'Alger.

L'effectif total de la RTC est de 2819 personnes réparties comme suit :

- 864 : permanentes .
- 1955 : temporaires.

### 1.3.1 Organisation Structurale et Fonctionnelle de la RTC Bejaia

Les différents départements et directions de la RTC sont représentés sur l'organigramme (1.4).

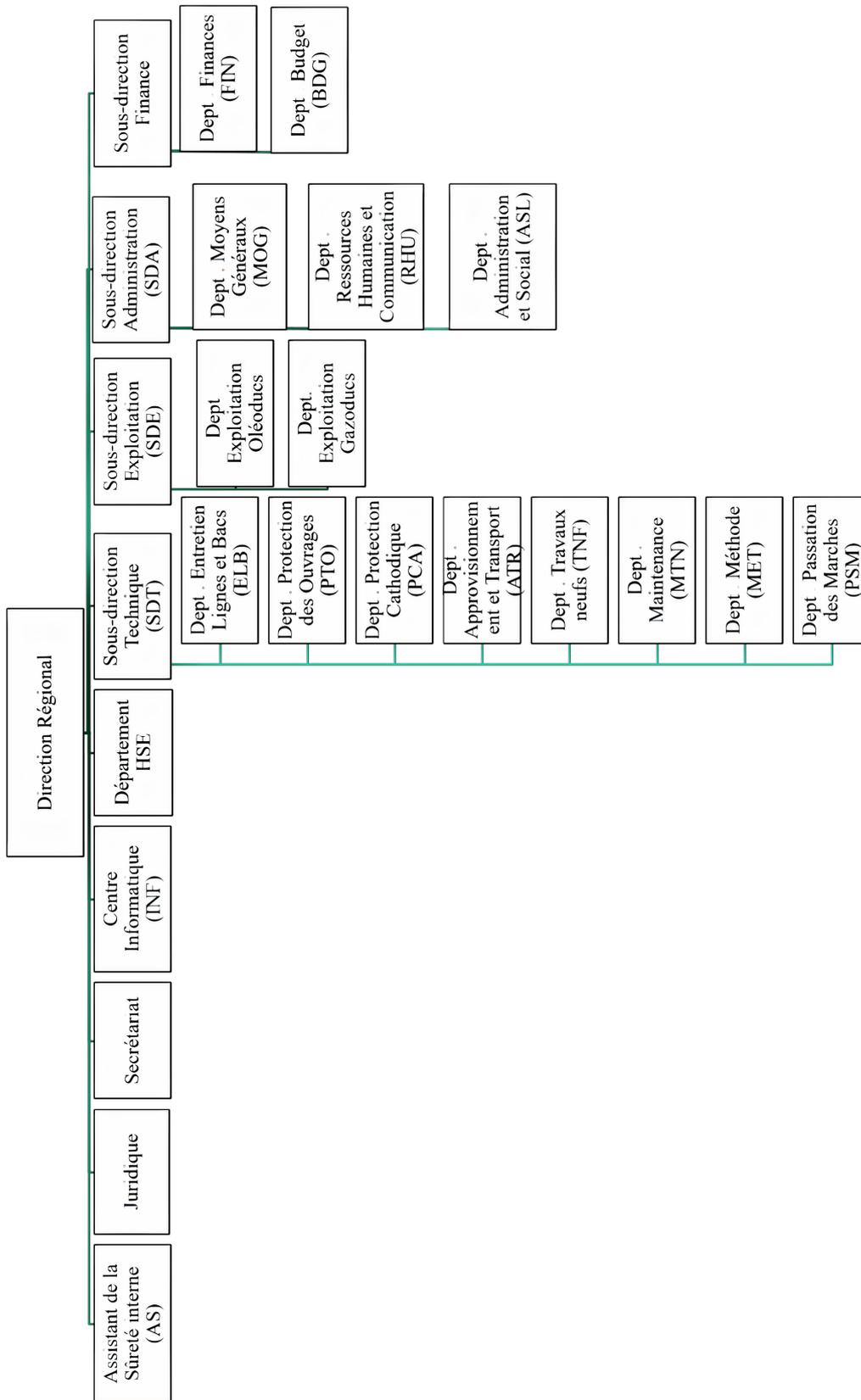


FIGURE 1.4 – Organigramme de la RTC-Bejaia

---

### 1.3.2 Les différentes Structures de la RTC [6]

- **La Direction Régionale** : Son rôle est de coordonner les efforts des différents départements et sous-directions de la région , elle est dirigée par un directeur régional.
- **Secrétariat** : Son rôle est d'aider le directeur régional .
- **Assistant de Sécurité Interne (ASI)** : Il veille à la sécurité et à l'intégrité des installations et des personnes de la région .
- **Département HSE** : Il a pour mission la protection et la sauvegarde du patrimoine humain et matériel de la région et veille au respect et à la stricte application des normes et standards en matière d'hygiène , de sécurité et de protection de l'environnement .
- **Centre Informatique** .
- **Sous-direction Exploitation** : Chargée des exploitations des installations de la région . Elle est composée de deux départements qui sont :
  - \* **Département Exploitation Liquide** .
  - \* **Département Exploitation Gaz** .
- **Sous-direction Administration** : Elle a pour mission la gestion des ressources humaines et les moyens généraux ; elle est organisée en trois départements :
  - \* **Département Administration et Social** .
  - \* **Département Ressources Humaines et Communication** .
  - \* **Département Moyens Généraux** .
- **Sous-direction Finances** : La sous-direction Finance est composée de deux départements :
  - \* **Département Finance ( FIN )** .
  - \* **Département Budget ( BDG )** .
- **Direction Juridique ( JUR )** .
- **Sous-direction Technique** : Elle a pour mission d'assurer la maintenance et la protection des ouvrages , ainsi que l'approvisionnement , l'étude et le suivi de projet de réalisation de travaux neufs . Elle se compose de huit départements :
  - \* **Département Entretien Lignes et Bacs ( ELB )** ;
  - \* **Département des Ouvrages ( PTO )** ;
  - \* **Département Protection Cathodique ( PCA )** ;
  - \* **Département Approvisionnement et Transport ( ATR )** ;
  - \* **Département Travaux neufs ( TNF )** ;

- 
- \* **Département Maintenance ( MTN ) ;**
  - \* **Département Méthode ( MET ) ;**
  - \* **Département Passation des Marchés ( PSM ) ;**

### **1.3.3 Département Approvisionnement et Transport (ATR)**

Le département approvisionnement et transport "ATR" a pour mission principale de satisfaire les besoins des différentes structures notamment celles de base (exploitation, maintenance) en équipement, matériels, pièces de rechange; et ce dans les meilleures conditions (qualités, prix et services).

#### **– Service d’achat :**

Par la connaissance et l’analyse des marchés fournisseur nationaux et internationaux, le service achat met à la disposition des utilisateurs tout bien d’investissement, équipement, pièce de rechange, matériel et autres produits d’entretien et ceci en temps opportun et au meilleur rapport quantité / prix afin de garantir la bonne marche des installations par conséquent la réalisation des programmes de transport des hydrocarbures qui est la finalité de la branche ATR.

Ce service est composé de 3 sections suivantes :

- ***Section achats locaux*** : s’occupe des achats sur le marché national.
- ***Section achats étranger*** : s’occupe des achats en provenance de l’étranger, du matériel et de l’équipement.
- ***Section achats transit*** : s’occupe du dédouanement du matériel commandé par la section achats étranger et son acheminement vers la section réception DRGB.

#### **– Service gestion technique :**

Il constitue un lien entre le service achat et les autres structures utilisatrices en matière de codification des articles, lors de la formulation des demandes d’achat; ce service gère aussi le patrimoine mobilier et immobilier (inventaire, affectation, amortissement et réforme) depuis leur réception jusqu’à la réforme. Il est composé de 3 sections : codification, équipement amortissable, réception / expédition.

#### **– Service gestion de stock :**

Il vielle à l’alimentation des magasins de stockage en pièces de rechange et matériels; et assure leur disponibilité en permanence surtout pour les pièces stratégiques. Il est composé de trois sections (3) : gestion de stock, ordonnancement, magasin.

---

– **Service transport :**

Il joue un rôle important en matière de coordination avec les utilisateurs des moyens de transport et le contrôle de l'activité de l'exploitation ; Il assure aussi le transport du personnel et des missionnaires de la RTC afin d'effectuer convenablement leurs tâches.

Ce service assure le transport de marchandises soit vers le magasin central de la RTC ou vers les différentes stations. Ce service est composé de trois (3) section qui sont : exploitation transport, gestion transport et station service.

– **Le service entretien et réception :**

Il assure l'entretien et la réception du parc roulant. Ce service dispose de deux (2) section qui sont : section planification et atelier mécanique autos.

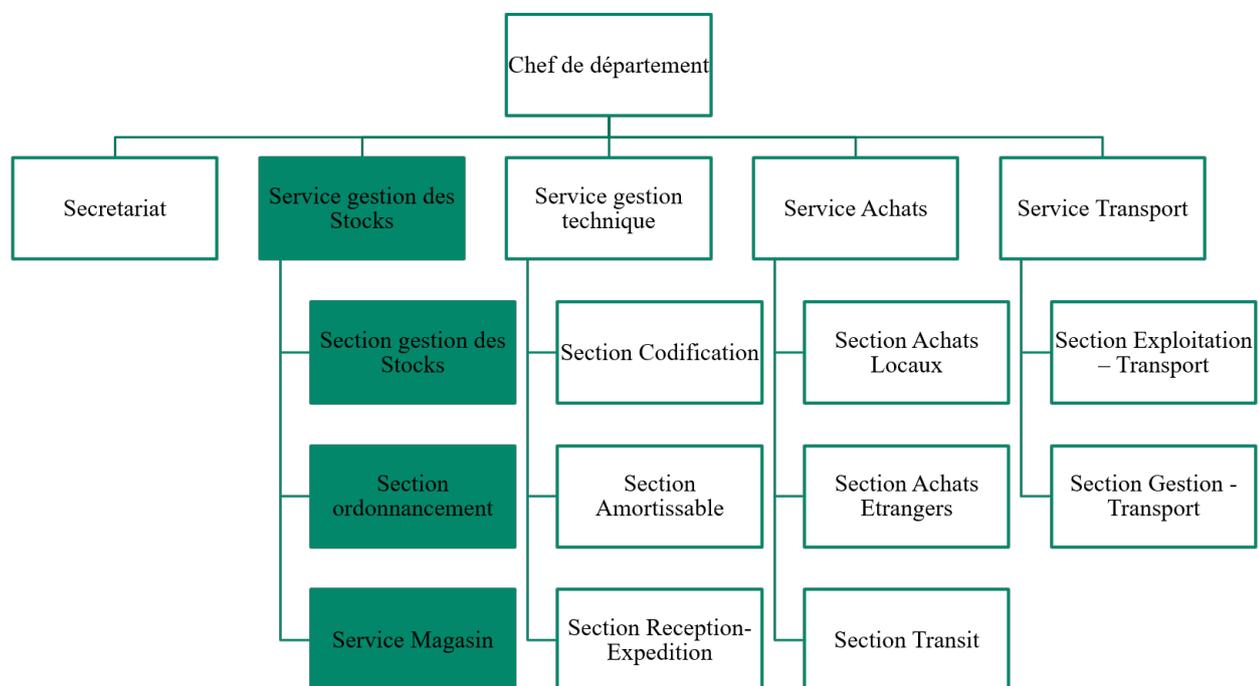


FIGURE 1.5 – Organigramme de l'ATR

Puisque notre thème porte sur la gestion des stocks, on s'intéresse alors à la présentation de ce service, ainsi que la répartition des tâches en section.

Pour avoir une bonne gestion au niveau des stocks, l'entreprise doit faire recours à un dispositif administratif qui effectuera toutes les opérations (valorisation, inventaire,... etc.) et qui est le service de la gestion des stocks.

Pour accomplir les missions qui lui sont assignées, le service de la gestion des stocks dispose de différentes sections auxquelles sont attribuées différentes tâches suivant l'organigramme de la figure (1.5).

---

### 1.3.4 Présentation du service gestion des stocks

L'intérêt accordé par la RTC à ses stocks est traduit par la création d'un service gestion des stocks, qui a pour objectif stratégique la gestion optimale des stocks de la région, en vue de réduire les coûts de stockage et éviter sa rupture. Afin de mener à bien cette tâche, l'entreprise doit avoir un dispositif qualifié qui effectuera les opérations de valorisation, comptabilisation, et de l'inventaire. [6]

\* **Section La gestion des stocks :**

Elle définit les matières et les matériaux qu'il faut stocker et leurs quantités respectives. Sa politique doit répondre à :

- ✓ la consommation pour entretien programmé des engins de la direction et matériels ;
- ✓ la consommation pour réparation en cas de panne ; au maintien du stock de sécurité.

Le travail de cette section consiste à l'enregistrement sur fiches de tous les flux du stock des magasins en exploitant les documents suivants :

- **BRC** : Bon de Réception de Commande .
- **BS** : Bon de Sortie de matériel.
- **BTS** : Bon de Transfère Sortie pour les sorties des magasins cédants.
- **BTE** : Bon de Transfère Entrée pour les entrée des magasins preneurs.
- **BR** : Bon de Retour des pièces au magasin.
- **DA** : Demande d'Achat pour le réapprovisionnement des stocks.

\* **Section ordonnancement :**

Elle est considérée comme le centre de liaison entre les finances et les achats. Elle vérifie et valorise les factures et les bons de réception fournisseur afin d'ordonner aux finances le paiement de ces derniers. Les documents de base sont :

- *Bon de réception fournisseur.*
- *Facture plus fiche d'enregistrement.*
- *Facture d'assurance.*
- *Facture de transport (air ou mer).*
- *Facture des droits de douane.*

\* **Section magasin :**

Elle a pour rôle de stocker les matériaux et d'assurer leur conservation et les mettre à disposition des utilisateurs.

---

Les articles sont stockés et classifiés par familles en tenant compte du volume, du poids et de la fréquence des mouvements. Chaque pièce est étiquetée pour identification et elle est rangée sur des étagères numérotées afin de faciliter la localisation rapide de l'article recherché.

Les magasiniers s'occupent des opérations de réception, de contrôle, de la mise en stocks et la distribution du matériel. Ils effectuent des inventaires permanents qui se font au moment des entrées ou des sorties ainsi qu'un inventaire physique des stocks généralement à la fin de l'année.

Le magasinier tient à jour son fichier en exploitant les documents suivant : *BRC*, *BS*, *BTS*, *BTE*, et *BR* .

### **Mission et Objectifs du service gestion des stocks**

Il a pour mission la gestion optimale des stocks en assurant le réapprovisionnement du magasin en pièces de rechange et d'autres produits en les comptabilisant sur le fichier central qui nous donne à tout moment l'état de l'inventaire permanent, contrôle les stocks et s'assure de la disponibilité des articles de façon économique et recense les articles à ne plus commander en fonction du planning d'exploitation.

Il participe aussi à l'élaboration de la nomenclature, à sa mise à jour et au regroupement des opérations d'inventaire étant un centre d'information de par les renseignements qu'il détient.

Il se présente comme un auxiliaire des services de la division entretien.

- Maintenir les stocks permettant d'assurer l'entretien et le bonne marche des installations industrielles ;
- Eviter le sur stockage (stock excédentaire) ;
- Eviter la rupture des stocks ;
- Déterminer les paramètres autorisant le déclenchement du processus de réapprovisionnement.

---

## 1.4 Position du Problème

Dans le contexte économique concurrentiel actuel, chaque entreprise est soumise à une évolution permanente et ceci quelle que soit sa taille, son activité et son passé. Les entreprises sont donc amenées à mettre en place des organisations capables de suivre la demande de leur clientèle et capables de réagir rapidement en cas de présence d'un problème.

Dans toute entreprise, la chaîne logistique est une question vitale, il s'agit d'un élément clé pour la régularité des activités d'une entreprise, elle met l'accent sur la flexibilité et la diminution du gaspillage de temps et des matières (diminution des coûts).

Les entreprises ont besoin d'une gestion de Stock résolument moderne et efficace, qui se traduit par la mise en œuvre de nouveaux principes de gestion de Stocks. Notre travail consiste à proposer une approche pour l'entreprise Sonatrach. Dans le magasin de Sonatrach, les articles sont gérés indépendamment les uns des autres, nous cherchons à :

- *Déterminer les quantités optimales à avoir en Stock pour éviter une éventuelle rupture (Combien ?) ;*
- *Déterminer les moments de réapprovisionnement optimaux en proposant le(les) modèle(s) de Gestion de Stocks estimé(s) approprié(s) afin de répondre aux besoins (Quand ?) ;*

En cas de rupture de Stocks, cela peut engendrer un arrêt de transport par le canal. Conséquemment, conduire l'entreprise à dépenser des coûts supplémentaires.

## CHAPITRE 2

# GESTION DES STOCKS

Dans chaque entreprise le stock consiste une richesse très importante et une valeur monétaire, cette valeur doit être administrée d'une manière rentable pour cette entreprise.

L'activité d'une entreprise se base sur sa capacité à maintenir un niveau de production et de vente plus au mois stable, et en évolution croissante, ces deux constantes sont condamnées au niveau de stock adéquat.

Pour bien comprendre la gestion des stocks, il faut bien saisir quelques notions fondamentales. On s'intéresse alors dans ce chapitre aux différentes définitions des stocks, les catégories et les niveaux ainsi que les rôles de celle-ci .

## 2.1 Notion et Notation de base

### 2.1.1 Définition des stocks

Il existe plusieurs définitions de stock :

- Un stock est défini comme une étape intermédiaire entre chaque phase d'exploitation, de production ou d'activité.
- Il s'agit des biens ou services entrant dans le cycle d'exploitation de l'entreprise pour être vendus en l'état ou après production ou transformation, ou être consommés à la première utilisation. Ils doivent appartenir à l'entreprise, et celle-ci doit en être propriétaire au moment de l'inventaire, qui signifie en particulier que les produits en cours d'acheminement ou reçu doivent être compris dans les stocks, mais dont la facture n'a pas encore été comptabilisée, et à l'inverse , les produits qui ont été

---

livrés aux clients mais non encore facturés doivent être exclus.

- Le stock correspond à l'ensemble des matières premières, marchandises, produits en cours de transformation et produits finis ainsi que leur conditionnement, qui sont à un moment donnée dans l'entreprise, en attente d'être transformés ou commercialisés.

### 2.1.2 Les Natures de stock

Le stock peut se présenter sous plusieurs natures : [10]

- (a) **Les marchandises** : C'est des produits qui sont destinés à être revendus en l'état sans subir aucune transformation.
- (b) **Les matières premières** : C'est des produits acquis par l'entreprise, et qui sont destinés à la transformation.
- (c) **Les produits semi-finis** : Ce sont des produits qui ont atteint un stade intermédiaire de fabrication par rapport à une autre production.
- (d) **Le stock d'emballages vides** : Qui représente les palettes, caisses...etc.
- (e) **Le stock de produit finis** : Ils ont atteint le stade final de transformation, destinés à la consommation.
- (f) **Les Stocks déchets et rebuts** : Représentent les résidus de toute nature, produits ouvrés ou semi ouvrés impropres à une utilisation ou à un écoulement normal.
- (g) **Stock de pièce de rechange** : Pièces d'équipements, de faible probabilité d'usure ou de destruction, mais de défaillance gravement dommageable à l'exploitation.

### 2.1.3 Les Formes de stock

On peut distinguer dans une entreprise trois formes de stock :

- \* **Stock d'approvisionnement** : C'est le stock d'achat, où toutes les matières dans l'entreprise sont gardées avant leur utilisation.
- \* **Stock Dépôt** : Il représente les stocks de contrôle des quantités et des qualités.
- \* **Le stock magasin** : C'est le stock qui est destiné directement à la vente.

---

## 2.1.4 La Classification des stocks selon leur utilisation

La classification peut se faire selon les différents angles . [13]

◦ *Classification Comptable :*

Toutes les entreprises qui doivent tenir une comptabilité se réfèrent au plan comptable et à ses 8 classes de comptes dont :

- Classe 1 : Les comptes de capitaux.
- Classe 2 : Les comptes d'immobilisations.
- Classe 3 : Les comptes de stocks et en-cours.
- Classe 4 : Les comptes de tiers.
- Classe 5 : Les comptes financiers.
- Classe 6 : Les comptes de charges.
- Classe 7 : Les comptes de produits.
- Classe 8 : Les comptes spéciaux.

et comme mentionnés dans la liste précédente les comptes de stocks correspondent en comptabilité aux comptes de la classe (3) du PCG (Plan Comptable général); où en prend en considération :

- Les marchandises.
- Les matières premières et fournitures.
- Les produits semi-finis .
- Les produits en-cours de production .
- Stock de produit finis .
- Stock de déchets et rebuts .
- Stock des pièces de rechange.
- Stock d'emballage.

◦ *Classification selon leurs utilisations :*

Nature et utilisation de stock permettent cette classification.

- **Les stocks d'exploitations :** Contribuent directement aux processus de fabrication ou de vente. Ces stocks entrent dans le cadre de l'objectif principale de l'entreprise, exemple (matière consommable).
- **Les stocks de fonctionnement :** Ils sont nécessaires à la satisfaction des Besoins complémentaires de l'entreprise.

---

◦ *Classification selon les fréquences des mouvements :*

Les stocks peuvent être différenciés selon leur mouvement d'entrée et de sortie du lieu de stockage, ils sont classés comme suit :

- **Les Stocks à rotation rapide :** Ce sont les stocks qui ont une fréquence de mouvement (*entrées ; sorties*) très élevée.
- **Les Stocks à rotation faible :** Ce sont les stocks qui présentent une fréquence de mouvement moins élevée par rapport à la première définition.
- **Les Stocks dormant :** Ce sont des stocks qui ont au moins dix mouvements par année.
- **Les Stock morts :** C'est les stocks inutilisables dont les mouvements sont nuls.

### 2.1.5 Les Différents Niveaux de Stock

La nature de la demande, des livraisons, le caractère dynamique d'un stock, ainsi que la politique de stockage elles même ont engendré l'apparition de plusieurs types de stock tels que :

#### 1. Stock de Sécurité :[1][11]

Il est appelé aussi stock de protection, destiné à atténuer les risques dus au caractère aléatoire tant de l'approvisionnement que de la consommation.

Une entreprise qui possède un stock minimum peut cependant se trouver en rupture de stock si :

- Le fournisseur ne respecte pas le délai de livraison (retard de livraison).(Représentation d'une situation de retard de livraison est illustrer dans la figure (2.1)).
- Le fournisseur effectue une livraison non conforme ou défectueuse, c'est-à-dire, retourner cette livraison et attendre la nouvelle.
- Accélération des consommations ou mauvaises prévisions. La consommation s'accélère pendant le délai de livraison, ou les prévisions de consommation ont été mal faites ce qui entraîne une rupture de stock. (Représentation d'une situation de Consommation accélérée est illustrer dans la figure (2.2) ).
- Pour se prémunir du risque de rupture de stock, il faut donc avoir un stock de sécurité en cas de consommation accélérée qui nous permettra de répondre aux besoins de cette dernière.(Représentation d'une situation de stock de sécurité est illustrer dans la figure (2.3)).

*Méthode de calcul :* \_\_\_\_\_

$$\text{Stock de Sécurité} = \text{Stock d'alerte} - \text{Stock Minimum}$$

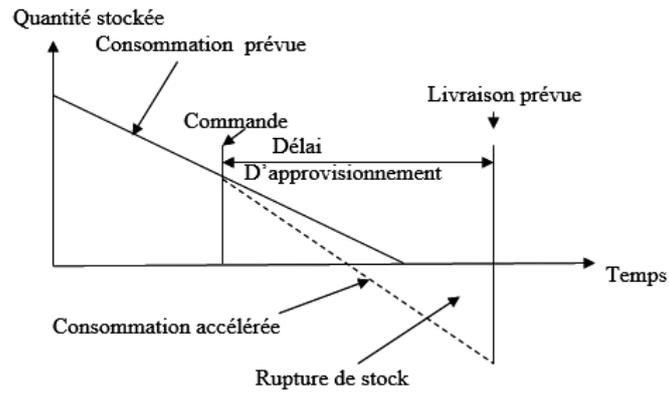


FIGURE 2.1 – Consommation Accélérer .

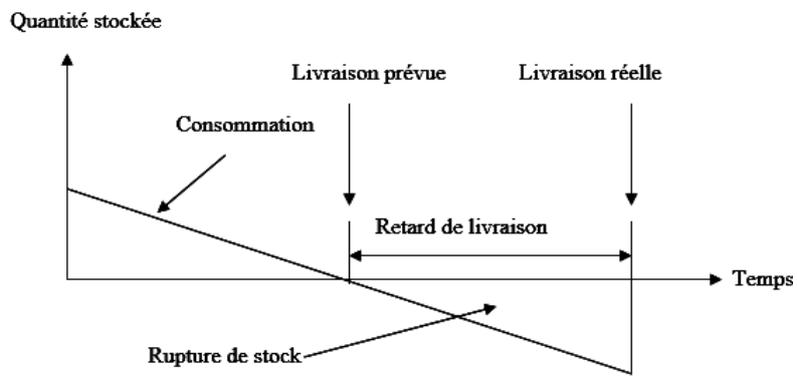


FIGURE 2.2 – Retard de Livraison .

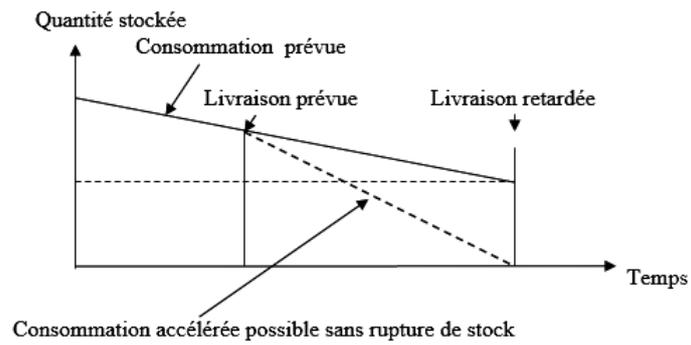


FIGURE 2.3 – Stock de Sécurité.

---

## 2. Le Stock d'Alerte :[11]

C'est la quantité qui détermine le déclenchement de la commande. le stock d'alerte est le niveau de stock vers lequel on lance la commande on l'appelle aussi : stock d'alarme, stock critique.

Le délai de livraison est la durée de la commande et la livraison.

*Méthode de calcul :*

$$\text{Stock d'Alerte} = \text{Stock de Sécurité} + \text{Stock Minimum} .$$

## 3. Le Stock Maximum :[1]

C'est le niveau de stock dont il ne faut pas dépasser, pour un certain nombre de contraintes :

- Limitation des aires de stockage ;
- La contrainte du sur-stockage pour des quantités qui ont une date limite de consommation (D.L.C) ;
- Les raisons de sécurité ;
- L'immobilisation de capitaux.

*Méthode de calcul :*

$$\text{Stock Maximum} = \text{Stock de Sécurité} + \text{Série d'approvisionnement}$$

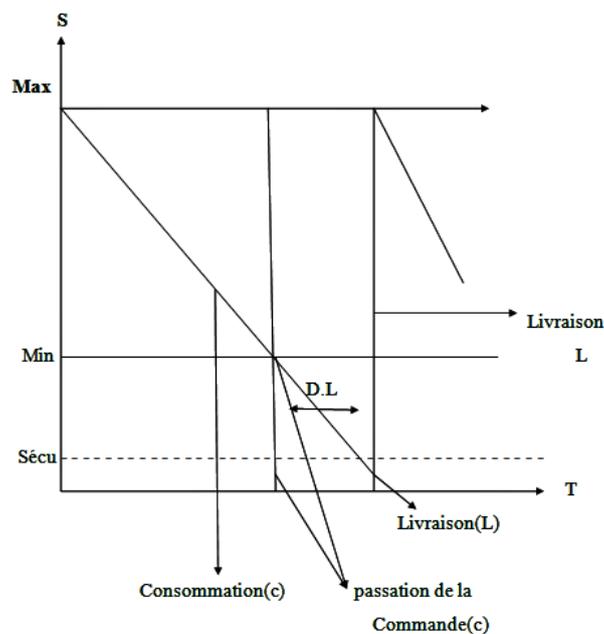


FIGURE 2.4 – Représentation Graphique du Stock Maximum.

---

**L** : Date de réception de la Livraison .  
**D.L** : Délai de livraison (La durée entre la date de passation de la commande et la date de réception de la Livraison ).  
**S** : Stock Maximale .  
**T** : Temps .

#### 4. Le Stock Minimum : [1]

Le niveau le plus bas du stock déclenchant la passation de commande lorsqu'il est attendu. Il permet de couvrir la consommation durant le délai d'approvisionnement (date d'émission de la commande et date de livraison de l'article).

*Méthode de calcul :*

Le Stock Minimum = Stock d'alerte - Stock de Sécurité.

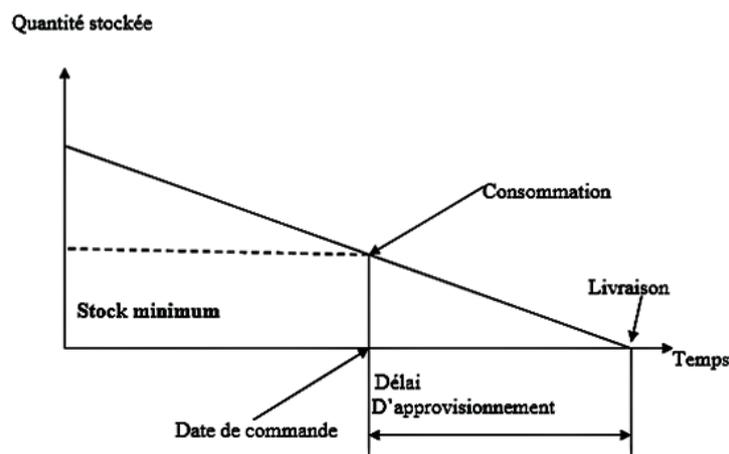


FIGURE 2.5 – Représentation Graphique du Stock Minimum.

#### 5. Le Stock Moyen :

Il s'agit du stock optimum susceptible de couvrir les consommations habituelles de l'entreprise et découlant de son plan de charge.

En d'autres termes, il s'agit du stock qui permet de gérer l'activité (cycle d'exploitation) sans rupture de stock tout en garantissant l'approvisionnement normal de l'entreprise.

#### 6. Le Stock Cyclique :

Il résulte de la différence entre le stock théorique et le stock de sécurité, il s'agit par conséquent d'un stock d'approvisionnement.

---

### 7. Le stock Théorique :

C'est le stock qui existe sur le document de la gestion des stocks .

*Méthode de calcul :* \_\_\_\_\_

$$\text{Stock Final} = \text{Le Stock Initial} + \text{Les Entrées} - \text{Les Sorties} .$$

### 8. Le Stock Réel :

C'est le stock physique qui existe sur le rayon du magasin.

### 9. Le Stock Disponible :

Est le stock réel soustrait des quantités à livrer à un client.

*Méthode de calcul :* \_\_\_\_\_

$$\text{Stock Disponible} = \text{Stock Réel} - \text{Quantité à livrer à un client} .$$

### 10. Le Stock Virtuel :

Le "stock virtuel" représente le stock, l'inventaire ou la quantité d'unités qui sera détenu dans notre entrepôt dans un avenir proche .

*Méthode de calcul :* \_\_\_\_\_

$$\text{Stock Virtuel} = \text{Stock Disponible} + \text{Commandes à recevoir ultérieurement} .$$

### 11. Le Stock Mort :

C'est le stock dont les flux d'entrée et de sortie sont nuls, à cause de l'obsolescence de produits.

### 12. Le Stock Tampon :

C'est une quantité stockée pour une période courte afin de mettre le produit à des contrôles qualitatifs, ce dernier intervient entre la production et la commercialisation du produit.

### 13. Le Stock Actif (Cyclique) :

Est la quantité variable dans le stock .

---

*Méthode de calcul :*

$$\text{Stock Actif} = \text{Stock Initial} - \text{Stock Final.}$$
$$\text{Stock Actif} = \text{Stock Maximum} - \text{Stock de Sécurité .}$$

### 2.1.6 Le Rôle des Stocks

Sans doute, l'importance que donnent les entreprises actuellement aux stocks et leur gestion, est un signe de l'impacte que le stock a sur la détermination de la performance de cette organisation.

Parmi ces rôles, on recense les plus importants à savoir :

#### 1. *Répondre à la demande anticipée :*

On entend par la demande anticipée de la clientèle toute demande manifeste à un temps T, afin de satisfaire un besoin immédiat. Donc chaque entreprise possède un stock spécial de produits finis qui répond à des demandes pareilles.

#### 2. *Éliminer les risques de pénurie :*

Les stocks jouent un très grand rôle dans le but d'éliminer les risques de pénuries. Parmi les causes de ces pénuries, on recense :

- Les livraisons retardées.
- Les conditions climatiques défavorables.
- Ruptures des stocks chez les fournisseurs.
- Les problèmes de qualités.

Donc, dans le but de riposter à temps, les entreprises utilisent les stocks et plus exactement les stocks de sécurité. Ceux-ci permettent de composer pour les variations de la demande et du délai d'approvisionnement .

#### 3. *Minimiser le nombre de commande :*

Stocker et avec de grandes quantités permet pour l'entreprise de réduire le nombre de commande passée aux fournisseurs. Donc au lieu de passer par des commandes en grandes quantités qui sont plus économiques. Dans ce cas, les entreprises rencontrent le problème des coûts engendrés par le stockage de quantités pour un usage futur.

En fait, L'entreposage des quantités énormes permet aux entreprises d'acheter et de produire de façon économique.

---

#### 4. *Se protéger des augmentations de prix :*

Quand l'entreprise prévoit des augmentations des prix des matières dont elle a besoin pour son fonctionnement normal, elle achète en grandes quantités , et donc stocker .Par conséquent, elle sera plus protégée des répercutions qu'aura cette hausse des prix des matières commandées sur sa performance.

#### 5. *Profiter des remises sur achats en gros :*

Si l'entreprise a les capacités d'entreposage ou de stockage de quantités supplémentaires, elle pourra profiter des remises accordées sur achat de grandes quantités par les fournisseurs , ce qui lui (l'entreprise) donnera l'occasion de baisser encore son prix de production et donc être plus compétitive par rapport à la concurrence .

### 2.1.7 Les objectifs du stock

- ✓ Faire face à la rupture du stock ;
- ✓ La chaine de production ne s'arrête pas ;
- ✓ Stocker en période de baisse de prix ;
- ✓ Faire face aux pénuries qui existent sur le marché ;
- ✓ Faire face à l'accélération de la consommation ;
- ✓ Faire face aux retards liés à la livraison.

### 2.1.8 Les avantages et les inconvénients du stock

#### Les avantages :

- Faire face aux retards liés au transport ;
- Eviter les risque de pénuries ;
- Satisfaire une demande imprévue ;
- Stockage des produits couteux dans un but d'escompte ;
- Achat en quantité importante pour bénéficier ;
- Achat à bas prix durant les périodes favorables ;
- Régulation de la production pour assurer une continuité dans la fabrication.

#### Les inconvénients :

- Les stocks aux caractères périssables de certains produits dont la durée et condition nécessite une surveillance particulière ;
- L'immobilisation d'une part plus au moins grandes de la trésorerie, sans aucun profit ;

- 
- Ils coûtent très cher ;
  - Ils nécessitent des moyens énormes (magasin, dépôts...)
  - Ils peuvent devenir inutiles (changement de mode, progrès technique) ;
  - Ils peuvent être sujet de divers dangers tels que les incendies, les vols...

## 2.1.9 L'utilité des stocks

Le stock assure la consommation régulière du produit, même s'il y a une certaine fluctuation à la fabrication, le stock permet la flexibilité à l'entreprise dans la programmation de sa production et de sa consommation, il amortit et donne de l'équilibre sur les effets des fluctuations saisonnières ou cyclique des commandes, dans un pays à forte inflation, le stock permet, dans un but spéculatif, un achat à bas prix pour une revente à la hausse, il sert aussi à parer à la pénurie, aux conséquences imprévues d'accident qui peuvent influencer l'arrêt des machines à n'importe quel moment, également, il répond au souci de la direction dans la stabilité d'emploi du personnel .

### 2.1.10 Les différents coûts de stock

Les stocks supportent trois sortes de frais. Les frais de passation de commande (frais d'acquisition), les frais de possession de stock et les frais de rupture de stock. Pour arriver à une bonne gestion de stock, il faut minimiser ses trois catégories de frais.

#### Le coût de lancement (passation de commande)

Chaque commande d'achat ou ordre de fabrication coûte à l'entreprise. Le coût de lancement ou coût de passation des commandes représente tous les frais liés au fait de passer une commande et qui est supposé être proportionnel au nombre de commandes passées dans l'année.

✓ **Approvisionnement :**

Le coût d'une commande est obtenu en divisant le coût total de fonctionnement du service achat par une grandeur significative et pertinente, par exemple le nombre de commandes passées annuellement.

✓ **Lancement en fabrication :**

Le coût d'un lancement en fabrication est obtenu en divisant le Coût total de fonctionnement du service ordonnancement, auquel il faut ajouter les coûts de réglage des machines par le nombre de lancements en fabrication.

---

## Le coût de possession de stock

Le coût de possession du stock est constitué des charges liées au stockage physique mais également du non rémunération des capitaux (charges financières) immobilisés dans le stock (voire le coût des capitaux empruntés pour financer le stock). Pour cette dernière raison, ce coût est considéré comme étant proportionnel à la valeur du stock moyen et à la durée de détention de ce stock.

Ces frais de possession couvrent :

- ✓ l'intérêt du capital immobilisé,
- ✓ les coûts de magasinage (loyer et entretien des locaux, assurance, frais de personnel et de manutention, gardiennage..), les détériorations du matériel, les risques d'obsolescence.

## Les frais de rupture de stock

Ce sont les frais engagés par le fait qu'à un moment donné, le stock étant épuisé, il n'est plus possible de satisfaire la demande.

La rupture de stock peut engendrer un manque à gagner, la perte d'un client, une pénalité de retard de livraison, une augmentation de coût de revient par substitution de matière, l'achat ou la location d'un produit de remplacement, un arrêt plus au moins long de fabrication, un chômage technique partiel, un dépannage coûteux ... Il est généralement très difficile, voir impossible d'évaluer de tels coûts, mais on peut affirmer que tout aussi généralement, ils sont très élevés.

## 2.2 Règles de contrôle

Pour contrôler le système, le gestionnaire peut choisir entre plusieurs règles de contrôle. Définir une politique de réapprovisionnement consiste essentiellement à répondre à trois questions : [8]

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

En fonction de *quoi* ? Les choix suivants se présentent :

- ✓ Date ou quantité **FIXE**.
- ✓ Date ou quantité **VARIABLE**.

---

Suivant les combinaisons des réponses, il est donc possible de définir quatre politiques de base pour réapprovisionnement du stock.

Chaque politique est adaptée à un produit ou à une catégorie de produits. Cela conduit fréquemment à l'utilisation de plusieurs politiques, voire les quatre politiques simultanément.

La difficulté pour le gestionnaire consiste à choisir la meilleure politique adaptée à chaque produit, afin d'éviter les ruptures de stock et les immobilisations financières importantes.

### 2.2.1 Réapprovisionnement à Date et Quantité fixes

Dite aussi méthode "calendaire", les livraisons de pièces se font à dates fixes. Les quantités livrées sont égales et peuvent se rapprocher de **la quantité économique** ou correspondre à une livraison partielle d'un contrat annuel.

Méthode appliquée à des produits :

- dont la consommation est régulière
- de faible valeur

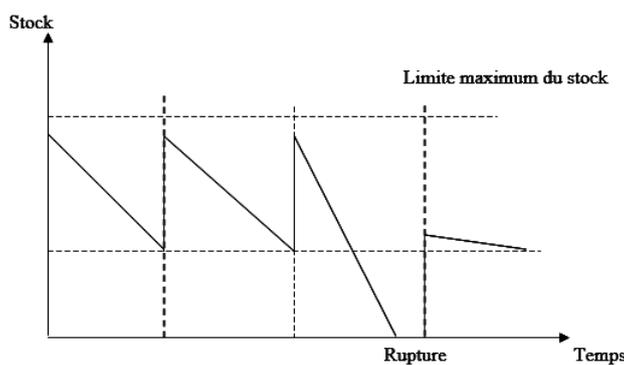


FIGURE 2.6 – Réapprovisionnement à Date fixes et Quantité fixes.

#### *Avantages :*

- ✓ Simplicité de la gestion des stocks ;
- ✓ Gains d'échelle négociables par les acheteurs.

#### *Inconvénient :*

- ✓ Si la quantité de réapprovisionnement est mal calculée ou si la consommation n'est pas régulière, il y a risque "d'inflation" ou de rupture de stock.
- ✓ Les livraisons urgentes ou hors contrat, peuvent être très coûteuses.

### 2.2.2 Réapprovisionnement à Date fixe et Quantité variable

Egalement appelée **méthode de reemplètement**, pour chaque produit un niveau optimum de stock est défini. A période fixe, le magasinier analyse son stock et commande la quantité permettant de reempléter au niveau requis. Cette méthode s'applique à des produits :

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

Il est possible de faire des périodes d'inventaire ou d'analyse, différentes suivant les catégories de produits.

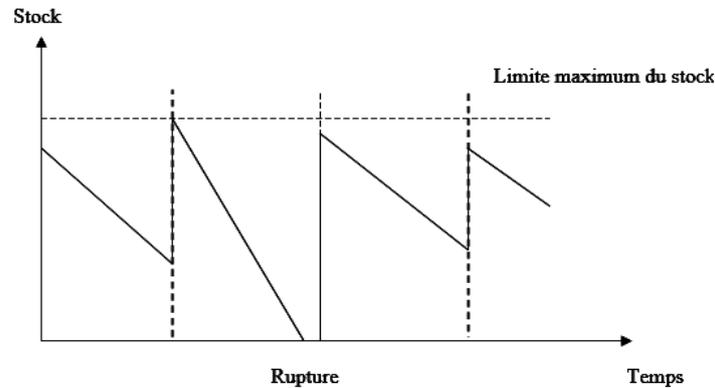


FIGURE 2.7 – Réapprovisionnement à Date fixe et Quantité variable.

***Avantage :***

- ✓ Gestion des stocks simple.
- ✓ Immobilisation financière faible ou maîtrisée.

***Inconvénient :***

- ✓ Possibilité de rupture de stock.

### 2.2.3 Réapprovisionnement à Date variable et Quantité fixe

Plus connue sous le nom de **méthode de point de commande**, celle-ci consiste à définir, dans un concept de flux tiré et de juste à temps, le niveau de stock qui déclenche l'ordre d'achat, de façon à être livré juste au moment de l'utilisation de la dernière pièce.

Le niveau de stock (point de commande) doit permettre de satisfaire les besoins durant le délai allant de la date de déclenchement de la commande à la date de livraison. Le point de commande s'appelle également seuil de commande ou seuil de réapprovisionnement.

Cette technique est utilisée essentiellement pour les articles des produits importants car elle demande un suivi permanent des stocks entraînant un coût de gestion élevé.

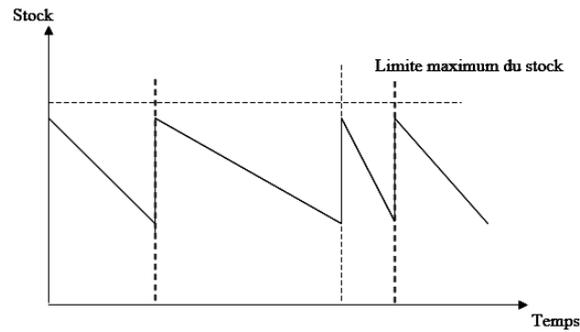


FIGURE 2.8 – Réapprovisionnement à Date variable et Quantité fixe.

**Avantage :**

- ✓ Permet d'éviter les ruptures de stocks.
- ✓ Adapté à une consommation partiellement irrégulière.

**Inconvénient :**

- ✓ Impose un suivi permanent des stocks pouvant entraîner des coûts administratifs importants.
- ✓ Peut encourager à faire des stocks de sécurité.

## 2.2.4 Réapprovisionnement à Date et Quantité variables

Cette méthode est principalement utilisée pour les articles de classe A dont les prix de revient varient fortement ou dont la disponibilité n'est pas permanente.

L'achat se fait sur estimation en fonction des opportunités du marché. Dans les estimations, il faudra prévoir les besoins pour les commandes spécifiques, les fabrications de l'entreprise, les aléas de fabrication...

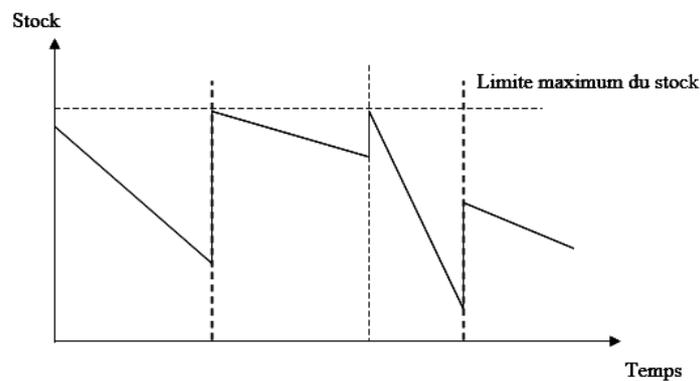


FIGURE 2.9 – Réapprovisionnement à Date variable et Quantité variable.

---

**Avantage :**

- ✓ Permet, éventuellement, de profiter de tarif très intéressant.

**Inconvénient :**

- ✓ Il faut faire un suivi permanent des coûts du marché pour effectuer les achats les plus intéressants.
- ✓ Il ne peut être utilisé que pour un nombre réduit d'article sinon l'entreprise risque de se fragiliser,
- ✓ Il peut favoriser la spéculation.

**Résumé :**

Le tableau (2.1) résume les quatre politiques possibles en fonction des paramètres date et quantité.

Combinaisons de politiques	Date Fixe	Date Variable
Quantité Fixe	Approvisionnements "automatiques"	Point de commande
Quantité Variable	méthode de reapprovisionnement	Achats opportunistes

TABLE 2.1 – les politiques de réapprovisionnement

En fonction des coûts d'achats, la difficulté d'approvisionner, les délais, etc. relatifs à chaque référence, à chaque produit, on choisira la politique la plus appropriée.

---

## 2.3 Classification des stocks

Afin de tenir une saine gestion des stocks et même une bonne gestion de l'entreprise, il est impératif de chercher à développer des méthodes de gestion et de ne pas se limiter à un suivi d'écritures des flux d'entrées et de sorties de matières sur des documents comptables, mais, ajouter de nouvelles méthodes aux anciennes .

### 2.3.1 Classement ABC

La méthode ABC (Activity Based Costing) est une méthode consistant à classer un référentiel par ordre décroissant des sorties. On se basant sur l'idée communément admise qu'environ 20% des références représentent 80% des ventes. Lors d'une analyse il est donc primordial de s'attaquer en priorité à ces références. La méthode ABC permet de faire une analyse plus fine que le simple calcul du coût de revient. [19]

La méthode ABC suit le principe suivant : (On divise le référentiel en trois groupes)

- la classe A : 5% à 10% des articles consommés représentent 50% à 60% de la valeur totale des stocks.
- la classe B : 25% à 30% des articles consommés représentent 25% à 30% de la valeur totale des stocks.
- et la classe C : 60% à 70% des articles consommés représentent 5% à 10% de la valeur totale des stocks.

La Méthode ABC permet de connaître les références qui méritent une attention particulière.

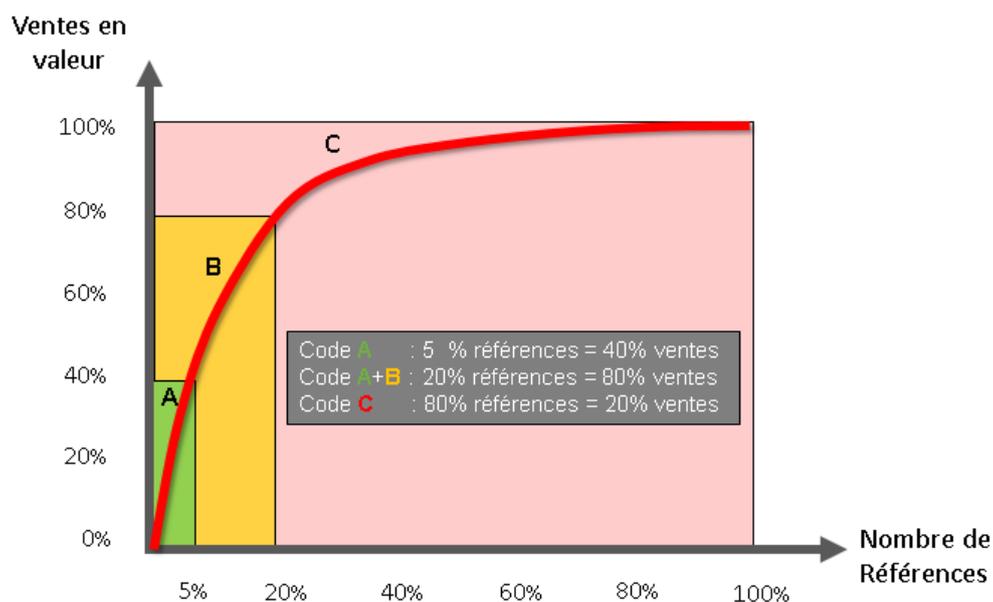


FIGURE 2.10 – Courbe de classification des articles par la méthode ABC.

---

### **Les étapes de classification :**

- ✓ Classer les articles par ordre décroissant du critère utilisé.
- ✓ Calculer les pourcentages cumulés du critère utilisé.
- ✓ Déterminer les fréquences cumulées, exprimés en pourcentage sur le nombre d'articles.
- ✓ Déterminer les trois classes A, B et C.

### **Avantages et Inconvénient :**

#### ***Avantages :***

La méthode ABC présente l'avantage d'affecter de manière plus précise les coûts aux produits sans procéder à une répartition des coûts indirects à l'aide d'une unité de mesure souvent arbitraire (par exemple, les heures machines). Une meilleure connaissance des processus permet de dégager les forces et faiblesses d'une organisation à la mise en place de cette méthode.

#### ***Inconvénients :***

L'un des défauts de la méthode ABC (chaque outil a ses qualités et défauts) est qu'elle ne prend pas en compte la volatilité des ventes de la consommation. Il faut alors se tourner vers une classification ABC XYZ.

### **L'analyse ABC - XYZ**

**Objectifs :** L'analyse XYZ complète l'analyse ABC ; elle est utilisée pour catégoriser les articles en fonction de leur prévisibilité (ou plutôt leur volatilité).

Cette catégorisation va pouvoir être utilisée par :

- Les prévisionnistes .
- Les responsables du dimensionnement de stock (Parfois approvisionneurs, parfois pilote de flux, parfois Supply chain Manager).

Grâce à la classe ABC XYZ, il est possible de :

- Mettre en place des règles intelligentes de calcul de réapprovisionnement, de gestion de stock et d'analyse.
- Adapter le processus de planification de la supply chain afin de piloter le coût de stock et de maximiser le niveau de service.

---

**Définition :** La classe XYZ reflète la stabilité des consommations. On peut imaginer que plus un produit est stable plus il est simple à prévoir.

- La classe X regroupe les produits avec des ventes stables.
- La classe Y regroupe les produits avec des ventes volatiles.
- La classe Z regroupe les produits avec des ventes très volatiles.

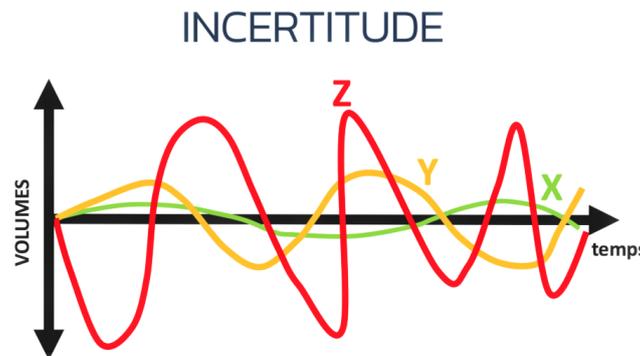


FIGURE 2.11 – Exemple de produits XYZ.

Dans la figure (2.11) les 3 produits ont le même volume moyen cependant ils ont des incertitudes différentes. Si nous désirons atteindre le même niveau de service pour le produit Z et le produit X, il faudra prendre plus de sécurité avec le produit Z.

**Comment calculer la classe XYZ ?** Pour calculer la classe XYZ, il suffit de :

- Récupérer l'historique mensuel de la dernière année. On récupérera l'historique hebdomadaire si jamais les DLC des produits sont courtes.
- Calculer la moyenne des ventes et l'écart type des ventes.
- Calculer le coefficient de variation :  $[\text{coef de variation}] = [\text{Ecart type des ventes}] / [\text{Moyenne des ventes}]$ .
- Déterminer les bornes des classes X, Y et Z. Par exemple : Classe X lorsque le coefficient est en dessous de 15%, 45% pour la classe Y et classe Z au-delà. Tous les marchés ne sont pas égaux devant la stabilité des ventes. Il n'y a donc pas de règle unique pour déterminer ces limites.
- Affecter les classes en fonction.

**Utilisation dans la gestion de stock :** La gestion de stock doit dépendre de la stratégie de l'entreprise. Vouloir avoir un très haut taux de service sur la totalité de ses références est donc rarement le meilleur objectif. En effet, atteindre un taux de service élevé sur des produits erratiques coûte très cher en stock.

La classe ABC XYZ va permettre de fixer des objectifs de taux de service client. La classe XYZ reflète l'incertitude des ventes d'un produit. Il va donc être nécessaire d'avoir

---

plus de stock sur les AZ que sur les AX pour atteindre le même niveau de service.

- **AX** et **BX** regroupent les produits qui ont des ventes stables donc peu d'incertitude. Malgré leur importance une couverture de stock faible sur ces produits est suffisante.
- **AY** présentent un risque faible car la rotation de stock est importante, il faut avoir une couverture de stock moyenne sur ces références.
- **AZ** sont très volatiles mais ils peuvent représenter une part importante du business. Il est donc nécessaire d'avoir une grosse couverture de stock sur ces références.
- **BY** et **CX** présentent un risque mesuré, il est donc raisonnable de prendre une couverture de stock moyenne.
- **CY** et **BZ** devraient être gérés entièrement en automatique et le paramétrage dépend de la stratégie de l'entreprise. Si les articles sont chers et la trésorerie une préoccupation, limiter le stock de ces classes en acceptant la rupture peut être une solution à creuser.
- **CZ** sont les produits erratiques qui rapportent peu de chiffre d'affaires. L'idéal est de passer peu de temps sur ces produits et d'en avoir peu en stock. Cela signifie accepter d'être en rupture mais représente une économie en valeur de stock conséquente. De plus, il peut être intéressant de se poser la question de proposer à ses clients ces produits sur commande ou même de les déréférencer.

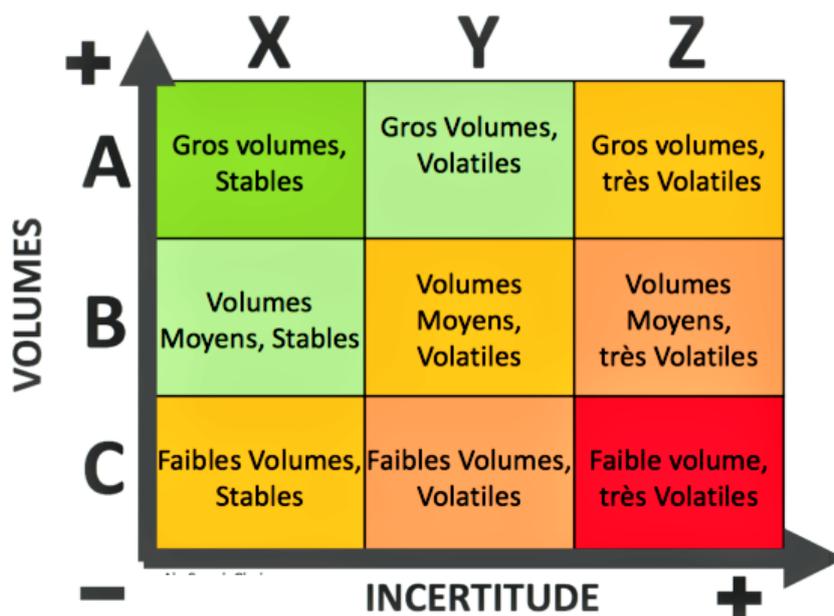


FIGURE 2.12 – Principe ABC-XYZ.

---

## 2.4 Modèles de gestion des stocks

Il existe dans la littérature plusieurs modèles de gestion des stocks. On parlera dans cette partie de deux grandes catégories, il s'agit des modèles déterministes et des modèles stochastiques.

### 2.4.1 Modèles déterministes

On parle de modèle déterministe de gestion des stocks, lorsque la demande et le délai d'approvisionnement sont connus à l'avance.

#### Modèle de Wilson :[7]

Le modèle de Wilson, aussi appelé EOQ (pour Economic Order Quantity), est une méthode de calcul mathématique permettant de connaître la fréquence et la quantité des commandes à passer auprès d'un fournisseur pour assurer une bonne gestion des stocks.

Bien que ce modèle soit souvent associé à l'approvisionnement en matières premières et à la gestion optimale des stocks, il convient de noter que la méthodologie de Wilson peut en réalité être appliquée à tout type de marchandise.

Le modèle de WILSON est bâti sur un certain nombre d'hypothèses restrictives. Ces hypothèses sont les suivantes :

- La demande ou la consommation est connue avec certitude et régulière, constante et continue ;
- Les livraisons se font en lot ;
- Les coûts de possession et les coûts de commande sont constants et connus ;
- Les coûts d'acquisition est fixe ;
- Aucune pénurie n'est admise (aucun retard n'est admis) .

Ces hypothèses sont généralement respectées pour les produits finis ou marchandises dont la demande est indépendante et régulière.

---

## Calcul de la quantité économique :

Posons :

- $N$  : le nombre de pièces consommées (fabriquées ou achetées)
- $Q$  : le nombre de pièces approvisionnées ou lancées en fabrication en une seule fois
- $P_u$  : le prix unitaire de l'article .
- $s$  : le stock de sécurité envisagé pour cette article .
- $\tau$  : le taux de possession de l'entreprise exprimée en %
- $C_L$  : le coût d'approvisionnement ou de lancement de commande .

## Calcul des coûts :

- **Le nombre annuel de lancements de commande**  $= \frac{N}{Q}$
- **Le coût annuel de lancement de commande**  $= \frac{N}{Q} \times C_L$
- **Stock moyen dans l'entreprise**  $= \frac{Q}{2} + S - s$
- **Coût annuel de possession de stock**  $= (\frac{Q}{2} + S - s) \times \tau \times P_u$
- **Coût total de gestion**  $C_T = [\frac{N}{Q} \times C_L] + [(\frac{Q}{2} + S - s) \times \tau \times P_u]$

Trouver la quantité économique ( $Q_e$ ), c'est trouver la valeur de ( $Q$ ) pour laquelle le coût total est minimal, c'est à dire la valeur ( $Q_e$ ) pour laquelle la dérivée du coût total par rapport à la quantité est forcément nulle.

$$\frac{\delta C_T}{\delta Q} = -\left(\frac{N}{Q_e^2}\right) \times C_L + \left(\frac{1}{2}\right) \times (\tau \times P_u)$$

$$\Rightarrow -\left(\frac{N}{Q_e^2}\right) \times C_L + \left(\frac{1}{2}\right) \times (\tau \times P_u) = 0$$

et la dérivée seconde :

$$\Rightarrow \frac{\delta^2 C_T}{\delta^2 Q} = \frac{-2 \times N \times C_L}{Q_e^3}$$

D'où la formule de Wilson

$$Q_e = \sqrt{\frac{(2 \times N \times C_L)}{(\tau \times P_u)}} \quad (2.1)$$

---

– **Modèle de Wilson pour plusieurs articles :**

Supposons que le stock en question est constitué de plusieurs articles. Il existe dans ce cas plusieurs types de contraintes qui peuvent les relier. Nous citons :

- la capacité de stockage ;
- le maximum sur le capital à investir ;
- le nombre maximal de commandes susceptibles d'être supportées par l'entreprise.

S'il n'existe aucune contrainte reliant les différents objets, alors la quantité optimal à commander  $Q_e^i$  du  $i^{me}$  article est la suivante :

$$Q_e^i = \sqrt{\frac{2 \times N_i \times h_i}{(\tau_i \times P_u^i)}} \quad (2.2)$$

où :

- $N_i$  : La demande annuel du  $i^{me}$  article .
- $\tau_i$  : Le taux de possession du  $i^{me}$  article .
- $P_u^i$  : Le prix unitaire du  $i^{me}$  article .
- $h_i$  : Coût unitaire de réapprovisionnement du  $i^{me}$  article .

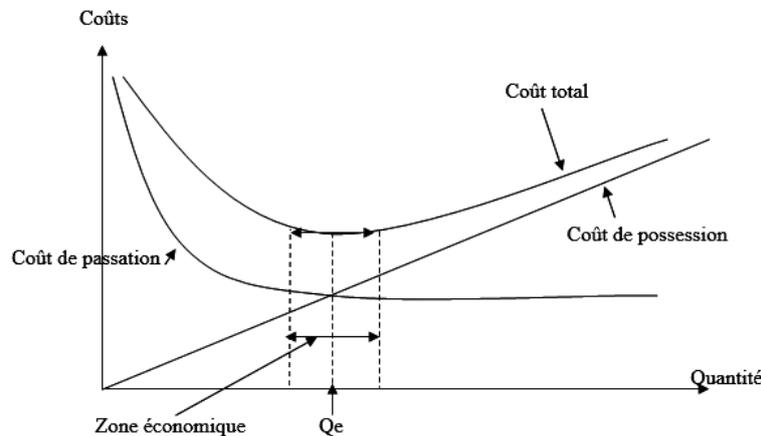


FIGURE 2.13 – La courbe de Wilson.

La quantité économique se trouve à l'intersection des deux courbes, lancement et possession, ou au point d'inflexion de la courbe cumulée (Illustration dans la figure (2.13)). Dans la pratique toutefois, il sera impossible de commander exactement la quantité économique. On choisira alors une taille de lot répondant aux diverses contraintes et comprise dans la "zone économique".

---

## 2.4.2 Modèles stochastiques

Pour ces modèles la demande et/ou le délai de livraison changent d'une manière aléatoire.

L'objectif tracé est d'atteindre un certain niveau de service ou de minimiser le coût total de gestion.

Le problème consiste à déterminer, pour un niveau de service donné [5], après avoir déterminé les lois qui gouvernent la demande et le délai de livraison, on cherche

- la quantité à commander ;
- le moment de lancer la commande.

Parmi les modèles stochastiques existant, nous citons :

### Modèle à point de commande ( $Q,r$ )

Cette politique est à suivi continu. Elle consiste à commander une quantité fixe  $Q$  chaque fois que la position du stock descend au dessous d'un seuil appelé point de commande, et noté  $r$ . La commande est réceptionnée à l'issue du délai d'approvisionnement  $D.L$

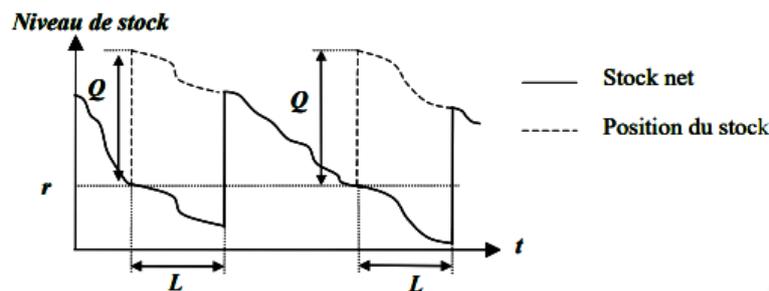


FIGURE 2.14 – Modèle à point de commande ( $Q,r$ ).

Notons que dans le cas de cette politique, l'instant de passation de commande est variable : si la demande est plus grande que la moyenne, le point de commande sera atteint plus tôt ; si la demande se ralentit, le point de commande sera atteint plus tard. Le stock correspondant au point de commande a pour but de couvrir la demande jusqu'à la réception de la commande. Son niveau est donc au moins égal à la demande pendant le délai d'approvisionnement.

Du fait que cette politique soit à suivi continu, la connaissance du stock disponible à tout instant est nécessaire pour être alerté dès qu'un produit atteint son point de commande. Ceci peut entraîner en pratique des coûts de gestion élevés (par exemple la mise en place d'un système de suivi informatisé). De plus, dans le cas où plusieurs produits proviennent d'un même fournisseur, on ne peut pas effectuer un regroupement des commandes parce que tous les produits n'atteignent pas forcément leurs points de commande au même moment.

---

(a) **Calcul du point de commande :**

On suppose que le volume de commande est déjà connu, calculé par le modèle de Wilson . Le point de commande doit être calculé de telle sorte qu'il n'aura pas de pénurie durant le délai de livraison "D.L" .

Soit la variable aléatoire

\*  $D$  : "La demande ponctuelle qui suit une loi de probabilité de paramètres  $(\mu_D, \sigma_D)$ ".

\*  $\lambda$  : La demande annuelle .

\*  $F$  : La fonction de densité de la variable aléatoire  $D$  .

\*  $D.L$  : Le délai de livraison supposé constant .

On définit la variable aléatoire :

\*  $X$  : "La demande durant le délai de livraison D.L ."

$X = \sum_{i=0}^n D_i$  ,  $X$  suit la loi de probabilité de paramètre  $\mu_X$  et  $\sigma_X$  .

**Calcul de  $r$  en connaissance du risque de rupture de stock  $\alpha$  :**

$\alpha$  = Probabilité que la commande durant "D.L" dépasse  $r$  qui est égale à  $P(X > r)$ .

Ou encore  $P(X \leq r) = 1 - \alpha$  qui est le niveau de service .

Alors :  $r = \mu_x + \Phi^{-1}(1 - \alpha) \times \sigma_x$

le stock de sécurité est :

$$s = r - \mu_x = \Phi^{-1}(1 - \alpha) \times \sigma_x. \quad (2.3)$$

(b) **Calcul du niveau de service :**

✓ **Cas 1 :**

Si on connaît le nombre d'années  $n$  , ou on a une seule rupture de stock , alors on a :

$$\alpha\left(\frac{\lambda}{Q}\right) = \frac{1}{n},$$

où :  $\frac{\lambda}{Q}$  : est le nombre de commandes .

D'où le risque de rupture de stock est :  $\alpha = \frac{Q}{\lambda n}$

**Détermination de Q et r conjointement de façon à minimiser le coût total de gestion :**

*Le coût total de gestion est :*

$$C_T(Q, r) = \lambda \times p + \left(\frac{\lambda}{Q}\right) \times h + \left(\frac{Q}{2} + r - \mu_x\right) \times C_s + \pi \times \left(\frac{\lambda}{Q}\right) \times \int_r^{+\infty} (x-r) \times f(x) dx \quad (2.4)$$

On calcule Q et r de telle sorte a minimiser  $C_T(Q, r)$

La dérivée par rapport à Q est :

$$\frac{\delta C_T}{\delta Q} = -\frac{\lambda h}{Q^2} + \frac{C_s}{2} - \frac{\lambda \pi}{Q^2} \int_r^{+\infty} (x-r) \times f(x) dx$$

$$\Rightarrow Q = \sqrt{\frac{2\lambda(h\pi \int_r^{+\infty} (x-r) \times f(x) dx)}{C_s}} \quad (2.5)$$

La dérivée par rapport à r est :

$$\frac{\delta C_T}{\delta r} = C_s - \frac{\lambda \pi}{Q} \int_r^{+\infty} f(x) dx = 0$$

$$\Rightarrow \int_r^{+\infty} f(x) dx = \frac{C_s Q}{\pi \lambda} = \alpha,$$

Où  $\alpha$  est le risque de rupture .

$$\Rightarrow P(X > r) = \frac{C_s Q}{\pi \lambda}$$

,

$$r = \mu_x + \sigma_x \Phi^{-1}(1 - \alpha) \quad (2.6)$$

✓ **Cas 2 :**

X suit une loi de probabilité de paramètres  $\mu_X$  et  $\sigma_X$  on aura :

$$Q = \sqrt{\frac{2\lambda(h\pi \int_r^{+\infty} (x-r) f(x) dx)}{C_s}} \quad (2.7)$$

$$\int_r^{+\infty} f(x)dx = \frac{C_s Q}{\pi \lambda} = \alpha \quad (2.8)$$

Cette paire d'équations peut être résolue par une procédure itérative, jusqu'à satisfaction du décideur.

On peut initialement fixer  $Q = Q_e = \sqrt{\frac{2h\lambda}{C_s}}$  et calculer par la suite  $r$  à partir de la relation (2.8).

Ensuite, on utilise cette valeur de  $r$  en (2.7) pour voir une meilleure estimation de  $Q$ , ce processus est répété jusqu'à ce qu'on atteigne un certain niveau de service fixé par le décideur.

### Le modèle à révision périodiques (R,T) :

Cette politique est à suivi périodique. Au début de chaque période de longueur  $T$ , si la position du stock descend au dessous d'une valeur donnée, appelée niveau de recomplètement et notée  $R$ , un ordre de réapprovisionnement est lancé de manière à ramener la position du stock à  $S$ . La commande est réceptionnée à l'issue du délai d'approvisionnement  $D.L$  (qui peut être nul, constant ou encore aléatoire).

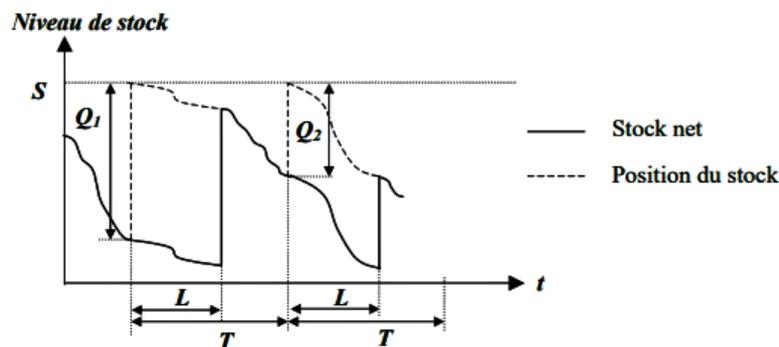


FIGURE 2.15 – Le modèle à révision périodiques (R,T).

L'avantage de cette politique par rapport à la politique (Q,r) est qu'elle permet de regrouper les commandes par fournisseur, ce qui peut réduire les coûts de transport et de commande.

Il faut rappeler que la politique (R,T) présente aussi certains inconvénients. En effet, d'abord cette politique est "aveugle" à l'intérieur d'une période de révision, donc, une variation instantanée de la demande laisse le système insensible (à la différence de la politique (Q,r) qui est plus réactive du fait de son suivi continu). De plus, dans certains cas, le recomplètement se fait en petites quantités, c'est à dire qu'à chaque période, si le

---

niveau de stock baisse même très peu en dessous de R, une commande doit être lancée pour atteindre S même si la quantité en question est très petite.

### Calcul de niveau de recommentement R :

Pour déterminer R le système (R,T) , on utilise la même méthode utilisée dans le modèle (Q,r) pour calculer r , sauf que l'on doit remplacer la densité de la fonction demande pendant D.L par la fonction de densité de la demande ponctuelle durant (T+D.L).

Soient les variables aléatoires :

$D$  : La demande par unité de temps suivant une loi de probabilité de paramètres  $\mu_D$  et  $\sigma_D$  .

$X$  : La demande durant la période (T+D.L) , suivant une loi de probabilité de paramètres  $\mu_X$  et  $\sigma_X$  .

avec :

$$X = D(T + D.L)$$

et :

$$\mu_x = (D.L + T)\mu_D \quad , \sigma_x = \sqrt{T + D.L}\sigma_D$$

Si on exige un niveau de service  $(1 - \alpha)$  , alors on aura :

$$P(x \leq R) = 1 - \alpha$$

$$\Rightarrow P\left(\frac{X - \mu_x}{\sigma_x} \leq \frac{R - \mu_x}{\sigma_x}\right) = 1 - \alpha$$

Par exemple , quand la demande D suit une loi normale de paramètres  $\mu_D$  et  $\sigma_D$  et que X ( La demande durant la période (T+D.L)) suit une loi normale de paramètres  $\mu_X$  et  $\sigma_X$  ; alors la nouvelle variable Z donnée par :

$Z = \frac{x - \mu_x}{\sigma_x}$  suit une loi normale centrée réduite .

$$P\left(Z \leq \frac{R - \mu_x}{\sigma_x}\right) = 1 - \alpha$$

On aura :

$$\Rightarrow R = \mu_x + \sigma_x \Phi^{-1}(1 - \alpha) = (D.L + T)\mu_D + \sqrt{T + D.L}\sigma_D \Phi^{-1}(1 - \alpha) \quad (2.9)$$

---

Donc le niveau du stock est :

$$S = R - \mu_x = \sqrt{T + D.L\sigma_D}\Phi^{-1}(1 - \alpha) \quad (2.10)$$

## 2.5 Conclusion

Dans ce chapitre , nous avons présenté les notions fondamentales de la gestion des stocks et nous avons également présenté les modèles de gestion des stocks qui se divisent en deux grandes catégories , à savoir les modèles déterministes et les modèles stochastiques .

Dans le prochain chapitre, nous passons en revue sur certaines notions de base des prévision et de maintenance industrielle .

## CHAPITRE 3

# MAINTENANCE INDUSTRIELLE ET PREVISIONS

L'ossature de ce chapitre est de rappeler quelques notions théoriques connues sur la maintenance industrielle et les méthodes de prévision . Ces notions sont primordiales pour comprendre certains résultats de notre travail donnés au chapitre 4.

### 3.1 Maintenance Industrielle

Quel que soit le secteur d'activité, la maintenance industrielle est un élément très important pour une entreprise. Elle permet non seulement de limiter les pannes mais surtout de prévenir les éventuelles défaillances, et cela est une grande aide pour gagner du temps, et améliorer la productivité et la rentabilité d'une usine, d'un centre logistique ou d'une entreprise . Qu'est-ce que la maintenance industrielle ?

#### 3.1.1 Définition

La maintenance industrielle peut se définir comme le fait de maintenir ou de rétablir un équipement de production dans un état défini en amont afin que celui-ci soit en mesure d'assurer le service prévu. Lorsqu'une entreprise installe un système pour maintenir ses équipements de production, cela lui permet de prévenir un grand nombre de problèmes et de diminuer les pertes de productivité.

Elle implique une inspection des installations, mais également des données précises sur l'état des infrastructures, de l'équipement et des machines. Pour y arriver, de nombreuses entreprises se tournent vers des entreprises technologiques spécialisées dans la gestion de ces procédés industriels. Ces outils permettent de mesurer quotidiennement si les indicateurs sont bons. Mais surtout d'alerter lorsqu'un système arrive en zone critique et qu'une intervention est nécessaire. Les opérations de maintenances industrielles

---

consistent également à se déplacer physiquement dans le lieu dédié pour inspecter toutes les installations et effectuer les réparations nécessaires. Le travail est souvent effectué par des techniciens spécialisés dans la maintenance industrielle.

Les interventions peuvent être simples comme le changement d'une ampoule, ou plus complexe et nécessiter plusieurs heures voire plusieurs jours de maintenance pour que tout fonctionne de nouveau. Plus la tâche de maintenance industrielle est spécifique et complexe, plus le technicien de maintenance industrielle doit être qualifié. Il en existe plusieurs types. Elle peut être préventive, prédictive ou curative.

### **3.1.2 La Maintenance Industrielle, un Outil de Prévention**

#### **La Maintenance Préventive**

Dans un premier temps, elle a pour objectif de réduire les éventuelles défaillances ou dégradation de pièces détachées, de composants, ou d'une machine.

En surveillant régulièrement ces machines, et tous les composants une entreprise réduit considérablement le risque de panne. Avec la digitalisation des entrepôts et des entreprises, la maintenance préventive se digitalise. La technologie apporte désormais des informations en temps réel, et cela permet aux techniciens de suivre et planifier les opérations de maintenance préventive plus efficacement.

#### **La Maintenance Prédictive**

Avec l'émergence des solutions de traitement et d'analyse des données ainsi que de l'intelligence artificielle, la méthode de prévention va encore plus loin. Aujourd'hui, les techniciens de maintenance industrielle sont capables de planifier les interventions selon la prédiction des pannes et des dysfonctionnements. C'est ce qu'on appelle la maintenance prédictive. Ce type de maintenance permet aux entreprises d'anticiper les problèmes en planifiant les interventions nécessaires basées sur les prédictions. Elle permet de pousser et d'exploiter les systèmes à leur maximum, mais aussi de réduire les dépenses causées par les pannes inattendues.

Le responsable de la maintenance industrielle peut également décider de mettre en place un système préventif systématique. Ce type de maintenance préventive se distingue par sa périodicité : elle est définie à des intervalles de temps bien définis. Elle permet ainsi de remplacer les composants et les pièces détachées régulièrement, ce qui améliore la productivité des machines. Pour cela, il faudra inspecter régulièrement les différents équipements sur site pour récolter toutes les données permettant l'analyse de l'usure des pièces.

---

### 3.1.3 La Maintenance Industrielle, un Outil Correctif

#### Une Maintenance Corrective pour une Production Optimisée

La maintenance corrective représente l'ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien ou la dégradation de sa fonction, pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement.

Pour être efficace, la maintenance corrective doit comprendre la remise en état et les tests pour contrôler le bon fonctionnement.

Les maintenances préventives consistent à surveiller les paramètres et les indicateurs clés du fonctionnement des machines. Ensuite, elle permet de mettre en œuvre les actions correctives nécessaires afin d'anticiper toute panne et tout dysfonctionnement.

Alors que la maintenance préventive peut être complètement automatisée, la maintenance corrective demande généralement une intervention humaine. Le diagramme (3.1) synthétise les méthodes de maintenance .

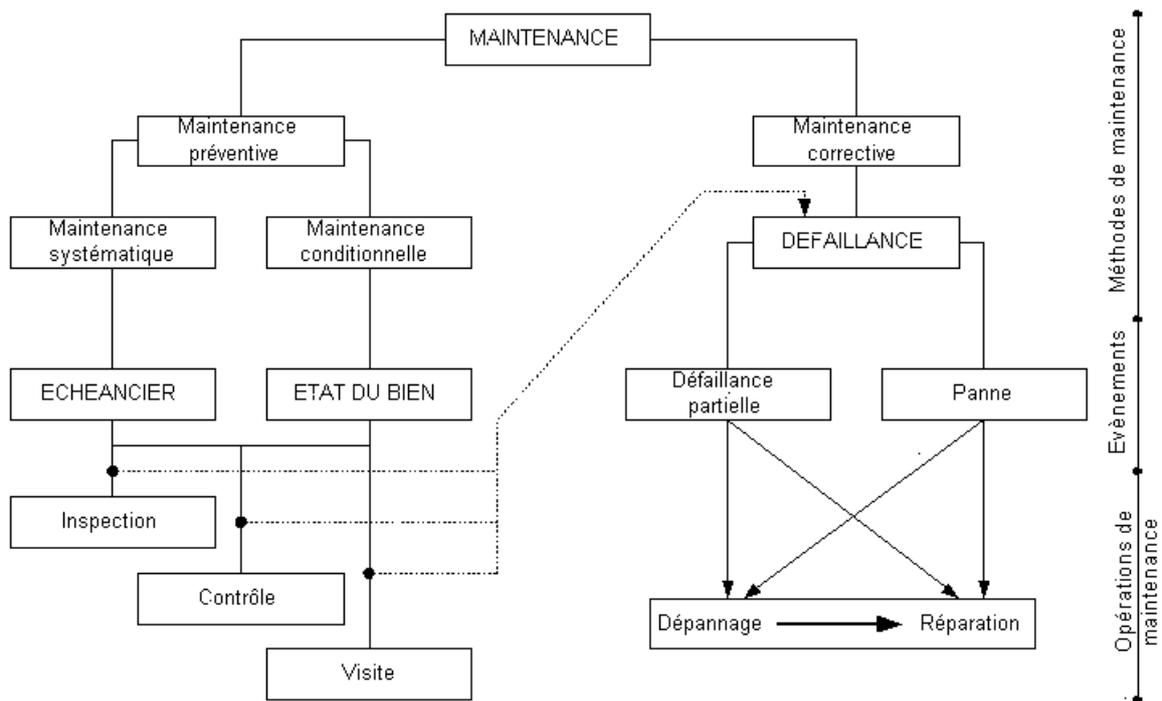


FIGURE 3.1 – Types de Maintenance.

## 3.2 Cycle de Maintenance Préventive Suivi par la RTC

La maintenance intervient dans les différentes étapes du cycle de vie d'un équipement, elle a comme rôle d'assurer le bon fonctionnement des outils de production et elle contribue d'une manière significative à la performance de l'entreprise .[12]

Le schéma 3.2 représente le cycle de maintenance préventive suivi par la RTC ainsi que le type de chaque intervention préventive :

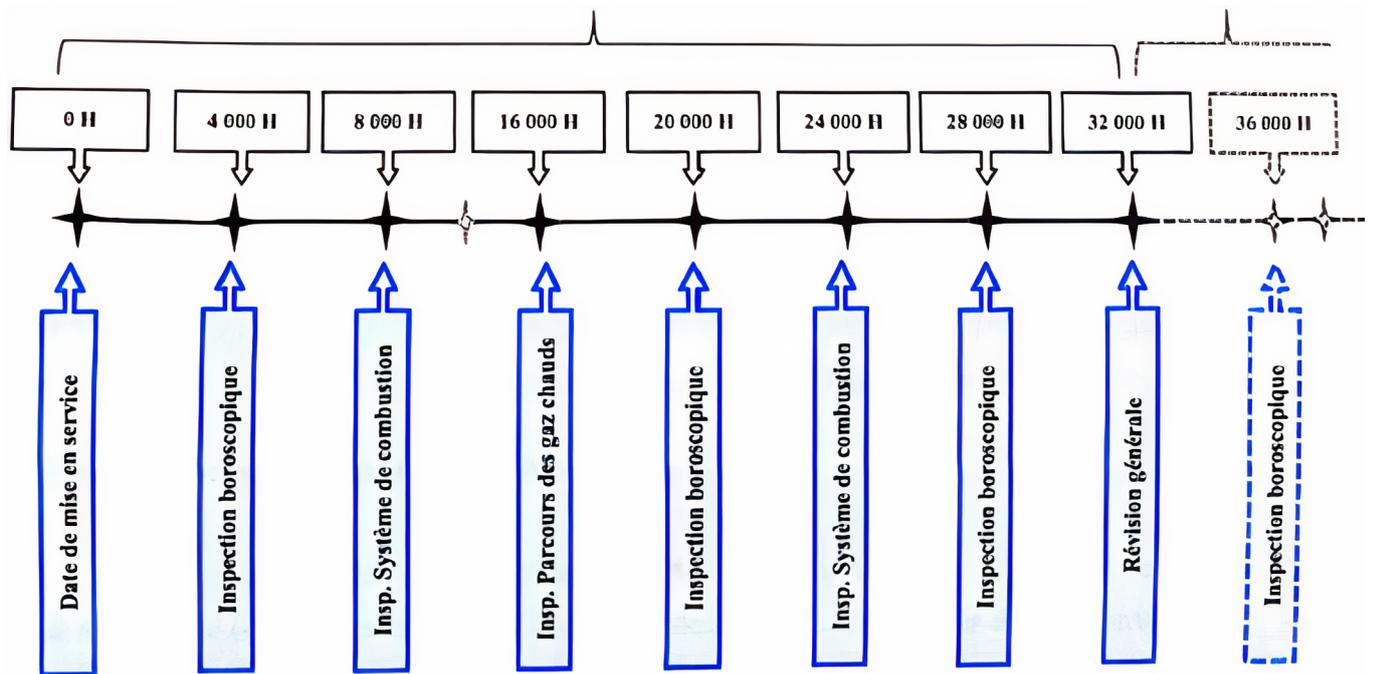


FIGURE 3.2 – Cycle de maintenance préventive suivi par la RTC.

Les types de maintenances préventives effectuées par l'entreprise sont :

### o Inspection boroscopique :

Les caisses du compresseur et de la turbine sont dotées de points pour effectuer des examens visuels à l'aide des appareils spéciaux appelés boroscope.

Le boroscope permet de contrôler visuellement les zones suivantes :

- ✓ Section turbine ,
- ✓ Flux compresseur axial ,
- ✓ Chemise de la chambre de combustion .

---

L'inspection boroscopique est effectuée chaque 4000h de fonctionnement, elle permet de détecter les anomalies suivantes :

- ✓ Dommage des aubages dus à des corps étrangers,
- ✓ Corrosion, érosion et fissure des aubages ,
- ✓ Formation de carbone.

○ **Inspection système de combustion :**

Ce type d'inspection est effectué chaque 8000h de fonctionnement, il nécessite le démontage des parties principales suivantes :

- ✓ Bruleur / couvercle chambre de combustion,
- ✓ Bougie d'allumage et détecteur de flamme,
- ✓ Chemise pour chambre de combustion,
- ✓ Caisse de combustion .

Ces pièces doivent faire l'objet d'un contrôle très attentif afin d'éviter que la turbine fonctionne avec un système de combustion détérioré ; en effet, cela risquerait d'abrèger la durée de vie des pièces en aval, comme les aubages et les buses de la turbine.

○ **Inspection parcours de gaz chauds :**

Cette inspection est effectuée chaque 16000 h de fonctionnement, elle inclut l'inspection de système de combustion et de plus, le contrôle des aubages et des buses de la turbine.

Pour effectuer ce type d'inspection, il faut démonter la partie supérieure du corps turbine ainsi que la pièce de transition et les directrices.

○ **Révision générale :**

La révision générale est effectuée périodiquement à chaque 32000 h de fonctionnement, elle comporte l'inspection de toute les pièces bride à bride de la turbine à gaz.

Cette inspection comprend les éléments de combustion et les inspections pour le parcours des gaz chauds. En plus l'inspection doit être effectuée sur les caisses, les rotors, les paliers, les étanchéités et les aubages. Pour ce faire, toutes les parties supérieures des caisses et des paliers doivent être démontées.

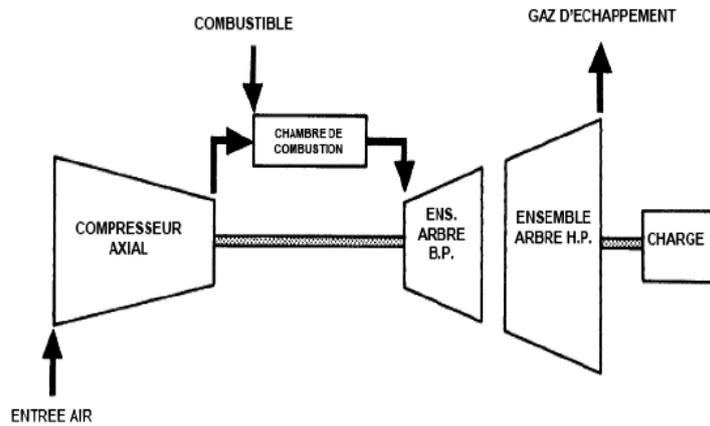


FIGURE 3.3 – Schéma d'une Pompe.

Dans notre étude on prend en compte l'optimalité de la politique suivi par la DRGB et comme les pièces de rechanges acquises répondent aux normes prédéterminer par l'entreprise donc la durée de vie de chaque pièce est données par le fournisseur.

### 3.3 Prévisions

Face à la complexité croissante des organisations et leur environnement, les gestionnaires cherchent à améliorer la qualité de l'information et de la décision qui en résultent. C'est dans ce contexte que les méthodes de prévision se sont développées depuis plusieurs années.

Un décideur envisage d'établir les prévisions dans le but d'atténuer les risques ou encore pour mieux saisir son environnement.

La prévision peut être d'une grande utilité dans la planification de l'acquisition des ressources humaines, financières ou matérielles.

La prévision suppose que l'on dispose d'une série d'observations et d'un ensemble d'hypothèses conduisant à une modélisation du phénomène étudié. On opère généralement en deux étapes : Construction d'un modèle à partir des données et hypothèses a priori, puis projection dans la partie non observée.

---

### 3.3.1 Types de prévisions

On peut s'intéresser à trois types de prévision :

- La survenance éventuelle d'un évènement.
- L'échéance d'un évènement, c'est à dire la date de survenance d'un évènement dont on sait qu'il se réalisera.
- La valeur qui sera atteinte à une certaine date.

### 3.3.2 Séries Chronologiques

Une série chronologique est une suite temporelle ou une suite d'observations chiffrées, ordonnées dans le temps. Elles sont basées sur l'analyse de données historiques recueillies sur un phénomène donné. Leur analyse permet de décrire, décomposer et de prévoir l'évolution de ces phénomènes qu'ils soient économiques, météorologiques ou liés à un dérèglement d'un processus de production. [16]

Les premières études sur les séries temporelles ont amené à considérer de façon standard quatre grandes composantes :

- **La tendance**

Aussi appelée trend, notée at marque l'allure générale du phénomène et les variations à long terme ce qui nous indique la croissance, la décroissance ou la stabilité de la série. Cette tendance peut être linéaire, polynomiale, exponentielle, logarithmique,...

- **La composante saisonnière (saisonnalité)**

elle correspond à un phénomène qui se répète à intervalle de temps régulier.

- **La composante cyclique**

Cet aspect de la série fait référence à la présence d'une certaine récurrence et peut s'observer généralement sur des intervalles de plusieurs années.

- **La composante résiduelle**

Cette caractéristique constitue la partie non expliquée par la tendance, le cycle ou la saisonnalité. Des événements rares qui peuvent difficilement être prédits sont souvent à l'origine de ces fluctuations.

---

## 3.4 Méthodes de prévision

On distingue trois classes de méthodes :

- \* **Méthodes Extrapolatives** : Ces méthodes utilisent le passé de la variable sans l'apport d'informations extérieures . Parmi ces méthodes on cite : la décomposition saisonnière, les moyennes mobiles, lissage exponentiel, la méthode de Box et Jenkins ... etc.
- \* **Méthodes Explicatives** : Ces méthodes font reposer la prévision de la série ,  $Y$  , sur celle des facteurs  $X_i$  dont le rapport avec  $Y$  a été considérable dans le passé .
- \* **Méthodes Econométriques** : Cette méthode tend à considérer la totalité du système , elles utilisent les relations entre plusieurs variables .

### 3.4.1 Les méthodes de lissages exponentiels

On regroupe sous le nom de lissage exponentiel, un ensemble de méthodes empiriques d'extrapolation qui ont toutes pour caractéristique de donner un poids prépondérant aux valeurs récentes de la série chronologique. Leur domaine d'utilisation privilégié est donc la prévision à court terme. En outre, le lissage exponentiel se caractérise par la simplicité de son utilisation et le petit nombre d'informations nécessaires à son utilisation. [16]

On distingue entre autres : le lissage simple, le lissage double, lissage de Winters et le lissage de Holt.

#### 1) Lissage exponentiel simple :

Cette méthode est due à BROWN (1960), elle est adaptée au cas où la série originale ne présente ni tendance ni saisonnalité, c.-à-d. que la série peut être ajustée a une droite horizontale au voisinage de  $t$ .

Disposant d'une série chronologique  $Y_1, Y_2, \dots, Y_t$ ; Le modèle s'écrit alors

$$Y_T = a_t + \epsilon_t \quad (3.1)$$

avec :

- $a_t$  : Le niveau de la série .
- $\epsilon_t$  : La composante irrégulière .

L'objectif étant d'estimer le niveau  $a_t$  de la série. Cette estimation que l'on notera  $\hat{a}_t$  sera prise comme prévision a l'instant  $t+1$  . La fonction de prévision est donnée par la

formule :

$$\hat{Y}_T = \alpha \sum_{j=0}^{T-1} (1 - \alpha)^j Y_{T-j} \quad 0 < \alpha < 1 \quad (3.2)$$

Où  $\alpha$  est le paramètre de lissage et il est choisi de façon à minimiser  $Q(a(T))$  (par la méthode des moindres carrés) telle que :

$$Q(a(T)) = \sum_{j \geq 0} (1 - \alpha)^j [Y_{T-j} - a(T)]^2 \quad (3.3)$$

## 2) Lissage exponentiel double :

Le lissage exponentiel double est une généralisation du lissage exponentiel simple, dans le cas d'un modèle à tendance (différence entre niveaux consécutifs) localement linéaire. On suppose que la série peut être ajustée par une droite quelconque autour de  $T$  par :

$$y_t = a_0(T) + a_1(t - T) + \epsilon_t$$

La prévision sera alors de la forme :

$$\hat{Y}_T(k) = \hat{a}_0(T) + k\hat{a}_1(T) \quad (3.4)$$

$\hat{a}_0(T)$  et  $\hat{a}_1(T)$  se calcul à partir de la minimisation de  $Q$  tel que :

$$Q = \sum_{j=0}^{T-1} (1 - \alpha)^j (Y_{T-j} - a_0 + a_1 j)^2 \quad (3.5)$$

On obtient

$$\begin{cases} \hat{a}_0(T) = \lambda Y_T + (1 - \lambda)[\hat{a}_0(T - 1) + \hat{a}_1(T - 1)]. \\ \hat{a}_1(T) = \mu[\hat{a}_0(T) - \hat{a}_0(T - 1)] + (1 - \mu)\hat{a}_1(T - 1). \\ \lambda = 1 - (1 - \alpha)^2. \\ \mu = \frac{\alpha}{1 - \alpha}. \end{cases}$$

Pour utiliser ces formules, il faut avoir des valeurs initiales. On prend, en général :

$$\begin{cases} \hat{a}_0(2) = Y_2. \\ \hat{a}_1(2) = Y_2 - Y_1. \end{cases}$$

## 3) Lissage exponentiel de HOLT :

La méthode du lissage exponentiel de **HOLT** (1963) avec tendance et sans saisonnalité conserve de la méthode du lissage double de **BROWN** .

Le modèle s'écrit

$$Y_t = \hat{a}_0 + (t - T)\hat{a}_1 + \epsilon_t. \quad (3.6)$$

La fonction prévision à l'horizon k est :

$$\hat{Y}_T(k) = \hat{a}_0(T) + k\hat{a}_1(T). \quad (3.7)$$

Les formules de mise à jours sont les suivantes :

- $\hat{a}_0(T) = \alpha y_T + (1 - \alpha)[\hat{a}_0(T - 1) + \hat{a}_1(T - 1)].$
- $\hat{a}_1(T) = \mu[\hat{a}_0(T) + \hat{a}_0(T - 1)] + (1 - \mu)\hat{a}_1(T - 1).$

On abandonne toutefois la relation entre  $\lambda$  et  $\mu$  par l'intermédiaire de  $\alpha$ . A la place, on prend  $\lambda = \alpha$  et  $\mu$  devient un paramètre libre.

Les valeurs initiales  $\hat{a}_0(T)$ ,  $\hat{a}_1(T)$  sont déterminées par :

- $\hat{a}_0(2) = Y_2.$
- $\hat{a}_1(2) = Y_2 - Y_1.$

### 3.4.2 Méthode de Box et Jenkins

Avant de présenter la méthode de Box and Jenkins, nous suggérons quelques définitions indispensables. [14]

#### 1) Fonction d'autocorrélation :

On définit la fonction d'autocorrélation de  $Y_t$  par :

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0}, \quad k \in Z$$

Où :

$$\begin{aligned} \gamma_k &= Cov(Y_t, Y_{t-k}), k \in Z \\ \gamma_0 &= Var(Y_t) > 0 \end{aligned}$$

La représentation graphique de la fonction d'autocorrélation en fonction de k est appelée **Corrélogramme**.

$\gamma_k$  et  $\rho_k$  peuvent être estimés par :

$$\hat{\gamma}_k = \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-k} - \bar{Y}) \hat{\gamma}_0 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2 \quad (3.8)$$

---

Où  $\bar{Y}$  est la moyenne de la série de 1 a n .

### 2) *Fonction d'autocorrélation Partielle :*

On appelle autocorrélation partielle de retard k, le coefficient de corrélation entre  $Y_t$  et  $Y_{t-k}$  en éliminant l'influence de  $Y_{t-1}, \dots, Y_{t-k+1}$ , on le note  $\pi_k$  .

$$\pi_k = \frac{Cov(y_t - y_t^*, y_{t-k} - y_{t-k}^*)}{V(y_t - y_t^*)} \quad (3.9)$$

La suite  $\pi_k$  définit la fonction d'autocorrélation partielle.

La représentation graphique de la fonction d'autocorrélation partielle en fonction de k est appelée *Corrélogramme Partiel* .

La propriété essentielle des autocorrélations partielles est leur comportement dans le cas d'un processus autorégressif AR(p), pour lequel cette fonction est tronquée, au-delà de l'ordre p .

### 3) *Bruit Blanc :*

On appelle processus aléatoire bruit blanc , une suite de variables aléatoires  $\epsilon$  , de même distribution , de même variance et mutuellement indépendante . On dit qu'un processus aléatoires  $\epsilon_t$ , constitue un processus bruit blanc si :  $\forall t, \rho_0 = 1$  et

$$\rho_k = Corr(\epsilon_t, \epsilon_{t-k}) = 0 \quad k = 1, 2, \dots$$

Pour confirmer si un processus est un bruit blanc, on peut faire un test global portant sur les k premières autocorrélations où k est choisi à l'avance. On test l'hypothèse  $H_0$  .

$$H_0 \text{''} \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0 \text{''}$$

La statistique de ce test est due à BOX & Pierce , elle est de la forme :

$$Q = T \sum_{i=1}^k r_i^2 \quad (3.10)$$

Où :

- T : est le nombre d'observation de la série .
- $r_i$  : l'estimateur de  $\rho_i$  .
- Q : suit approximativement un  $\chi^2$  a K degrés de liberté .

---

On rejette l'hypothèse  $H_0$  que le processus est un bruit blanc au niveau de la probabilité  $\alpha$ , si la valeur de  $Q$  est supérieure à la valeur lue sur la table de  $\chi^2$  à  $k$  degrés de liberté. Par contre, si  $Q$  est inférieure à cette valeur, l'hypothèse est acceptée.

**Remarque :**

Les propriétés à distance finie de  $Q$  restant, même pour  $T$  relativement grand, assez différentes des propriétés asymptotiques. Box & Ljung ont proposés une statistique modifiée visant à tenir compte de cette différence.

Cette statistique est définie par :

$$\hat{Q} = T(T + 2) \sum_{i=1}^k \frac{r_i^2}{T - i} \quad (3.11)$$

Pour le test, on suit les mêmes étapes que pour  $Q$ .

**4) Série chronologique Stationnaire : [20]**

On dit qu'une série chronologique est stationnaire, si elle est la réalisation d'un processus stationnaire, ceci implique que la série ne comporte ni tendance ni saisonnalité. Plus généralement qu'elle soit homogène par rapport au temps.

Il est parfois possible de rendre stationnaire une série non stationnaire, afin de faciliter l'analyse d'autres composantes où la modélisation de la série chronologique en appliquant soit :

- Un filtre du type différence première :  $\nabla Y_t = Y_t - Y_{t-1}$
- Un filtre du type différence seconde :  $\nabla^2 Y_t = \nabla Y_t - \nabla Y_{t-1} = Y_t - 2Y_{t-1} + Y_{t-2}$
- Un filtre saisonnier d'ordre  $s$  :  $\nabla_s Y_t = Y_t - Y_{t-s}$

On peut également procéder à la transformation des données pour mieux homogénéiser la série, en effectuant par exemple la transformation logarithmique, la transformation exponentielle, ...

**5) Processus moyenne mobile d'ordre 1 ou MA(1) :**

Il s'agit d'un processus où la variable  $Y_T$  est une combinaison linéaire de deux innovations successives. Sa caractéristique principale est d'être stationnaire. Il s'écrit :

$$Y_t = \epsilon_t - \theta \epsilon_{t-1} = (1 - \theta \beta) \epsilon_t \quad (3.12)$$

---

Où :

- $\beta$  : est appelé opérateur retard tel que :  $\beta Y_t = Y_{t-1}$
- $\theta$  : est le paramètre du processus .
- $\epsilon_t$  : est un processus bruit blanc de variance  $\sigma^2$

**Cas Général :**

Un processus MA(q) ou ARMA(0,q), est un processus utilisant plus d'une erreur passée.

Ce processus est donné par l'équation :

$$Y_t = (1 - \theta_1\beta - \dots - \theta_q\beta^q)\epsilon_t \quad (3.13)$$

**6) Processus Autorégressif d'ordre 1 ou AR(1) :**

Il s'agit d'un processus où la variable  $Y_T$  est défini par une formule de régression linéaire en fonction de son propre passé. Il s'écrit :

$$Y_t = \phi Y_{t-1} + \epsilon_t \quad (3.14)$$

Ou bien :

$$Y_t - \phi Y_{t-1} = (1 - \phi\beta)Y_t = \epsilon_t$$

Où :  $\phi$  est appelé paramètre du processus.

**Cas Général :**

Un processus AR(p) ou ARMA(p,0) est un processus utilisant plusieurs variables du passé. Ce processus est donné par l'équation :

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \epsilon_t \quad (3.15)$$

Où

$$Y_t - \phi_1 Y_{t-1} - \dots - \phi_p Y_{t-p} = (1 - \phi_1\beta - \dots - \phi_p\beta^p)Y_t = \epsilon_t$$

**7) Processus Mixte autorégressif Moyenne Mobile ARMA(1,1) :**

En prenant le membre de gauche de l'équation définissant le processus AR(1) et le membre de droite du processus MA(1), on obtient l'équation du processus mixte :

$$Y_t - \phi Y_{t-1} = \epsilon_t - \theta \epsilon_{t-1} \quad (3.16)$$

---

### *Cas Général :*

Ce sont les processus utilisant plus d'une variable du passé ou plus d'une innovation. Où  $p$  est le retard maximum des variables du passé et  $q$  est le retard maximum des innovations du passé. Ce processus s'écrit :

$$Y_t - \phi Y_{t-1} - \dots - \phi_p Y_{t-p} = \epsilon_t - \theta_1 \epsilon_{t-1} - \dots - \epsilon_{t-q} \theta_q$$

Ou bien

$$(1 - \phi_1 \beta - \dots - \phi_p \beta^p) Y_t = (1 - \theta_1 \beta - \dots - \theta_q \beta^q) \epsilon_t$$

### *8) Modèles non stationnaires ARIMA et SARIMA : [20]*

Tous les processus déjà introduits sont des processus stationnaires. Or d'une manière générale, les séries chronologiques ont non seulement une moyenne non nulle, mais ne sont pas stationnaires, elles comportent également une tendance, une saisonnalité ou même une structure complexe. Une des causes de la non stationnarité est la présence d'un facteur tendanciel, Box & Jenkins ont introduit le modèle ARIMA(p,d,q), qui est un modèle ARMA(p,q) en lui appliquant une différence première ou une différence seconde .

Une autre cause de non stationnarité est la présence d'un facteur saisonnier de périodes, Box & Jenkins ont introduit le modèle SARIMA(p,d,q)(P,D,Q) . La formulation de ces modèles est :

$$\phi_p(\beta) \Phi_p(\beta^s) \nabla^d \nabla_s^D Y_t = \theta_q(\beta) \Theta_Q(\beta^s) \epsilon_t \quad (3.17)$$

Où :

- \*  $\phi_p(\beta)$  : est un polynôme de degré  $p$  en  $\beta$ , appelé polynôme autorégressif ordinaire.
- \*  $\Phi_p(\beta^s)$  : est un polynôme de degré  $p$  en  $\beta^s$ , appelé polynôme autorégressif saisonnier.
- \*  $\nabla^d$  : est l'opérateur de différence ordinaire de degré  $d$ .
- \*  $\nabla_s^D$  : est l'opérateur de différence saisonnier de degré  $D$ .
- \*  $\theta_q(\beta)$  : est un polynôme de degré  $q$  en  $\beta$ . Appelé polynôme moyenne mobile ordinaire.
- \*  $\Theta_Q(\beta^s)$  : est un polynôme de degré  $q$  en  $\beta^s$ . Appelé polynôme moyenne mobile saisonnier.

### *Méthode de Box & Jenkins : [14]*

Dans cette méthode, on se place dans le cas d'un processus stochastique  $Y_t$  supposé discret et stationnaire, c'est à dire sans tendance ni saisonnalité. Elle permet en plusieurs étapes de trouver un modèle **ARMA**(autorégressif-moyenne mobile) susceptible de représenter la série chronologique . Elle consiste à formuler des suppositions sous forme de modèle à les mettre à l'épreuve et à réviser le modèle en conséquence. Comme il faut encore représenter la tendance et la saisonnalité, on mettant la classe de modèles aux

---

modèles *ARIMA* et *SARIMA* . La méthode de Box & Jenkins est simple dans son principe, mais compliquée dans sa mise en œuvre, son principe est de prendre pour la modélisation que les observations du passé qui sont fortement corrélées avec la dernière valeur de la série chronologique.

En général, cette méthode est constituée de sept étapes qui sont généralement répétées jusqu'à satisfaction :

1. *Familiarisation avec les données* :

L'utilisateur s'informe avant tout sur le domaine dont relèvent les données, les théories existantes, les objectifs poursuivis, la qualité des données, l'homogénéité dans le temps et examiner les représentations graphiques des données.

2. *Analyse préliminaire des données* :

L'analyse préliminaire nous permet de détecter les transformations à faire sur la série brute a fin de l'homogénéiser (transformation logarithmique, inverse, racine ,... , etc .) et de la ramener à un modèle ARMA stationnaire et cela en choisissant de différencier la série par les opérateurs : différence première , différence saisonnière , différence première et saisonnière , voire en différence seconde , ce choix est évidemment dicté par l'allure graphique de la série .

3. *le choix du modèle (identification)* :

A ce stade, il nous faut décider combien de paramètres autorégressifs (p) et de moyennes mobiles (q) sont nécessaires pour obtenir un modèle effectif et parcimonieux du processus.

4. *L'ajustement du modèle (estimation)* :

Les paramètres sont les coefficients des polynômes AR et MA et ils sont estimés de sorte à minimiser la somme des carrés des résidus. Le module Séries Chronologiques de RStudio comporte différentes méthodes pour estimer les paramètres. En générale, lors de la phase d'estimation des paramètres, un algorithme de minimisation de fonction est utilisé (la méthode appelée quasi-Newton) pour maximiser la vraisemblance de la série observée (étant donnés les valeurs des paramètres du modèle), par la méthode du maximum de vraisemblance approché, et /ou la méthode du maximum de vraisemblance exact de Melard. Pour tous les paramètres estimés, le module Séries Chronologiques va calculer des erreurs-types asymptotiques, et la réalisation de la statistique Student.

5. *La validation du modèle* :

On commence par vérifier si la procédure itérative d'estimation des paramètres à converger, ensuite on vérifie si les coefficients estimés satisfont les conditions de stationnarité et d'inversibilité. Il s'agit ensuite de tester si les paramètres estimés du modèle sont acceptables ou sont à rejeter. A la fin, il faut analyser les résidus, c'est à dire savoir si les résidus sont de moyenne nulle et s'ils forment un processus bruit blanc. Pour cela, on utilise le test de Box et Pierce ou le test de Box et Ljung définis auparavant.

---

6. *La prévision :*

Les paramètres estimés sont utilisés dans cette étape pour calculer les nouvelles valeurs de la série ainsi que des intervalles de confiance autour de ces valeurs prévues.

7. *Interprétation des résultats :*

Cette étape n'est pas la plus simple, car il faut savoir analyser les différentes transformations effectuées sur la série pour pouvoir déterminer le comportement à long terme de la fonction de prévision.

## 3.5 Conclusion

Nous avons introduit dans ce chapitre, la notion de séries chronologiques dites aussi temporelles, nous nous sommes intéressés à leur analyse dans le but de faire des prévisions. Nous avons présenté les différents modèles de séries et nous avons mis l'accent sur la méthode de lissage exponentiel qui est l'outil utilisé dans le chapitre suivant afin de faire des prévisions à court terme sur la demande des articles du stock. Le logiciel XLSTAT-FORECASTING nous a permis d'analyser les séries chronologiques des échantillons des articles de l'étude, d'établir des prévisions sur leurs lois de demande et en fin les valider ou pas en établissant avec un test d'ajustement.

Nous avons également introduit la notion de maintenance industrielle dont en accordant une attention particulière au cycle de maintenance préventive suivi par la RTC .

Lorsque l'entreprise gère plusieurs milliers d'articles (cas SONATRACH 20000 articles), il est difficile qu'elle accorde à tous une même priorité de gestion. C'est pour cela que toute étude de gestion de stocks est précédée par une étude sélective, en utilisant par exemple l'analyse ABC ou analyse de PARETO.

L'analyse sélective comme son nom l'indique, ne peut prendre en considération que les articles les plus influents, sur la base d'un ou plusieurs critères par exemple (Coût, consommation, . . .). Il est, donc, difficile voir impossible, de prendre en considération tous les articles.

Nous commençons notre travail par la collecte de données, en suite, le calcul des prévisions de la demande future, la classification des articles par la méthode ABC-XYZ. Finalement on a appliqué deux politiques de gestion de stock et nous les avons comparés suivant le critère coût d'achat afin de décider quelle est la politique de réapprovisionnement qu'il faut adopter.

## 4.1 Modélisation et Application

Les données représentent l'ensemble des informations nécessaires à la gestion des stocks. La RTC possède plus de 20000 articles dans ses magasins. Ces articles sont classés en deux catégories ; les pièces de rechange et les pièces consommables. Nous apportons dans ce qui suit notre intérêt aux pièces de rechange car elles sont les plus importantes vu leurs coûts élevés.

Le responsable de la section gestion des stocks au sein de la RTC nous a communiqué l'historique des pièces de rechanges des pompes centrifuges au long de la ligne "OB1".

---

Nous avons d'abord procédé à la classification ABC-XYZ de ces articles et nous nous sommes intéressés qu'aux articles des classes AX , AY ,AZ , BX , BY , BZ . Les données utilisées sont annuelles et s'étalent sur une période de 2007 à 2021 , selon l'historique de chaque article . Nous avons donc modélisé les données recueillies pour connaître l'évolution actuelle et future des articles spécifiés .

### 4.1.1 Analyse et Prévisions

#### Prévisions

Pour pouvoir obtenir la classification ABC- XYZ Il faut d'abord mixer nos historiques à nos prévisions . On a alors besoin de calculer les prévisions de consommation (la demande) de chaque article, qui est à caractère aléatoire dans notre cas . Une étude statistique alors s'impose pour prévoir au moins d'une manière approximative , son évolution future .

Nous avons optés pour les méthodes de prévision par lissage exponentiel , car elles fournissent de bon résultats en ce qui est des prévisions à court terme et parce qu'elles présentent l'avantage de la simplicité dans leur mise en œuvre . Et comme notre historique s'étale sur une durée de 14 ans , donc on a opté pour l'estimation de nos prévisions sur les 14 années à venir , donc jusqu'à 2035 .

Pour faire des prédictions précises, il est plus sage de ne pas se fier à un oracle . XLSTAT-Forecast est conçu pour utiliser les méthodes analytiques les plus avancées pour prédire les ventes, les précipitations, les résultats sportifs, analyser les marchés boursiers ou créer des portefeuilles optimisés.

La solution Forecasting fournit des interfaces conviviales pour accéder aux méthodes de prévision de lissage Exponentielle ainsi qu'à l'approche SARIMAX plus avancée pour prévoir les séries chronologiques qui prennent en compte les valeurs passées et les variables.

A titre d'exemple ,on présente ici les résultats obtenus lors de l'utilisation de XLSTAT-Forecasting sur l'article "571011440C : BAGUE D'USURE 180/208X23(2PARTIES)502.1" de la classe AZ . En Annexe on présente les résultats obtenus sur un article de chaque classe .

Annee	571011440C	Forecast	Lower Confidence Bound	Upper Confidence Bound
2008	0			
2009	0			
2010	0			
2011	16			
2012	0			
2013	0			
2014	8			
2015	0			
2016	8			
2017	0			
2018	16			
2019	0			
2020	0			
2021	0	0	0.00	0.00
2022		-0.322460427	-6.26	5.61
2023		6.156606697	0.22	12.09
2024		-0.361398914	-6.30	5.57
2025		15.61850992	9.68	21.55
2026		-0.240959263	-6.18	5.69
2027		-0.26092223	-6.20	5.67
2028		5.558397393	-0.38	11.49
2029		-0.536517311	-6.67	5.60
2030		5.942549813	-0.19	12.07
2031		-0.575455797	-6.71	5.56
2032		15.40445303	9.27	21.54
2033		-0.455016146	-6.59	5.68
2034		-0.474979114	-6.61	5.66
2035		5.34434051	-0.79	11.48

TABLE 4.1 – Résultats obtenus par XLSTAT-Forecaste pour l'article "571011440C" .

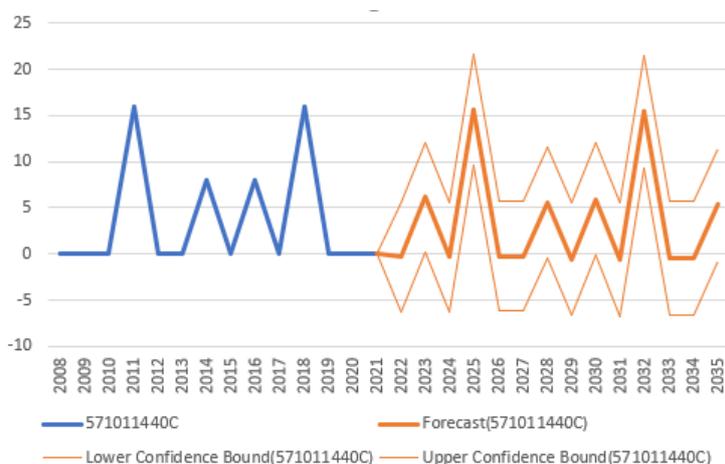


FIGURE 4.1 – Présentation des Résultats de XLSTAT-Forecast pour l'article "571011440C" Classe AZ.

---

Les données dont on dispose sont :

- ✓ Le coût unitaire de chaque article (qui est fixe pour chaque article le long de la période étudiée),
- ✓ Les délais de livraisons (constant) ,
- ✓ Historique de mouvement des articles entre 2007 à 2021,
- ✓ Prévisions de demande des articles de 2022 à 2035 ,
- ✓ Le coût de stockage et le coût de lancement de commande sont pris à 1 dinar symbolique , vu que les infrastructures de stockage sont la propriété de l'entreprise et qu'avec la technologie actuelle le lancement de commande ne coûte rien .

On utilisera ces données dans l'étape suivante .

### **Classification ABC-XYZ**

Pour la détermination des pièces à étudier (Classe A et B) , nous avons réalisé une analyse ABC-XYZ sur 250 articles , en prenant en considération les critères suivants :

- Le coût des pièces ;
- La quantité consommée entre 2007 et 2035 (Historique + Prévision) .

Les résultats de l'analyse ABC-XYZ sont résumés dans le tableau 4.2

Article	Prix Unitaire	Val des Sorties	%Cout	%Cumule	ABC	Coeff de var	XYZ
571011440C	492920.93	50770855.84	8.89%	8.89%	A	46%	Z
571011385C	812541.99	42252183.31	7.40%	16.29%	A	71%	Z
581010204C	1295052.80	38851583.88	6.80%	23.09%	A	86%	Z
571011465C	2468105.12	37021576.85	6.48%	29.57%	A	35%	Y
571010212C	940338.85	31971520.73	5.60%	35.17%	A	48%	Z
571011411C	406051.85	29235733.20	5.12%	40.29%	A	54%	Z
571010525C	1809574.64	21714895.62	3.80%	44.09%	A	58%	Z
571010290C	872496.01	20939904.21	3.67%	47.76%	A	73%	Z
571010287C	6488002.35	19464007.05	3.41%	51.16%	A	0%	X
571011441C	622373.34	17426453.58	3.05%	54.22%	B	35%	Y
571010224C	672425.60	16810639.98	2.94%	57.16%	B	68%	Z
571011386C	1021650.78	16346412.40	2.86%	60.02%	B	67%	Z
571011076C	2082415.32	14576907.22	2.55%	62.57%	B	57%	Z
571011459C	901429.47	11718583.06	2.05%	64.62%	B	19%	Y
571011412C	402258.02	11665482.57	2.04%	66.67%	B	38%	Y
571011352C	3380926.44	10142779.32	1.78%	68.44%	B	0%	X
571011066C	3359626.16	10078878.48	1.76%	70.21%	B	0%	X
571011350C	3359626.16	10078878.48	1.76%	71.97%	B	0%	X
571011351C	3359626.16	10078878.48	1.76%	73.74%	B	0%	X
571011362C	3359626.16	10078878.48	1.76%	75.50%	B	0%	X
571011466C	639977.08	9599656.15	1.68%	77.18%	B	33%	Y
571011387C	370904.99	8901719.73	1.56%	78.74%	B	81%	Z
571011050C	985646.91	8870822.19	1.55%	80.29%	B	51%	Z

TABLE 4.2 – Classification ABC-XYZ.

Les trois zones A, B et C obtenues de l'études ABC sont illustrées sur la figure 4.2 :

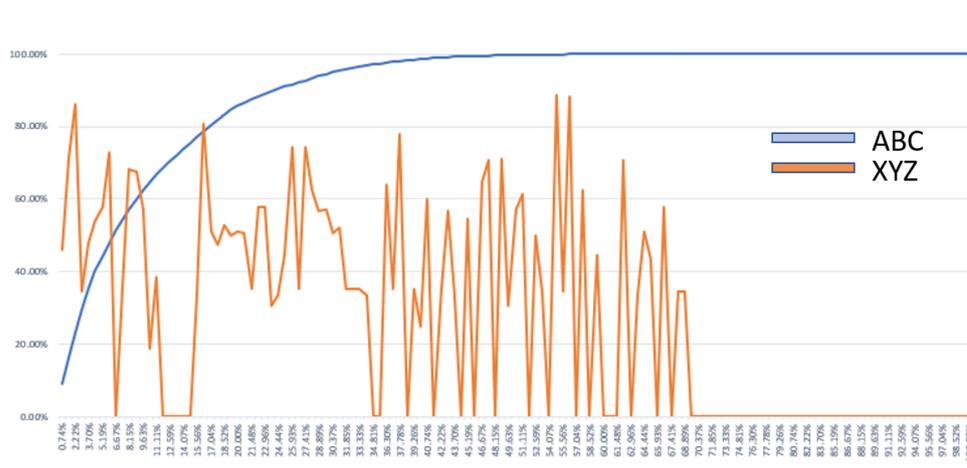


FIGURE 4.2 – Résultats de l'analyse ABC-XYZ.

---

## Interprétation des résultats :

L'analyse ABC-XYZ révèle les résultats suivants :

- La classe AX : "Faible couverture de stock , Faible risque de rupture" on trouve l'article "571010287C ",
- La classe AY : "Couverture de stock moyenne , Risque Maitrisé " on trouve l'article "571011465C" ,
- La classe AZ : "Forte couverture de stock , Risque de rupture élevé" on trouve les articles "571011440C , 571011385C , 581010204C , 571011465C , 571010212C , 571011411C , 571010525C , 571010290C ",
- La classe BX : "Faible couverture de stock , Faible risque rupture" on trouve les articles "571011352C , 571011066C , 571011350C , 571011351C , 571011362C "
- La classe BY : "Couverture de stock moyenne , Risque Maitrisé" on trouve les articles " 571011441C , 571011459C , 571011412C , 571011466C " ,
- La classe BZ : "Forte couverture de stock , Risque de rupture élevé" on trouve les articles "571010224C , 571011386C , 571011076C , 571011387C , 571011050C "

Alors si nos produits sont dans AX ou BX , ils sont très stables mais on n'a pas besoin de beaucoup de stock , on n'a pas besoin d'une faible couverture de stock car le risque de rupture est faible .

Si nos produits sont dans AY ou BY , on peut prendre une couverture de stock moyenne car le risque est maitrisé .

Si nos produits sont dans AZ ou BZ , c'est-à-dire très incertains avec des gros volumes , on va avoir besoin d'une plus grosse couverture de stock (si le coût de stock n'est pas trop élevé ) car le risque de rupture est très élevé .

Les 23 articles énumérés dans le tableau 4.3 feront l'objet de notre étude.

i	Article	Désignation
1	571011440C	BAGUE D'USURE 180/208X23(2PARTIES) 502.1
2	571011385C	BAGUE D'USURE 200/226X 25
3	581010204C	BAGUE D'USURE 247/304X59
4	571011465C	DOUILLE D'EQUILIBRAGE 110/208X126 605
5	571010212C	COUSSINET 95/170X140
6	571011411C	BAGUE D'USURE ROUE 160/181X26 503.3
7	571010525C	COUSSINET-ROTULE(DIAMETRE 90)
8	571010290C	GRAIN DE FOND 120/178X88
9	571010287C	BAGUE USURE ROUE 187/201X 25
10	571011441C	BAGUE D'USURE 108/208X25 502.2
11	571010224C	BAGUE D'USURE ROUE 255/272X41
12	571011386C	BAGUE D'USURE 140/226X 28
13	571011076C	DOUILLE D'EQUILIB 138/226X141
14	571011459C	COUSSINET CENTRAL 108/208X102 545.1
15	571011412C	BAGUE D'USURE ROUE 99/109X30 503.2
16	571011352C	ROUE ASP.BAGUEE317,5X50-54 5A P-296/7
17	571011066C	ROUE 1 BAGUEE IN317,5X36-48(ASP) P296/7 REP230.2
18	571011350C	ROUE BAGUEE(IN)317,5X36-48(REF) P296/7 REP 230.3
19	571011351C	ROUE BAGUEE IN 317,5X36-48(REF) P296/7 REP 230.4
20	571011362C	ROUE BAGUEE(IN)317,5X36-48(ASP) P296/7 REP 230.1
21	571011466C	PISTON D'EQUILIBRAGE 81X110X117 603
22	571011387C	BAGUE USURE ROUE 185/201X 25
23	571011050C	GRAIN DE FOND 111/226X 65

TABLE 4.3 – Articles de la classe A et B étudiés

## 4.2 Modèle de gestion de stock approprié

Le modèle de gestion de stock doit répondre à deux exigences majeures , il doit non seulement assurer un niveau de service contre la pénurie mais aussi optimiser les coûts .

Le modèle en question doit aussi offrir une aide à la prise de décision quelque soit la nature de la demande .

L'approche de résolution que nous allons proposer doit minimiser le coût total de gestion à un niveau de service qui est différent en fonction des classes ABC-XYZ comme suit :

- Classe AX : niveau de service fixé à 0.97 .
- Classe AY : niveau de service fixé à 0.95 .
- Classe AZ : niveau de service fixé à 0.93 .
- Classe BX : niveau de service fixé à 0.91 .

- 
- Classe BY : niveau de service fixé à 0.90 .
  - Classe BZ : niveau de service fixé à 0.89 .

**Décisions à prendre :**

- o Quand faut-il commander ? Répondre revient à déterminer l'événement déclencheur de la passation de commande :
  1. Ordre de réapprovisionnement à période fixe (un fois par semaine, par mois , par an).
  2. Passation de commande quand le stock disponible descend en-dessous du point de commande (stock d'alerte).
- o Combien faut-il commander ? La réponse dépend de la précédente ...

Si on fait une passation de commande à date fixe pour une quantité fixe on ne s'adapte pas aux variations de la demande.

Donc il faut que le facteur temps et/ou le facteur quantité soient variables pour absorber les fluctuations.

1. Si la passation de commande a lieu à périodicité fixe, on approvisionne des quantités différentes d'une commande à la suivante (typiquement on approvisionne ce qui a été consommé) → Méthode du reemplètement périodique .
2. Si la commande survient lorsque le stock mini est atteint, on approvisionne toujours la même quantité → Méthode du point de commande.

On a déjà illustré les méthodes de réapprovisionnement dans le chapitre 2 (tableau (2.1)) .

**Facteurs influents :**

- Les prévisions.
- Les délais de réapprovisionnement.
- Les coûts des stocks.
- La politique de gestion de stock.

---

### 4.2.1 Stock de sécurité avec la formule de wilson

Il faut d'abord déterminer la quantité économique (La quantité de Wilson) de commande pour chaque article . Pour cela , nous rappelons les hypothèses de son calcul , données ci-après :

- Demande connue et stable.
- Article produit et acheté en lot et non pas en continu.
- Coûts de passation de commandes et de possession connus et constants.
- Coûts unitaire indépendant de la quantité.

Les formules utilisées pour effectuer le calcul sont détaillées dans le chapitre 2 retrouvées à partir de la formule (2.2). Les résultats sont donnés dans le tableau (4.4) :

i	Article	Quantité de Wilson
1	571011440C	11
2	571011385C	7
3	581010204C	6
4	571011465C	4
5	571010212C	6
6	571011411C	7
7	571010525C	3
8	571010290C	5
9	571010287C	2
10	571011441C	1
11	571010224C	5
12	571011386C	4
13	571011076C	2
14	571011459C	4
15	571011412C	1
16	571011352C	2
17	571011066C	2
18	571011350C	2
19	571011351C	2
20	571011362C	2
21	571011466C	4
22	571011387C	4
23	571011050C	3

TABLE 4.4 – Quantités de Wilson

## 4.2.2 Modèle à point de commande (Q,r)

Le système à point de commande correspond à un suivi très précis du stock. Il est le mieux adapté dans les cas suivants :

- ✓ Demande à forte variabilité.
- ✓ Article cher qui impose une forte protection contre la rupture.
- ✓ Processus de réapprovisionnement souple (via un stock chez le fournisseur ou un système de production flexible en interne).

Les formules utilisées pour effectuer le calcul du point de commande sont détaillées dans le chapitre 2 , retrouvées à partir des formules (2.6) et (2.5). Les résultats sont illustrés dans le tableau (4.5).

i	Article	Classe	Alpha	r	Q	$C_T(Q,r)$
1	571011440C	A Z	0.93	82	29	14294706.98
2	571011385C	A Z	0.93	34	13	10563045.83
3	581010204C	A Z	0.93	30	12	15540633.55
4	571011465C	A Y	0.95	13	4	9872420.492
5	571010212C	A Z	0.93	27	10	9403388.45
6	571011411C	A Z	0.93	34	16	6496829.6
7	571010525C	A Z	0.93	8	4	7238298.54
8	571010290C	A Z	0.93	22	9	7852464.079
9	571010287C	A X	0.97	4	2	12976004.7
10	571011441C	B Y	0.90	2	1	622373.342
11	571010224C	B Z	0.89	22	9	6051830.394
12	571011386C	B Z	0.89	9	3	3064952.325
13	571011076C	B Z	0.89	3	2	4164830.634
14	571011459C	B Y	0.90	12	4	3605717.866
15	571011412C	B Y	0.90	2	1	402258.0197
16	571011352C	B X	0.91	5	2	6761852.88
17	571011066C	B X	0.91	5	2	6719252.32
18	571011350C	B X	0.91	4	2	6719252.32
19	571011351C	B X	0.91	6	3	10078878.48
20	571011362C	B X	0.91	8	4	13438504.64
21	571011466C	B Y	0.90	12	5	3199885.384
22	571011387C	B Z	0.89	14	5	1854524.944
23	571011050C	B Z	0.89	7	3	2956940.73

TABLE 4.5 – Résultats du Calcul du point de commande .

### 4.2.3 Modèle à révision périodique (R,T)

Principe de la méthode de reapprovisionnement : pour chaque produit un niveau optimum de stock est défini. A période fixe, le magasinier analyse son stock et commande la quantité permettant de reapprovisionner au niveau requis.

Cette méthode s'applique à des produits dont :

- ✓ La consommation est régulière,
- ✓ Coûteux, périssables ou encombrants.

Le tableau(4.6) illustre les quantités de reapprovisionnement pour les articles étudiés (les formules utilisées pour effectuer le calcul des quantités de reapprovisionnement sont détaillées dans le chapitre 2 (2.9)).

i	Article	Classe	Alpha	Q	R	$C_T(R,T)$
1	571011440C	A Z	0.93	33	86	16266390.71
2	571011385C	A Z	0.93	15	36	12188129.8
3	581010204C	A Z	0.93	14	31	18130739.14
4	571011465C	A Y	0.95	5	14	12340525.62
5	571010212C	A Z	0.93	11	28	10343727.3
6	571011411C	A Z	0.93	18	36	7308933.3
7	571010525C	A Z	0.93	6	10	10857447.81
8	571010290C	A Z	0.93	10	23	8724960.088
9	571010287C	A X	0.97	3	4	19464007.05
10	571011441C	B Y	0.90	2	3	1244746.684
11	571010224C	B Z	0.89	10	23	6724255.993
12	571011386C	B Z	0.89	4	9	4086603.1
13	571011076C	B Z	0.89	2	4	4164830.634
14	571011459C	B Y	0.90	5	12	4507147.333
15	571011412C	B Y	0.90	2	3	804516.0394
16	571011352C	B X	0.91	4	8	13523705.76
17	571011066C	B X	0.91	3	6	10078878.48
18	571011350C	B X	0.91	4	5	13438504.64
19	571011351C	B X	0.91	4	8	13438504.64
20	571011362C	B X	0.91	6	9	20157756.96
21	571011466C	B Y	0.90	3	12	1919931.23
22	571011387C	B Z	0.89	6	14	2225429.932
23	571011050C	B Z	0.89	2	6	1971293.82

TABLE 4.6 – Résultats du Calcul des quantités de reapprovisionnement .

Et enfin , le tableau(4.7) regroupe les résultats de la comparaison entre le coût total de gestion du modèle à point de commande et celui avec la périodicité de commande pour les différents articles étudiés :

i	Article	$C_T(Q,r)$	$C_T(R,T)$	$C_T(R,T)-C_T(Q,r)$	Politique à adopter
1	571011440C	14294706.98	16266390.71	1971683.722	(Q,r)
2	571011385C	10563045.83	12188129.8	1625083.973	(Q,r)
3	581010204C	15540633.55	18130739.14	2590105.592	(Q,r)
4	571011465C	9872420.492	12340525.62	2468105.123	(Q,r)
5	571010212C	9403388.45	10343727.3	940338.845	(Q,r)
6	571011411C	6496829.6	7308933.3	812103.7	(Q,r)
7	571010525C	7238298.54	10857447.81	3619149.27	(Q,r)
8	571010290C	7852464.079	8724960.088	872496.0088	(Q,r)
9	571010287C	12976004.7	19464007.05	6488002.35	(Q,r)
10	571011441C	622373.342	1244746.684	622373.342	(Q,r)
11	571010224C	6051830.394	6724255.993	672425.5993	(Q,r)
12	571011386C	3064952.325	4086603.1	1021650.775	(Q,r)
13	571011076C	4164830.634	4164830.634	0	(Q,r) / (R,T)
14	571011459C	3605717.866	4507147.333	901429.4665	(Q,r)
15	571011412C	402258.0197	804516.0394	402258.0197	(Q,r)
16	571011352C	6761852.88	13523705.76	6761852.88	(Q,r)
17	571011066C	6719252.32	10078878.48	3359626.16	(Q,r)
18	571011350C	6719252.32	13438504.64	6719252.32	(Q,r)
19	571011351C	10078878.48	13438504.64	3359626.16	(Q,r)
20	571011362C	13438504.64	20157756.96	6719252.32	(Q,r)
21	571011466C	3199885.384	1919931.23	-1279954.153	(R,T)
22	571011387C	1854524.944	2225429.932	370904.9887	(Q,r)
23	571011050C	2956940.73	1971293.82	-985646.91	(R,T)

TABLE 4.7 – Résultats de la comparaison des coûts totaux de gestion pour les modèles étudiés .

### 4.3 Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'appliquer quelques méthodes de gestion de stocks sur 23 articles révélés par l'analyse ABC-XYZ . Nous avons estimé la moyenne de la demande de chacune des pièces étudiées , calculer le coût total de gestion et enfin une comparaison entre les deux résultats obtenus nous a permis de choisir le modèle qui minimise le coût total, chose qui est désirable.

---

## CONCLUSION GÉNÉRALE

De nos jours, le développement économique s'accroît du jour au lendemain, de ce fait apparaît une concurrence de plus en plus acharnée.

Les stocks avec leurs différents types (matières premières, semi finis, etc.), malgré leurs utilité indiscutable, sont souvent encombrants et engendrent des coûts importants ; leurs gestion demande une étude rigoureuse et détaillée qui doit prendre en considération les facteurs les plus influents sur celle-ci. Dans notre travail nous avons essayé de développer plusieurs modèles de gestion de stocks en tenant compte de la nature des quantités, des périodes et de l'environnement de la gestion soit à un seul ou a plusieurs objets.

Nous avons étudié l'évolution du stock d'un ensemble d'articles au sein de l'entreprise SONATRACH. Ces derniers ont été choisis selon leur importance dans le processus de Maintenance des pompes centrifuges au long de la ligne de l'OB1 et de leurs coûts (prix d'achat). Pour sélectionner les articles à étudier, nous avons appliqué l'analyse ABC-XYZ, en choisissant le coût et la volatilité de consommation comme critères de sélection.

Des méthodes de gestion de stocks ont été appliquées à chaque article. Qui ont été choisies en fonction des spécificités de chaque produit. Deux politiques de gestion de stocks, jugées d'une certaine manière proche de la politique utilisée par l'entreprise, ont été mises en œuvre afin de dégager la quantité alimentant le stock, une étude comparative suivant le critère coût a été réalisée. Les méthodes appliquées ont aboutis à de différents résultats qui confirment l'indispensabilité de l'utilisation de ces modèles développés dans l'entreprise.

Plusieurs perspectives se génèrent pour l'amélioration de ce modeste travail, comme l'ajustement de la demande , l'optimisation de la politique de la maintenance préventive suivi par la DRGB,...

---

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] **D.AISSANI** "Techniques Avancées de la Gestions de Stock" . Cours de Master 2 . Modélisation Mathématique et Techniques de Décision , Département de Recherche Operationnelle , Université de Béjaia , 2020/2021 .
- [2] **D.ANABI , N.DJEMA** "Gestion des Stocks d'une famille de pieces de rechange : Cas RTC-SONATRACH " . Mémoire Master , Modélisation Mathématique et Techniques de Décision , Département de Recherche Operationnelle , Université de Béjaia , 2016 .
- [3] **F.BERGERET , S.MERCIER** "Statistique Industrielle" .Dunod, Janvier 2021 .
- [4] **K.Bessai ,H.Chibout** "Elaboration d'un modèle multicritère pour la gestion des stocks de pièces de rechange" . Mémoire Master , Modélisation Mathématique et Techniques de Décision , Département de Recherche Operationnelle , Université de Béjaia , 2004 .
- [5] **D.BOUAMI** "Le Grand Livre de la Gestion des Stocks et Approvisionnements" . AFNOR , 2019 .
- [6] Documents Interne SONATRACH ,2020 .
- [7] **E.H.GBAGUIDI** "Modèle de Gestion des stocks enavenir certain : Modèle de Wilson" . Mémoire Master ,Recherche Opérationnell ,Institut de Mathématiques et de Sciences Physiques(IMSP),2015-2016.
- [8] **E.M.GOLDRATT ,J.Cox, D.Whitford** "The Goal : A Process of Ongoing Improvement" . North River Press, 2012 .
- [9] **L.LAMRI ,S.SBARGOUD** "Optimisation de la gestion des stocks cas NAFTAL TIZI OUZOU" . Mémoire Master ,Mathématiques appliquées à la gestion , Dépar-

---

tement mathématiques , Université de TIZI-OUZOU , 2018/2019 .

- [10] **Lei Lei, L.DECANDIA, R.OPPENHEIN et Y.ZHAO** "Managing Supply Chain Operations " . World Scientific Publishing Company , 2017 .
- [11] **J.MANNERS-BELL** "Supply Chain Risk" . Kogan Page, 2014 .
- [12] Manuel de Formation pour la conduite et l'entretien Pompes Centrifuge . Document Sonatrach ,2020.
- [13] **P.MYERSON** "Lean Supply Chain and logistics Management " . McGraw Hill Professional, 2012 .
- [14] **A.PANKRATZ** "Forecasting with Univariate Box-Jenkins Model : Concepts and Cases " . Wiley Series in Probability and Statistics , 1<sup>st</sup> Edition ,1983 .
- [15] **A.RAMBEUX** "Gestion Economique des Stocks " . Dunod , 1982 .
- [16] **M.VATE** "Statistique Chronologique et Prévision" . Economica , 1993 .
- [17] <http://jackadit.com/index.php?p=gstock3>
- [18] "Analyse multicritères ABC-XYZ" . <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/six-sigma/les-outils-de-la-qualite/182-analyse-multicriteres-abc-xyz>
- [19] "ABC-XYZ Analyse To Optimise Your Inventory" . <https://abcsupplychain.com/abc-xyz-analyse/>
- [20] "ARIMA models and Box-Jenkins method in Eviews - Complete guide, Step by Step!" . <https://youtu.be/ukGJ0sLgbqI>

# ANNEXES

Année	571010287C	Forecast	Lower Confidence Bound	Upper Confidence Bound
2008	0			
2009	0			
2010	0			
2011	0			
2012	0			
2013	0			
2014	0			
2015	0			
2016	0			
2017	1			
2018	0			
2019	0			
2020	0			
2021	0	0	0.00	0.00
2022		0.175088449	-0.42	0.77
2023		0.164163973	-0.43	0.76
2024		0.163039382	-0.43	0.76
2025		0.912105853	0.32	1.50
2026		0.161223685	-0.43	0.75
2027		0.176018819	-0.42	0.77
2028		0.174356323	-0.42	0.77
2029		0.180580589	-0.41	0.77
2030		0.282279462	-0.38	0.95
2031		0.271354986	-0.39	0.94
2032		0.270230395	-0.39	0.94
2033		1.019296865	0.35	1.68
2034		0.268414697	-0.40	0.93
2035		0.283209832	-0.38	0.95

TABLE 8 – Résultats obtenus par XLSTAT-Forecaste pour l'article "571010287C ".

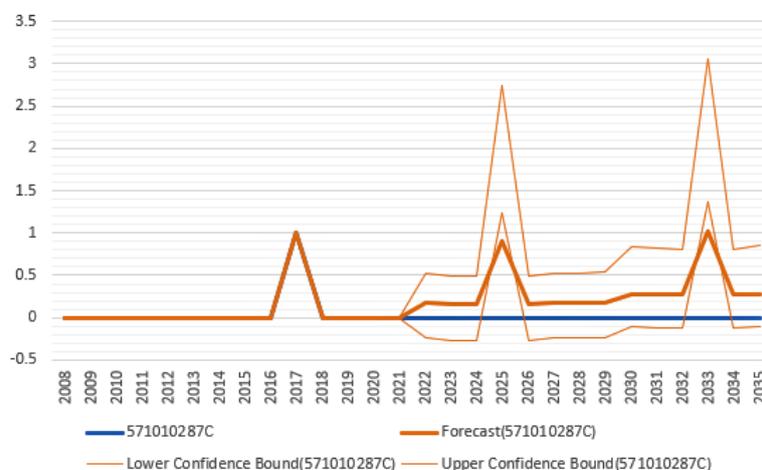


FIGURE 3 – Présentation des Résultats de XLSTAT-Forecast pour l'article "571010287C" Classe AX.

Année	571011465C	Forecast	Lower Confidence Bound	Upper Confidence Bound
2008	0			
2009	0			
2010	0			
2011	2			
2012	0			
2013	0			
2014	1			
2015	0			
2016	0			
2017	0			
2018	1			
2019	1			
2020	1			
2021	0	0	0.00	0.00
2022		1.22793099	0.40	2.05
2023		0.212514618	-0.61	1.04
2024		0.21176809	-0.61	1.03
2025		0.210827667	-0.61	1.03
2026		1.022418478	0.20	1.85
2027		1.71332167	0.89	2.54
2028		0.773159599	-0.05	1.60
2029		0.238983517	-0.58	1.06
2030		1.345947351	0.50	2.20
2031		0.330530979	-0.52	1.18
2032		0.329784451	-0.52	1.18
2033		0.328844028	-0.52	1.18
2034		1.140434838	0.29	1.99
2035		1.831338031	0.98	2.68

TABLE 9 – Résultats obtenus par XLSTAT-Forecaste pour l'article "571011465C ".

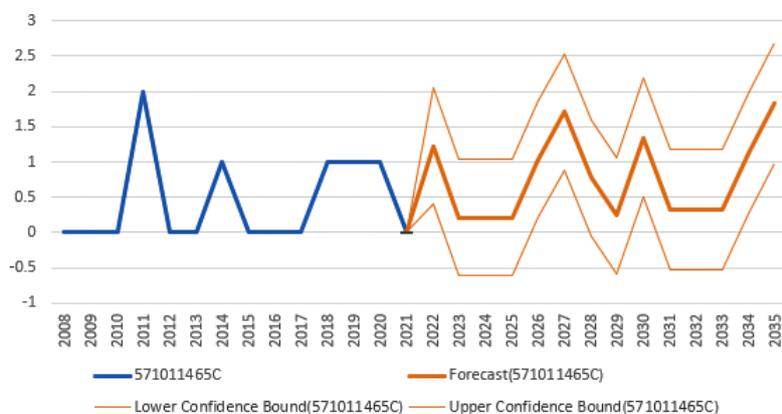


FIGURE 4 – Présentation des Résultats de XLSTAT-Forecast pour l'article "571011465C" Classe AY.

Année	571011066C	Forecast	Lower Confidence Bound	Upper Confidence Bound
2008	0			
2009	0			
2010	0			
2011	0			
2012	0			
2013	0			
2014	0			
2015	0			
2016	0			
2017	0			
2018	1			
2019	0			
2020	0			
2021	0	0	0.00	0.00
2022		0.157932605	-0.43	0.74
2023		0.14630965	-0.44	0.73
2024		0.144479777	-0.44	0.73
2025		0.143250309	-0.44	0.73
2026		0.892063859	0.31	1.48
2027		0.156543357	-0.43	0.74
2028		0.15455613	-0.43	0.74
2029		0.152632331	-0.43	0.74
2030		0.253171775	-0.40	0.91
2031		0.24154882	-0.42	0.90
2032		0.239718947	-0.42	0.90
2033		0.23848948	-0.42	0.90
2034		0.987303029	0.33	1.65
2035		0.251782527	-0.41	0.91

TABLE 10 – Résultats obtenus par XLSTAT-Forecaste pour l'article "571011066C".

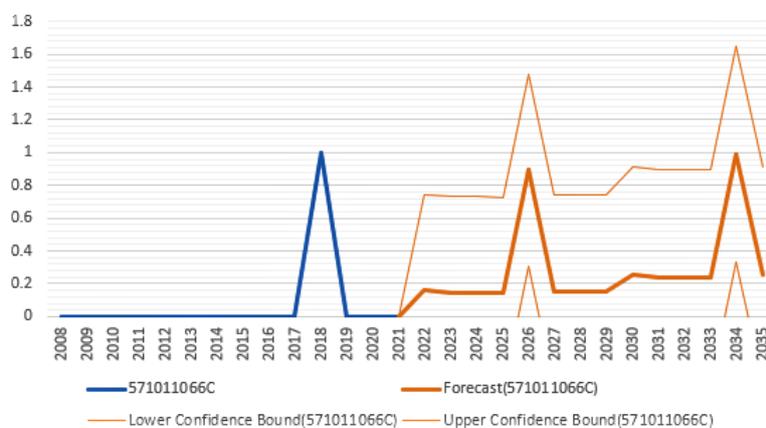


FIGURE 5 – Présentation des Résultats de XLSTAT-Forecast pour l'article "571011066C" Classe BX.

Année	571011466C	Forecast	Lower Confidence Bound	Upper Confidence Bound
2008	0			
2009	0			
2010	0			
2011	2			
2012	0			
2013	0			
2014	1			
2015	0			
2016	0			
2017	0			
2018	2			
2019	0			
2020	1			
2021	0	0	0.00	0.00
2022		-0.015493095	-0.67	0.64
2023		-0.016871756	-0.67	0.64
2024		-0.018252008	-0.67	0.63
2025		1.980365929	1.33	2.63
2026		-0.021018166	-0.67	0.63
2027		0.485407992	-0.17	1.14
2028		0.851159814	0.20	1.50
2029		-0.026808713	-0.69	0.63
2030		-0.028187374	-0.69	0.63
2031		-0.029567626	-0.69	0.63
2032		1.96905031	1.31	2.63
2033		-0.032333784	-0.69	0.63
2034		0.474092374	-0.18	1.13
2035		0.839844196	0.18	1.50

TABLE 11 – Résultats obtenus par XLSTAT-Forecaste pour l'article "571011466C".

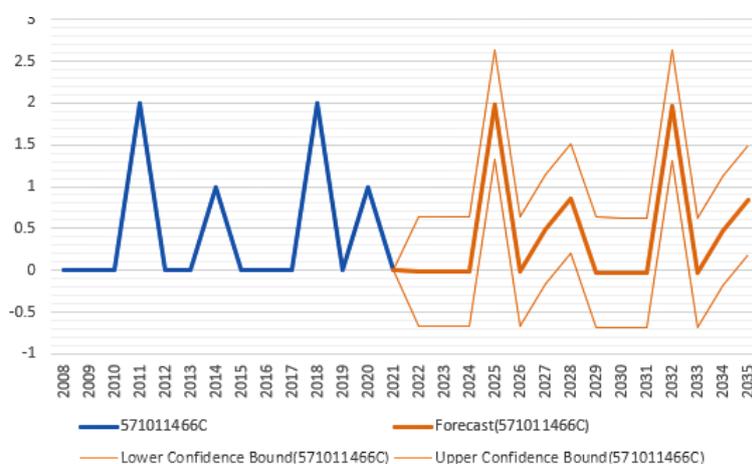


FIGURE 6 – Présentation des Résultats de XLSTAT-Forecast pour l'article "571011466C" Classe BY.

Année	571011050C	Forecast	Lower Confidence Bound	Upper Confidence Bound
2008	0			
2009	0			
2010	0			
2011	0			
2012	0			
2013	0			
2014	0			
2015	2			
2016	0			
2017	0			
2018	3			
2019	0			
2020	0			
2021	0	0	0.00	0.00
2022		0.473797814	-1.28	2.23
2023		2.43892895	0.68	4.20
2024		0.433439331	-1.32	2.19
2025		0.429750928	-1.33	2.19
2026		2.676191578	0.92	4.43
2027		0.469630071	-1.29	2.23
2028		0.463668391	-1.29	2.22
2029		0.457896993	-1.30	2.22
2030		0.759515324	-1.21	2.73
2031		2.72464646	0.75	4.70
2032		0.719156841	-1.25	2.69
2033		0.715468439	-1.26	2.69
2034		2.961909088	0.99	4.94
2035		0.755347581	-1.22	2.73

TABLE 12 – Résultats obtenus par XLSTAT-Forecaste pour l'article "571011050C".

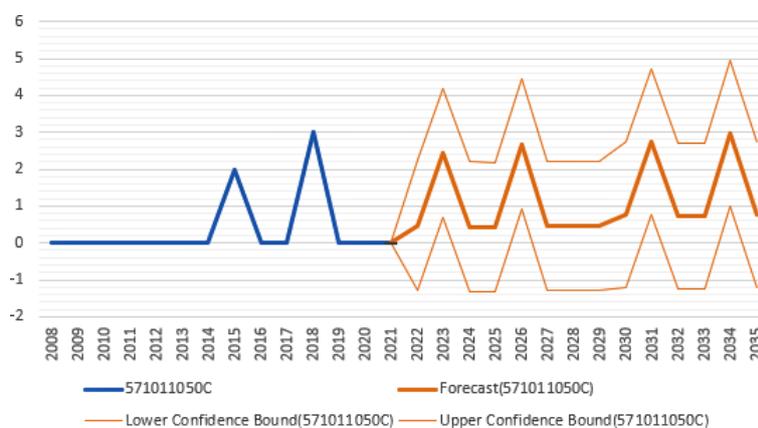


FIGURE 7 – Présentation des Résultats de XLSTAT-Forecast pour l'article "571011050C" Classe BZ.

**Résumé :**

Le stock constitue « un mal nécessaire » pour tout système de gestion industriel il apporte de la souplesse en masquant de nombreux problèmes, mais son coût est élevé. Gérer les stocks est donc un impératif pour maîtriser son niveau au juste nécessaire.

Dans notre travail , une étude de prévision à l'aide du logiciel « XL-STAT FORECASTING » nous a permis d'observer la nature de la consommation d'une famille de pièces de rechange des pompes centrifuges principales au sein de l'entreprise SONATRACH.

L'Analyse ABC-XYZ a été appliquée afin de repérer les pièces les plus influentes sur le stock .

Enfin une étude comparative entre les modèles choisis suivant le critère coût a été réalisée pour déterminer la politique de gestion la plus adéquate .

**Mots clés :** Gestion des stocks, pièce de rechange, demande, optimisation du coût, rupture, sur-stockage, prévision, modélisation , SONATRACH , l'analyse ABC-XYZ .

**Abstract :**

Stock is "a necessary evil" for any industrial management system ; it provides flexibility by hiding many problems, but its cost is high. Managing stocks is therefore essential in order to control its level as necessary.

In our work, a forecast study using the software "XL-STAT FORECASTING" allowed us to observe the nature of the consumption of a family of spare parts for the main centrifugal pumps within the company SONATRACH.

ABC-XYZ Analysis was applied to pinpoint the most influential parts in the inventory.

Finally, a comparative study between the models chosen according to the cost criterion was carried out to determine the most adequate management policy.

**Keywords :** inventory management, spare part, demand, cost optimization, rupture, overstocking, forecasting, modeling, SONATRACH , ABC-XYZ Analysis .