

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 DE FIN DE CYCLE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER EN MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES  
Spécialité : Optimisation et Fiabilité des Réseaux de Communication

Présenté par

**MEKHNACHE YASSINE**

Thème :

---

### **Détermination des Stocks de Sécurité d'Articles d'Instrumentation à la DRGB Sonatrach : Modèles Traditionnels et Potentiel de l'Intelligence Artificielle**

---



Soutenu : le 03/07/2024      Devant le Jury composé de :

<i>M<sup>me</sup></i>	RAHMOUNE Fazia	Professeur	Univ. de Bejaia	Présidente
<i>M<sup>r</sup></i>	AÏSSANI Djamil	Professeur	Univ. de Bejaia	Rapporteur
<i>M<sup>me</sup></i>	OUTAMAZIRT Assia	Docteur	LaMOS	Co-Promotrice
<i>M<sup>me</sup></i>	AIANE Nedjma	Docteur	Univ. de Bejaia	Examinatrice
<i>M<sup>me</sup></i>	BAZIZI Lydia	Docteur	Univ. de Bejaia	Examinatrice
<i>M<sup>r</sup></i>	IDIR Essaid	Chef (MTN)	Entr. SONATRACH	Invité

**Année Universitaire : 2023/2024**

# Remerciements

**Je** tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur Djamil AÏSSANI, Professeur à l'Université de Béjaïa, et à Madame Assia OUTAMAZIRT, chercheuse au LaMOS, qui m'ont fait l'honneur d'être les rapporteurs de mon manuscrit de Master. Je les remercie pour leurs grandes qualités humaines, leur précieuse attention ainsi que pour leurs conseils et orientations qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail. Leur disponibilité, leurs encouragements et leur sens du travail ont été particulièrement appréciés.

**Mes** sincères remerciements et ma gratitude vont aussi à Madame Fazia AOUDIA née RAHMOUNE, Professeur à l'Université de Béjaïa, pour avoir accepté de juger ce travail et de présider le jury de soutenance. Que vous soyez assurés de mon entière reconnaissance.

**Je** remercie également tous les autres membres de jury, Madame Nedjma AIANE, Docteur à l'Université de Béjaïa, et Madame BAZIZI Lydia, Docteur à l'Université de Béjaïa d'avoir bien voulu donner de leurs temps pour lire ce mémoire et d'avoir jugé mon travail.

**Je** tiens à remercier mon tuteur de stage Esaid IDIR chef de Département maintenance et Sofiane ATROUNE chef de service instrumentation, de m'avoir d'abord accueilli, mais surtout accompagné durant toute la durée du stage. Son soutien, ses conseils et sa disponibilité auront été précieux pour mener à bien mon travail.

**Un** grand merci à toute l'équipe de l'entreprise SONATRACH, ingénieurs, techniciens et administratifs, pour l'accueil chaleureux et cordial qui m'a été réservé.

**Je** n'oublierai pas non plus de remercier tous les enseignants du Département de Recherche Opérationnelle qui ont assuré ma formation universitaire.

**J'**ai une pensée particulière pour ma chère famille en qui m'ont toujours soutenus et encouragés tout au long de mes études, ce dont je suis très reconnaissant.

**Merci** aussi à tous mes amis, en particulier JUBA, FERHAT et KHALEF, mes collègues et toutes les personnes que j'ai pu côtoyer pendant mes études à l'université. Je leur exprime ma profonde sympathie et leur souhaite beaucoup de bien.

**Enfin**, je voudrais mentionner une activité qui m'a été particulièrement précieuse durant toutes ces années à l'université : faire du vélo. Cette activité m'a permis de me détendre et de me ressourcer, offrant une pause bienvenue dans le tumulte des études.

# Dédicaces

*“ Je dédie ce travail à toutes les personnes  
que j’aime et qui m’aiment ”*

*Yassine. M... *

# Table des Matières

<b>TABLE DES MATIÈRES</b>	<b>II</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>IV</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b>	<b>V</b>
<b>LISTE DES ABRÉVIATIONS</b>	<b>VII</b>
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b>	<b>1</b>
<b>1 l'Organisme d'Accueil : l'Entreprise SONATRACH</b>	<b>3</b>
1.1 Présentation de l'entreprise SONATRACH . . . . .	3
1.1.1 Historique de l'entreprise . . . . .	4
1.1.2 Activités de l'Entreprise . . . . .	4
1.2 La Région Transport Centre Béjaïa (RTC) . . . . .	7
1.3 Patrimoine de la Région Transport Centre (RTC-Béjaïa) . . . . .	7
1.3.1 Oléoduc 24"/22" OB1 " Haouhd El Hamra – Bejaïa" . . . . .	7
1.4 Présentation du Terminal Marin de Béjaïa (TMB) . . . . .	8
1.4.1 Le Terminal Nord (TMN) . . . . .	9
1.4.2 Le Terminal Sud (TMS) . . . . .	10
1.5 Organisation structurelle et fonctionnelle de la RTC-Béjaïa . . . . .	11
1.5.1 Présentation des différentes structures de la RTC : . . . . .	13
1.6 Position du problème . . . . .	19
<b>2 Introduction à la Gestion des Stocks : Concepts et Modèles</b>	<b>21</b>
2.1 Stocks : définitions et Classification . . . . .	21
2.1.1 Définition générale des stocks . . . . .	21
2.1.2 Fonctions des stocks . . . . .	22
2.1.3 Natures de stock . . . . .	23
2.1.4 Niveaux des stocks . . . . .	24
2.1.5 Rôle des Stocks . . . . .	26
2.1.6 Objectifs, avantages et inconvénients des stocks . . . . .	27

2.1.7	Classification des stocks . . . . .	29
2.2	Gestion des stocks . . . . .	33
2.2.1	Éléments de la gestion des stocks . . . . .	33
2.2.2	Différents coûts de stock . . . . .	35
2.2.3	Règles de contrôle . . . . .	36
2.2.4	Politiques d'approvisionnement . . . . .	37
2.3	Modèles de gestion des stocks . . . . .	39
2.3.1	Modèles déterministes . . . . .	39
2.3.2	Modèles stochastiques . . . . .	42
<b>3</b>	<b>Analyse et Modélisation des Stocks</b>	<b>48</b>
3.1	Collecte des Données . . . . .	48
3.2	Modélisation des Stocks . . . . .	49
3.2.1	Classification ABC-XYZ . . . . .	49
3.2.2	Modèle de gestion de stock . . . . .	52
3.3	Choix du Modèle de Gestion des Stocks . . . . .	71
3.4	Calcul des Coûts . . . . .	71
3.4.1	Coûts avec le Modèle $(Q, r)$ . . . . .	71
3.4.2	Coûts avec le Modèle $(R, T)$ . . . . .	74
3.4.3	Comparaison des coûts totaux de gestion . . . . .	76
	<b>Bibliographie</b>	<b>83</b>
<b>A</b>	<b>Potentiel de l'Intelligence Artificielle dans la Gestion des Stocks chez SONATRACH</b>	<b>88</b>
A.1	Contexte et Motivation . . . . .	88
A.2	Présentation de l'Intelligence Artificielle . . . . .	88
A.2.1	Apprentissage automatique (Machine Learning) . . . . .	89
A.2.2	Apprentissage profond (Deep Learning) . . . . .	100
A.3	Applications de l'IA dans la gestion des stocks . . . . .	103
A.3.1	Prévisions de la demande . . . . .	103
A.3.2	Optimisation des niveaux de stock . . . . .	104
A.4	Avantages et défis de l'IA dans la gestion des stocks chez SONATRACH . . . . .	105

# Liste des Tableaux

2.1	Les politiques de réapprovisionnement. . . . .	39
2.2	Quantiles associés aux niveaux de service courants. . . . .	44
3.1	Classification ABC-XYZ. . . . .	50
3.2	Interprétation détaillée des résultats de l'analyse ABC-XYZ . . . . .	52
3.3	Niveaux de service par classe ABC-XYZ . . . . .	53
3.4	Stock de sécurité du modèle $(Q, r)$ . . . . .	54
3.5	Interprétation des résultats de l'analyse des niveaux de stock de sécurité . . . . .	57
3.6	Point de Commande du modèle $(Q, r)$ . . . . .	59
3.7	Interprétation des résultats des points de commande . . . . .	61
3.8	Stock de sécurité de modèle $(R, T)$ . . . . .	63
3.9	Niveau de rechargement de modèle $(R, T)$ . . . . .	67
3.10	Les coûts avec le modèle $(Q, r)$ . . . . .	72
3.11	Les coûts avec le modèle $(R, T)$ . . . . .	74
3.12	Évaluation comparée des coûts de gestion des modèles . . . . .	76
3.13	La politique adaptée à chaque modèle . . . . .	78

# Liste des Figures

1.1 Organigramme de l'entreprise Sonatrach . . . . .	4
1.2 Réseaux des pipelines principaux . . . . .	6
1.3 Description des ouvrages de RTC . . . . .	8
1.4 Parc de Stockage . . . . .	9
1.5 Manifold . . . . .	9
1.6 Organigramme de la RTC-Bejaia. . . . .	12
1.7 Structure du département maintenance. . . . .	15
1.8 Organigramme de l'ATR [46]. . . . .	17
2.1 Assimilation du stock à un réservoir de régulation. . . . .	22
2.2 Environnement de la fonction stock [29]. . . . .	23
2.3 Retard de livraison. . . . .	24
2.4 Consommation Accélérée. . . . .	24
2.5 Stock de sécurité. . . . .	25
2.6 Représentation graphique du stock maximum. . . . .	26
2.7 Représentation graphique du stock minimum. . . . .	26
2.8 Courbe de classification des articles par la méthode ABC. . . . .	30
2.9 Exemple de produits XYZ [46]. . . . .	31
2.10 Principe ABC-XYZ. . . . .	32
2.11 Système multi-échelons. . . . .	33
2.12 Les délais de livraisons (en flèches plaines) [2]. . . . .	35
2.13 Réapprovisionnement à Date fixes et Quantité fixes. . . . .	37
2.14 Réapprovisionnement à Date fixe et Quantité variable. . . . .	38
2.15 Réapprovisionnement à Date variable et Quantité fixe. . . . .	38
2.16 Réapprovisionnement à Date variable et Quantité variable. . . . .	39
2.17 Modèle de Wilson [1]. . . . .	40
2.18 Variation des différents coûts selon le modèle de Wilson. . . . .	41
2.19 Evolution du stock dans le cas d'un système $(Q, r)$ . . . . .	43
2.20 Évolution du stock dans un système $(R, T)$ . . . . .	45

---

3.1 Ensemble de données . . . . .	49
3.2 Résultats de l'analyse ABC-XYZ. . . . .	49
3.3 Stock de sécurité de modèle $(Q,r)$ . . . . .	56
3.4 Stock de sécurité de modèle $(R,T)$ . . . . .	65
A.1 Apprentissage supervisé. . . . .	92
A.2 Classification binaire. . . . .	93
A.3 Classification multi-classe. . . . .	93
A.4 Apprentissage Non Supervisé. . . . .	96
A.5 Clustering dans l'apprentissage automatique. . . . .	96
A.6 Apprentissage par renforcement. . . . .	97
A.7 Quelques algorithmes d'apprentissage du Machine Learning [52]. . . . .	97
A.8 Le processus de Machine Learning [49]. . . . .	99
A.9 Apprentissage profond [50]. . . . .	100
A.10 L'apprentissage profond de l'intelligence artificielle [53]. . . . .	100
A.11 Structure de modèle de neurones artificiels. . . . .	101

# Liste des Abréviations

- *DRGB* : Direction Régionale de Béjaia.
- *RTC* : Région Transport Centre-Bejaia.
- *DLC* : Date Limite de Consommation.
- *L* : Est une constante connue représentant le délai de livraison.
- *Q* : Quantité des pièces approvisionnées ou commandées en une seule fois.
- *r* : Point de commande.
- *T* : Période de révision.
- *S* : Stock de sécurité.
- *R* : Le niveau de reapprovisionnement.
- *f* : La fonction de densité de la variable aléatoire *D*.
- *X* : La demande durant le délai de livraison.
- *D* : La demande ponctuelle qui suit une loi normale de paramètres  $(\mu_D, \sigma_D)$ .
- $\mu_T$  : La demande moyenne durant la période d'attente *T*.
- $\mu_X$  : La demande moyenne durant la période d'attente *L*.
- $\sigma_X$  : C'est l'écart-type durant la période d'attente *L*.
- $\mu_X$  : La demande moyenne durant la période d'attente  $(L + T)$ .
- $\sigma_X$  : C'est l'écart-type durant la période d'attente  $(L + T)$ .
- $(Q, r)$  : Modèle de gestion de stock a point de commande.
- $(R, T)$  : Modèle de gestion de stock a quantité de reapprovisionnement.
- $Ss(Q, r)L_a$  : Stock de sécurité de modèle  $(Q, r)$  via une demande d'achat.
- $Ss(Q, r)L_b$  : Stock de sécurité de modèle  $(Q, r)$  via un dossier de consultation fournisseur.
- $Ss(Q, r)L_c$  : Stock de sécurité de modèle  $(Q, r)$  via un dossier d'Appel d'Offres.

- $Ss(R, T)L_a$  : Stock de sécurité de modèle  $(R, T)$  via une demande d'achat.
- $Ss(R, T)L_b$  : Stock de sécurité de modèle  $(R, T)$  via un dossier de consultation fournisseur.
- $Ss(R, T)L_c$  : Stock de sécurité de modèle  $(R, T)$  via un dossier d'Appel d'Offres.
- $\lambda_j$  : La demande annuelle du  $j^{\text{ème}}$  article.
- $h_j$  : Le coût unitaire de réapprovisionnement du  $j^{\text{ème}}$  article.
- $t_j p_j$  : Le coût unitaire de possession en stock du  $j^{\text{ème}}$  article.
- $C_T$  : La fonction de coût total.
- $C_s$  : Le coût de maintien en stock d'un article.
- $C_p$  : Le coût de pénurie par unité non livrée et par unité de temps.
- $IA$  : Intelligence artificielle.

# Introduction Générale

Dans un environnement commercial dynamique et compétitif, la gestion des stocks constitue un élément crucial pour le succès opérationnel des entreprises. Elle permet non seulement de garantir la disponibilité des produits nécessaires aux activités quotidiennes, mais aussi de minimiser les coûts liés à l'immobilisation du capital. La complexité de cette gestion augmente avec la diversité et la spécificité des articles en stock, ce qui rend essentiel l'utilisation de modèles de gestion de stocks reconnus pour leur efficacité afin d'optimiser les niveaux de stock et répondre efficacement aux besoins opérationnels.

Pour SONATRACH, entreprise leader dans le secteur des hydrocarbures, la gestion des stocks d'articles d'instrumentation est cruciale pour éviter les interruptions dans le transport des produits pétroliers. Ces articles jouent un rôle indispensable dans la surveillance et le contrôle des processus de transport. Leur absence peut entraîner des arrêts coûteux et des interruptions significatives des opérations, soulignant ainsi leur importance essentielle pour l'entreprise.

La question de la gestion des stocks, et notamment la gestion des stocks des pièces de rechange, a déjà été abordée à la DRGB (RTC) Sonatrach ces dernières années. Des travaux antérieurs, tels que [3, 25], ont exploré diverses approches pour améliorer la gestion des stocks de pièces de rechange. Ces études ont principalement mis l'accent sur l'optimisation des niveaux de stock et la réduction des coûts de stockage en recommandant un modèle unique pour l'ensemble des articles. Cependant, malgré ces efforts, la gestion des stocks demeure un défi persistant en raison de la complexité et de la variabilité des besoins opérationnels. Il est donc crucial de continuer à explorer de nouvelles approches et solutions pour mieux répondre aux exigences actuelles. Les défis associés à la gestion des stocks d'articles d'instrumentation chez SONATRACH incluent la variabilité des délais de livraison, le manque d'informations exactes et actualisées sur les quantités nécessaires d'articles d'instrumentation à différents moments, et la spécificité technique des articles. Ces facteurs compliquent l'organisation des réapprovisionnements et peuvent conduire à des situations de surstock ou de rupture de stock. Un autre aspect critique est la gestion du stock de sécurité, essentiel pour prévenir les ruptures dues à des incertitudes dans la demande et la chaîne d'approvisionnement. Cependant, déterminer le niveau approprié de stock de sécurité, en tenant compte des différentes méthodes d'achat et des délais associés, représente une difficulté pour les gestionnaires des stocks.

Ce travail vise à répondre à ces défis en appliquant des modèles de gestion des stocks reconnus dans la littérature. Pour chaque article, nous avons recommandé le modèle le plus adapté :

- Le modèle  $(Q, r)$  est préconisé pour les articles avec une demande stable, car il assure une disponibilité constante en réapprovisionnant les articles dès que le stock atteint un certain seuil.
- Le modèle  $(R, T)$  est conseillé pour les articles avec une demande variable, car il permet des ajustements réguliers des stocks à des intervalles fixes, ce qui est crucial pour gérer les fluctuations de la demande.

Par la suite, nous avons évalué les coûts associés à chaque modèle pour chaque article. Bien que la réduction des coûts soit un facteur important, notre analyse a mis l'accent sur la disponibilité des articles et l'évitement des ruptures de stock, conformément à la priorité de l'entreprise. Ainsi, nous avons privilégié le choix du modèle qui assure le mieux la disponibilité continue des articles.

De plus, en considérant différentes méthodes d'achat, telles que les bons de commande, les consultations fournisseurs et les appels d'offres, nous avons pu adapter nos stratégies de réapprovisionnement aux spécificités et aux délais associés à chaque méthode. Cette approche permet de maximiser l'efficacité de la gestion des stocks en minimisant les risques de rupture, offrant ainsi une solution sur mesure pour chaque article, assurant une gestion des stocks plus précise.

En outre, ce travail inclut une exploration théorique des techniques d'intelligence artificielle pour la gestion des stocks. Bien que cette partie n'ait pas été mise en œuvre de manière pratique, elle ouvre des perspectives prometteuses pour l'amélioration future de la gestion des stocks chez SONATRACH. L'application potentielle de l'IA pourrait permettre d'augmenter la précision des prévisions de la demande et d'optimiser les niveaux de stock de manière plus dynamique et adaptative.

Ce travail s'inscrit dans le cadre de mon stage au sein de SONATRACH et est structuré en quatre chapitres :

1. Le premier chapitre est consacré à la présentation de SONATRACH et de son environnement opérationnel, offrant un contexte pour comprendre les défis spécifiques de la gestion des stocks d'articles d'instrumentation.
2. Le deuxième chapitre explore les notions de base liées à la gestion des stocks.
3. Le chapitre trois est consacré à l'application pratique des modèles de gestion des stocks pour optimiser les niveaux de stock et garantir la disponibilité continue des articles d'instrumentation.
4. Le dernier chapitre explore théoriquement l'application des techniques d'intelligence artificielle pour la gestion des stocks, sans mise en œuvre pratique.
5. Nous concluons avec une synthèse générale et des perspectives visant à améliorer le travail réalisé.

# Chapitre 1

## **l'Organisme d'Accueil : l'Entreprise SONATRACH**

### **Introduction**

Au cours de cette période, j'ai eu l'honneur d'intégrer l'équipe responsable du département de maintenance, ainsi que celui de l'approvisionnement et du transport. Mon objectif principal était de parfaire mes connaissances pratiques en matière de gestion des stocks pour en comprendre les mécanismes dans un cadre opérationnel. En outre, il m'a été confié la réalisation d'une étude mathématique relative à la gestion des stocks, une démarche stimulante qui a enrichi mon expérience d'une dimension analytique. Ce stage a été une opportunité précieuse pour l'application de mes compétences académiques et pour l'acquisition d'une compréhension approfondie des processus logistiques au sein d'une entreprise dynamique telle que SONATRACH.

Dans le cadre de ce premier chapitre, je me propose de présenter l'entreprise SONATRACH, au sein de laquelle j'ai effectué mon stage, ainsi que d'exposer la problématique qui a été établie.

### **1.1 Présentation de l'entreprise SONATRACH**

SONATRACH, l'Entreprise Nationale de Recherche, Production, Transport, Transformation et Commercialisation des Hydrocarbures, est un acteur majeur du secteur des hydrocarbures en Algérie. Classée 12<sup>me</sup> compagnie pétrolière mondiale et première firme du continent africain, elle occupe également la 13<sup>me</sup> place mondiale en tant qu'exportateur de gaz naturel et la deuxième place pour les gaz de pétrole liquéfiés [25]. Sa production totale (tous produits confondus) s'élève à 2002 millions de tonnes. Ses activités représentent environ 30% du PNB de l'Algérie et emploient environ 120 000 personnes au sein du groupe.

### 1.1.1 Historique de l'entreprise

La première exploitation des gisements d'hydrocarbures en Algérie a commencé vers la fin de l'année 1890 dans le bassin du Cheliff. Cependant, le premier gisement n'a été découvert qu'en 1948 dans la région de Oued-Guetirini, à 150 km d'Alger. Dans les années 1950, les travaux d'exploration se sont étendus au Sahara où plusieurs découvertes de pétrole et de gaz naturel ont été faites. Entre 1953 et 1956, les champs d'huile d'Edjeleh de Hassi-Massoud, les champs de gaz de Hassi-Massoud ainsi que les champs de gaz de Hassi-R'mel et d'In Amenas ont été découverts. L'Algérie comporte une surface sédimentaire de plus de 1,5 million de km<sup>2</sup>, dont l'exploitation est loin d'être terminée. La majorité des gisements d'huile et de gaz découverts à ce jour sont situés dans la partie sud de la plate-forme de SONATRACH [12].

La création de SONATRACH le 31 décembre 1963 répondait au besoin de mobiliser les ressources de la rente pétrolière, considérée dès le départ comme un moteur essentiel du développement de l'Algérie. Au fil des ans, elle est devenue un puissant vecteur d'intégration nationale et de stabilité économique et sociale.

Après la nationalisation des secteurs des hydrocarbures en 1971, cela a entraîné une restructuration et une réorganisation efficaces de la société, donnant naissance à 18 filiales telles que NAFTAL, ENEP, ENGTP, etc.

La figure 1.1, représente l'organigramme de l'entreprise Sonatrach.

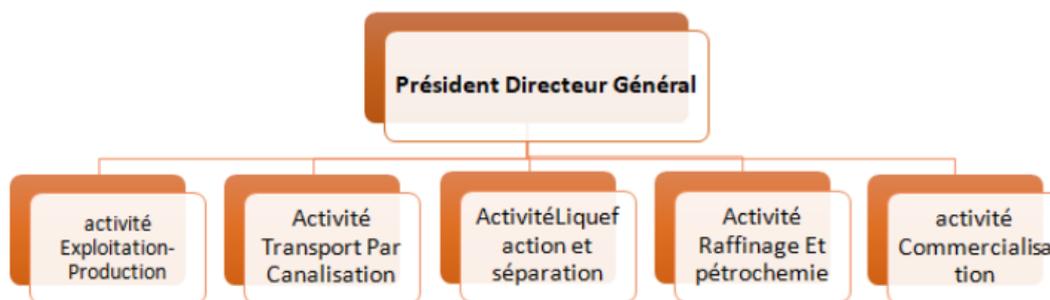


FIGURE 1.1 – Organigramme de l'entreprise Sonatrach

### 1.1.2 Activités de l'Entreprise

Les activités de base de SONATRACH couvrent l'ensemble de la chaîne des hydrocarbures, depuis la recherche et l'exploration jusqu'à la transformation des hydrocarbures et leur commercialisation auprès des consommateurs finaux. Ces activités peuvent être regroupées en cinq activités globales [8] :

1. **L'Activité Exploration-Production (EP)** : Elle s'articule autour de trois axes, à savoir :

- Le développement et l'exploitation des gisements pour maximiser la valorisation des ressources.
- La gestion des activités en partenariat tout au long des phases d'exploration, de développement et d'exploitation des gisements.
- La recherche, la négociation et le développement de nouveaux projets, tant sur le territoire national qu'à l'échelle internationale.

2. **Activité Liquéfaction et Séparation (LQS)** : Cette activité a évolué en tant que maillon crucial dans la chaîne de valeur de SONATRACH, devenant une activité à part entière. Sa mission principale comprend :

- La liquéfaction du gaz naturel.
- La séparation des GPL (Gaz de Pétrole Liquéfiés).
- L'optimisation de l'outil de production.

3. **Activité Raffinage et Pétrochimie (RP)** : Cette activité a pour mission principale d'exploiter et de gérer l'outil de production du raffinage et de la pétrochimie afin de répondre principalement à la demande du marché national en produits pétroliers.

4. **Activité Transport Par Canalisations (TRC)** : Cette activité couvre plusieurs domaines :

- L'exploitation des infrastructures de transport des hydrocarbures ainsi que des installations portuaires à quai et en haute mer.
- La maintenance des infrastructures de transport des hydrocarbures et des installations de chargement portuaires, qu'elles soient à quai ou en haute mer.
- Les études et le développement, à l'exception des études relevant de la direction corporate Business Development et Marketing (BDM), ainsi que la réalisation de projets relevant de la Direction Centrale Engineering et Project Management.

SONATRACH exploite un réseau de transport par canalisation des hydrocarbures (pétrole brut, condensat, gaz naturel et gaz pétrole liquéfié) composé de 22 Systèmes de Transport par Canalisation (STC) d'une longueur totale de 20 705 km. Un STC est constitué d'une ou plusieurs canalisation(s) transportant des hydrocarbures, y compris les installations intégrées, ainsi que les capacités de stockage liées à ces ouvrages, notamment les stations de compression, les stations de pompage, les postes de coupure, les postes de sectionnement, les lignes d'expédition, les postes de chargement à quai et en mer, ainsi que les systèmes de protection cathodique, de comptage, de régulation, de télécommunications et de télé-contrôle.

La gestion des STC s'opère à travers six (06) Directions Régionales et deux (02) Directions Opérationnelles.

- Région Transport Ouest-Arzew (RTO).
- Région Transport de Haoud-el-Hamra(RTH).
- Région Transport Est-Skikda (RTE).
- Région Transport d'Inaminas (RTI).



## **1.2 La Région Transport Centre Béjaia (RTC)**

La Région Transport Centre (RTC) fait partie des huit Régions de Transport par Canalisation (TRC) dédiées aux hydrocarbures. Sa mission essentielle est d'assurer le transport, le stockage et la distribution des hydrocarbures liquides et gazeux (pétrole brut et gaz naturel) depuis la région centre du pays via un réseau de pipelines [8]. Relevant de la division exploitation de l'activité transport par canalisation de SONATRACH, la Direction Régionale de Béjaïa vise à :

1. La gestion et l'exploitation des ouvrages de transport des hydrocarbures liquides (canalisations et stations de pompage).
2. La gestion et l'exploitation des ouvrages de transport des hydrocarbures gazeux (canalisation GG1 42" et stations de compression SC3) destinés à la consommation nationale de gaz.
3. La coordination et le contrôle de l'exécution des programmes de transport en fonction des impératifs de la production et de la commercialisation.
4. La maintenance, l'entretien et la protection des ouvrages et des canalisations, ainsi que l'exécution des révisions générales des machines tournantes et des équipements associés.
5. La conduite des études et la gestion du développement des ouvrages et des canalisations.

## **1.3 Patrimoine de la Région Transport Centre (RTC-Béjaia)**

### **1.3.1 Oléoduc 24"/22" OB1 " Haoudh El Hamra – Bejaia"**

L'oléoduc OB1 fut le premier pipeline réalisé en Algérie par la société pétrolière de gérance SOPEG. Mis en service en 1959, il s'étend sur une longueur de 668 km, reliant le centre de stockage Haoud El Hamra au terminal marin de Bejaïa [8]. Le diamètre du pipeline varie sur deux tronçons à savoir :

- Le premier tronçon, allant de Haoud El Hamra au col de Selatna, est équipé d'un pipeline de 24 pouces de diamètre.
- Le deuxième tronçon, s'étendant du col de Selatna au terminal marin de Bejaïa, est pourvu d'un pipeline de 22 pouces de diamètre. Par ailleurs, la ligne OB1 est équipée de huit stations de pompage, dont quatre principales, telles que SP1 bis à Djamâa, SP2 à Biskra, SP3 à Msilaet SP4 à BeniMansour et quatre stations intermédiaires ou satellites telles que SPA, SPB, SPC et SPD.

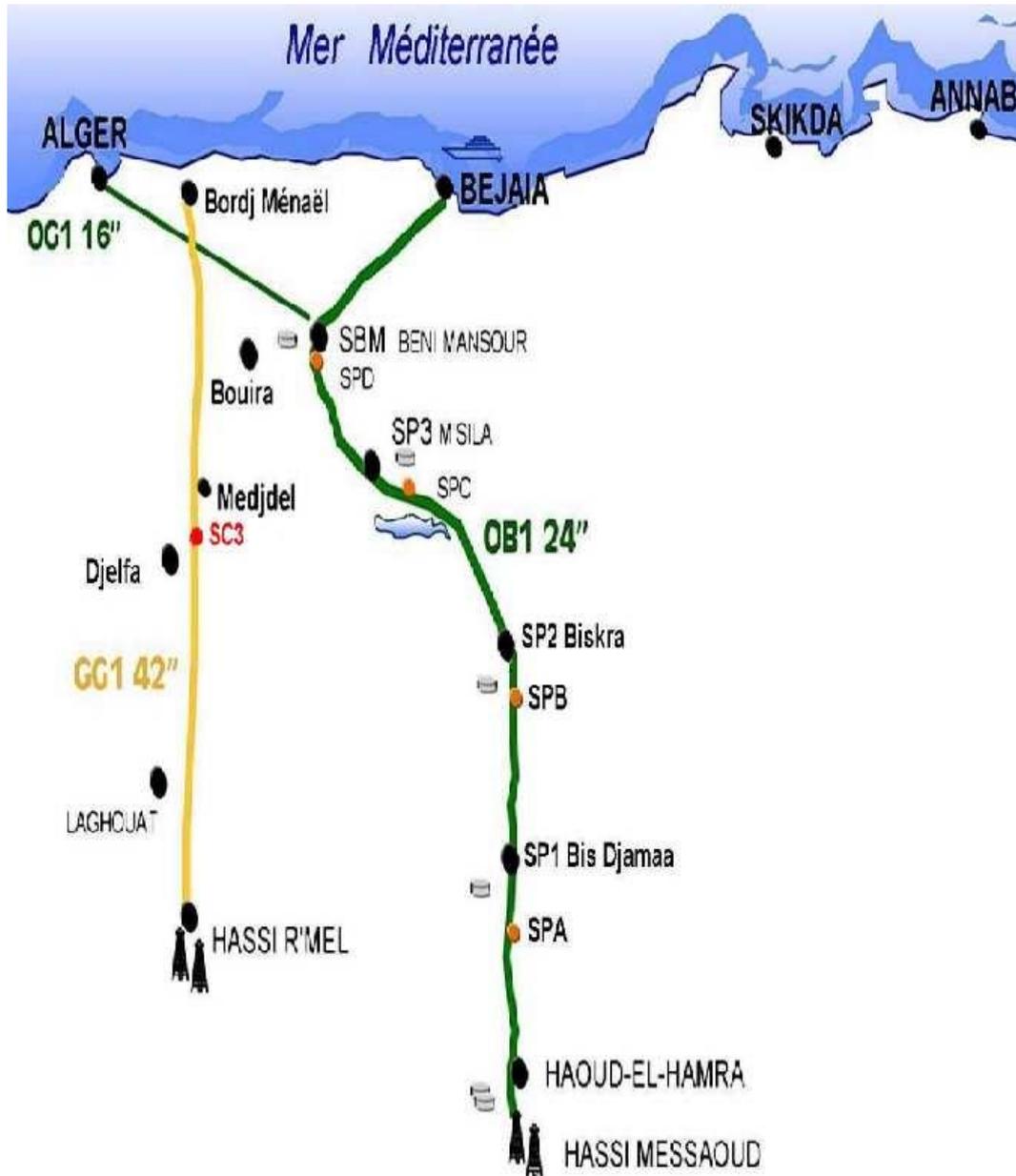


FIGURE 1.3 – Description des ouvrages de RTC

#### 1.4 Présentation du Terminal Marin de Béjaia (TMB)

Le terminal maritime de Bejaia est divisé en deux parties, le terminal nord et le terminal sud. De plus, il comprend un port pétrolier situé environ 8 kilomètres au nord de la ville, ainsi qu'une bouée positionnée à une distance de 7 kilomètres de la côte [8].

### 1.4.1 Le Terminal Nord (TMN)

1. **Parc de stockage** : Il contient :



FIGURE 1.4 – Parc de Stockage

- 12 bacs à toit flottant d'une capacité volumique de 35 000 m<sup>3</sup> chacun. Ces bacs sont disposés de manière à former un demi-cercle. Chaque bac est équipé d'une vanne et de deux agitateurs.
- Un jaugeur (transmetteur de niveau et de température), ainsi que des bouteilles de halon pour étouffer le feu en cas d'incendie.
- Un bac 4Y1 à toit fixe d'une capacité de 2900 m<sup>3</sup>, utilisé pour stocker le brut.

2. **Manifold** : C'est un ensemble de collecteurs, de canalisations et de vannes utilisées pour



FIGURE 1.5 – Manifold

recevoir les hydrocarbures en provenance du Sahara et pour le stockage. Il permet de :

- Envoyer le liquide arrivant par ligne vers un réservoir sélectionné.
- Vidanger un ou plusieurs bacs vers le poste de chargement.
- Transférer le brut d'un bac à un autre.

Il comprend des vannes réparties comme suit :

- 08 vannes de transfert de collecteurs (AM, AN, AO, AP, AR, AS, AT, BM, BN, BO, BP, BR, BS, BT).
- 06 vannes pour chaque ligne (LA, LB, LC, LD, LE, LF).
- 06 vannes pour chaque pompe de remplissage.

Chaque bac est doté d'une vanne motorisé appelée vanne pied de bac.

### 3. **Tour de Contrôle :**

Il s'agit d'une salle de contrôle où sont situées les tables de commande pour le terminal nord et sud. Ces tables permettent de commander l'ouverture des vannes et de sélectionner le bac, la pompe et le chemin de circulation du fluide. De plus, la tour a une hauteur importante, ce qui permet de visualiser l'état des vannes et des bacs depuis cette position élevée [8].

### 4. **La Gare de Racleur :**

Chaque station de pompage est équipée d'une gare racleur d'arrivée et d'une gare racleur de départ : La gare racleur d'arrivée est la destination finale du racleur. On y trouve également deux vannes L2, permettant le passage vers le sud à travers la vanne L4. La gare de racleur possède un système de sécurité comprenant trois soupapes de décharge, notées S1, S2 et S3, tarées respectivement à 14 kg/cm<sup>2</sup>, 27 kg/cm<sup>2</sup> et 83 kg/cm<sup>2</sup>.

## 1.4.2 **Le Terminal Sud (TMS)**

On trouve dans ce terminal les éléments suivants :

### 1. **Parc de Stockage :**

Il contient 4 bacs à toit flottant d'une capacité volumique de 50 000 m<sup>3</sup> chacun. Chaque bac est équipé d'une vanne, de deux agitateurs et d'un jaugeur (transmetteur de niveau et de température). De plus, des bouteilles de halon sont présentes pour étouffer le feu en cas d'incendie.

### 2. **Salle Electrique :**

Elle est divisée en trois chambres : haute tension, moyenne tension et basse tension. Voici ce qu'on y trouve [8] :

- (a) Dans la chambre de haute tension, les deux arrivées de Sonalgaz sont connectées à deux disjoncteurs principaux redondants. On trouve également un disjoncteur en amont et en aval de chaque transformateur de tension 30 kV/5.5 kV.
- (b) Dans la chambre de moyenne tension, il y a deux transformateurs 5.5 kV/380 V redondants, ainsi qu'un transformateur 380 kV/380 V pour extraire le neutre du secondaire.

On trouve aussi un disjoncteur en amont et en aval de chaque transformateur, ainsi que des petits disjoncteurs pour l'alimentation des moteurs et des pompes.

- (c) Dans la chambre de basse tension, on trouve des batteries rechargeables, des redresseurs de tension, des chargeurs de batterie et des armoires contenant les automates Allen Bradley et Siemens S7 300, S7 400. De plus, un ordinateur est présent pour la supervision des installations, directement connecté avec l'automate S7 400 par un câble Ethernet.

Dans ces chambres, des capteurs de fumée et des bouteilles de Halon sont installés pour assurer la sécurité de la salle électrique.

**3. Manifold :**

Il contient un ensemble de collecteurs comprenant des canalisations, des pompes, des moteurs et des électrovannes. La conduite d'étalonnage et le skid de comptage sont également présents. Ces pompes sont utilisées pour aspirer le pétrole et ensuite le refouler vers les postes de chargement situés au port.

**4. Pomperie de Chargement vers le Port Pétrolier :**

Le terminal Sud est équipé de 4 électropompes (GEP) de chargement, nommées W, X, Y et Z, avec des débits allant de 1800 m<sup>3</sup>/h jusqu'à 3500 m<sup>3</sup>/h.

Chaque pompe dispose d'un filtre à l'aspiration, tandis que le refoulement est équipé d'un clapet de non-retour. Cette configuration est également présente pour les pompes du dépôt nord [8].

## **1.5 Organisation structurelle et fonctionnelle de la RTC-Béjaia**

Les différents départements et directions de la RTC sont représentés sur l'organigramme ci-après 1.6 :

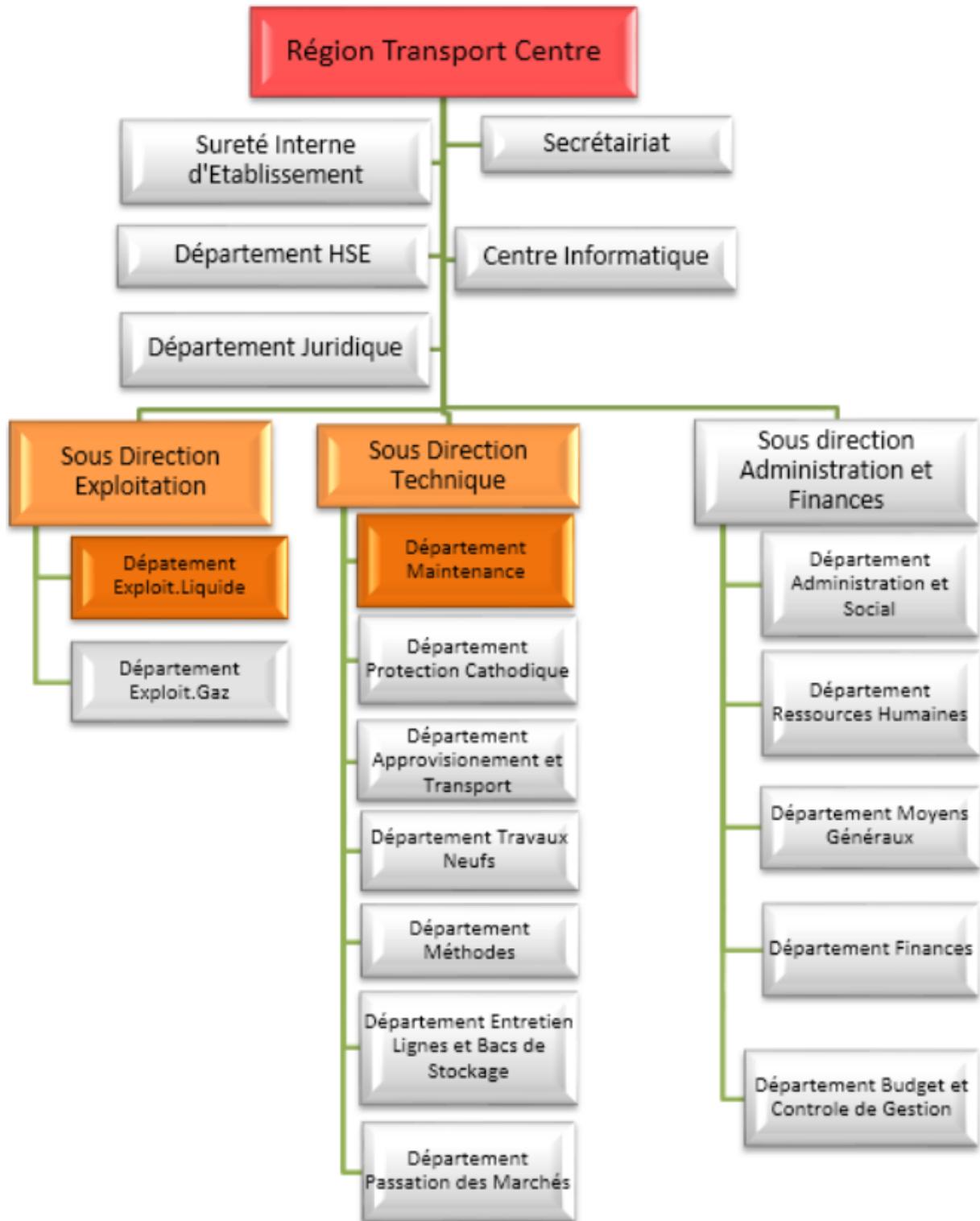


FIGURE 1.6 – Organigramme de la RTC-Bejaia.

### 1.5.1 Présentation des différentes structures de la RTC :

— **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 Sûreté Interne (ASI) :**

Il veille à la sécurité et à l'intégrité des installations ainsi qu'au bien-être des personnes de la région.

— **Département HSE :**

Il a pour mission la protection et la sauvegarde du patrimoine humain et matériel de la région. Il 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 :**

Le centre informatique assure le développement et l'exploitation d'applications informatiques pour la RTC et les autres régions de la division transport.

— **La Sous direction Exploitation :**

Chargée des exploitations des installations de la région. Elle est composée des deux départements qui sont :

— **Département exploitation liquide :** C'est le département qui gère l'oléoduc et donc les produits transportés.

— **Département exploitation gaz :** Il gère le gazoduc, ainsi qu'il transporte le gaz.

— **La Sous direction finances/juridique :**

Elle subdivisée en trois départements :

1. **Département Budget et contrôle de gestion :** Son rôle essentiel est de s'assurer que les budgets sont respectés. Par ailleurs, il est chargé d'élaborer le budget annuel de l'entreprise, de comparer les prévisions faites avec les résultats obtenus, de relever les écarts ainsi que d'analyser ces écarts et de chercher leurs causes.

2. **Département finances :** Son rôle est de prendre en charge la gestion comptable et financière de la RTC.

3. **Département juridique :** Ce département représente le conseil juridique de l'entreprise.

— **La sous direction administration :**

Elle est composée de trois départements :

1. **Département des ressources humains(RHU) :** Il s'occupe du personnel en termes de formation, recrutement, licenciement, suivi de carrière, gestion des performances, évaluation et développement qualitatif de la RTC.

2. **Département administratif et social (ASL)** : Il est chargé de la gestion administrative du personnel, incluant la paie, les assurances, les congés, etc. Il prend en charge les employés depuis leur recrutement jusqu'à leur cessation de travail, que ce soit pour la retraite ou en cas de décès. Il assure la gestion du personnel de la RTC.
3. **Département des moyens généraux (MOG)** : Représente le soutien logistique de l'entreprise. il est composé de 04 structures :
  - (a) Service intérieur.
  - (b) Service intendance.
  - (c) Service entretien.
  - (d) Bureau d'ordre.

— **La sous direction technique :**

Elle subdivisée en quatre départements :

1. **Département protection des ouvrages(PTO)** : Ce département est chargé de la protection des ouvrages et de leur réparation en cas d'incidents tels que des fuites ou des éclatements.
2. **Département des travaux neufs (TNF)** : Ce département est une structure de réflexion chargée de réaliser des projets de construction, notamment des bâtiments et des ouvrages concentrés, dans divers domaines.
3. **Département maintenance (MNT)** : Ce département a pour mission le maintien et le renouvellement des machines tournantes telles que les pompes, les moteurs et les turbines. À cet effet, il assure deux types de maintenance :
  - (a) Maintenance préventive.
  - (b) Maintenance curative.
4. **Département approvisionnement et transport (ATR)** : Ce département assure l'approvisionnement ou l'alimentation de la RTC en matériels nécessaires à son fonctionnement. En outre, il assure le transport du personnel de la même entreprise.

#### 1.5.1.1 Département Maintenance (MTN) :

Ayant effectué mon stage au sein du département de maintenance, plus précisément dans le service instrumentation, ainsi que dans le département Approvisionnement et Transport (ATR), j'ai pu observer de près les opérations de maintenance et la gestion des équipements. Le département de maintenance est chargé de l'entretien de la ligne et s'occupe de toutes les opérations de maintenance. Sa structure est représentée dans l'organigramme 1.7.

1. **Service mécanique** : Ce service s'occupe essentiellement de la maintenance des parties mécaniques des équipements principaux des stations. Ses fonctions principales sont :
  - Achat direct de pièces de rechange.

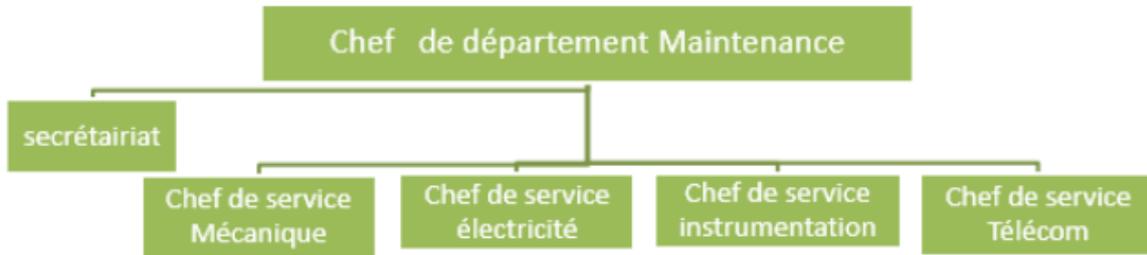


FIGURE 1.7 – Structure du département maintenance.

- Supervision de l'exécution du plan prévisionnel préventif.
- Achat d'équipements mécaniques.
- Assurer le bon fonctionnement des machines tournantes.

2. **Service instrumentation** : Il assure la sécurité des instruments (appareils de mesure) installés sur toute la ligne. Ce service est composé de deux sections sont :

- **Section intervention** : elle est chargée des révisions générales (RG) des instruments.
- **Section atelier** : elle est chargée de la réparation de tous les instruments des différentes stations.

3. **Service télécommunication** : Il s'occupe de 3 types d'équipements :

- Réseau télégraphique.
- Radios fixes et mobiles.
- Réseau téléphonique de 400 lignes extensible à 1000 lignes.

4. **Service électricité** : Ce service s'occupe de trois types d'équipements :

- Equipements électromécaniques.
- Equipements industriels.
- Equipements conditionnements.

#### 1.5.1.2 Département approvisionnement et transport (ATR) :

Le Département Approvisionnement et Transport (ATR) a pour mission principale de répondre aux besoins des différentes structures, en particulier celles de base comme l'exploitation et la maintenance, en fournissant des équipements, matériels, pièces de rechange, et autres produits nécessaires, dans les meilleures conditions possibles en termes de qualité, prix, et service.

##### **Service d'Achat**

Le Service d'Achat, grâce à une connaissance approfondie et à une analyse des marchés fournisseurs nationaux et internationaux, s'efforce de fournir aux utilisateurs divers biens d'investissement, équipements, pièces de rechange, matériels et autres produits d'entretien en temps opportun et au meilleur rapport qualité/prix. Ceci est essentiel pour garantir le bon fonctionnement des installations et, par conséquent, permettre la réalisation des programmes de transport des hydrocarbures, qui est l'objectif ultime de la branche ATR.

Ce service est structuré en trois sections :

- Section Achats Locaux : Gère les achats sur le marché national.
- Section Achats Étrangers : S'occupe des achats de matériels et d'équipements en provenance de l'étranger.
- Section Achats Transit : Prend en charge le dédouanement du matériel commandé par la Section Achats Étrangers et son acheminement vers la Section Réception DRGB.

### **Service Gestion Technique**

Le Service Gestion Technique sert de lien entre le service achat et les autres structures utilisatrices en ce qui concerne la codification des articles lors de la formulation des demandes d'achat. Il gère également le patrimoine mobilier et immobilier, incluant l'inventaire, l'affectation, l'amortissement, et la réforme, depuis la réception des biens jusqu'à leur retrait. Ce service se divise en trois sections :

- Section Codification : Gère la codification des articles.
- Section Équipement Amortissable : S'occupe de la gestion des équipements amortissables.
- Section Réception / Expédition : Gère la réception et l'expédition des biens.

### **Service Gestion de Stock**

Le Service Gestion de Stock veille à l'alimentation des magasins de stockage en pièces de rechange et matériels, garantissant leur disponibilité permanente, surtout pour les pièces stratégiques. Il se compose de trois sections :

- Section Gestion de Stock : Gère l'inventaire des stocks.
- Section Ordonnancement : Planifie et organise la gestion des stocks.
- Section Magasin : Supervise les magasins de stockage.

### **Service Transport**

Le Service Transport joue un rôle crucial en coordonnant les moyens de transport avec les utilisateurs et en contrôlant l'activité d'exploitation. Il assure le transport du personnel et des missionnaires de la RTC afin qu'ils puissent effectuer leurs tâches convenablement. En outre, ce service gère le transport des marchandises vers le magasin central de la RTC ou vers les différentes stations. Il se compose de trois sections :

- Section Exploitation Transport : Supervise l'exploitation des moyens de transport.
- Section Gestion Transport : Gère les opérations de transport.
- Section Station Service : S'occupe des services aux stations de transport.

### **Service Entretien et Réception**

Le Service Entretien et Réception assure l'entretien et la réception du parc roulant. Ce service est divisé en deux sections :

- Section Planification : Responsable de la planification des opérations d'entretien.
- Section Atelier Mécanique Autos : Gère l'entretien mécanique des véhicules.

Puisque notre thème porte sur la gestion des stocks, nous allons nous concentrer sur la présentation de ce service, ainsi que la répartition des tâches entre ses sections.

Pour avoir une bonne gestion des stocks, l'entreprise doit utiliser un dispositif administratif qui effectuera toutes les opérations nécessaires, telles que la valorisation et l'inventaire. Ce dispositif est le Service de Gestion des Stocks, qui dispose de différentes sections, chacune ayant des tâches spécifiques conformément à l'organigramme de la figure 1.8.

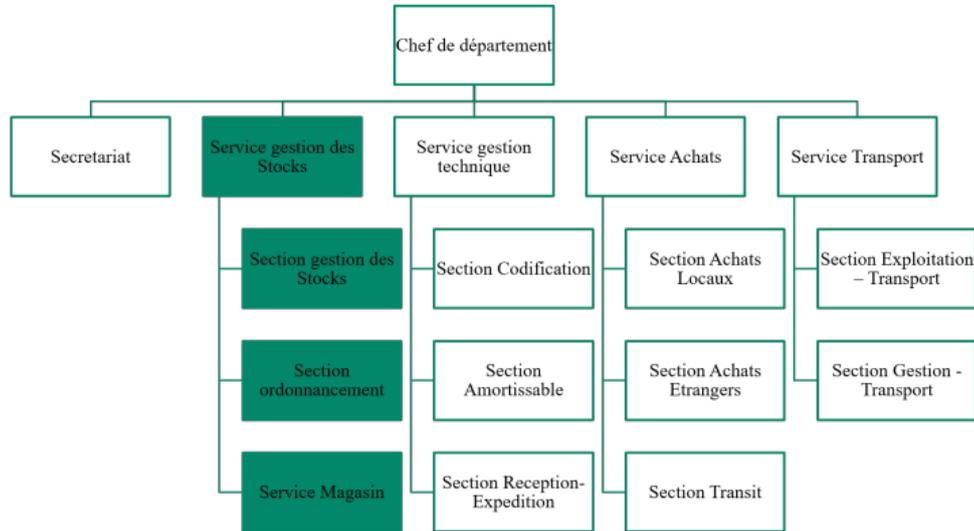


FIGURE 1.8 – Organigramme de l'ATR [46].

### 1.5.1.3 Présentation du service gestion des stocks

La RTC accorde une importance considérable à ses stocks, ce qui se reflète dans la création du Service Gestion des Stocks. Ce service a pour objectif stratégique de gérer de manière optimale les stocks de la région, afin de réduire les coûts de stockage et d'éviter les ruptures de stock. Pour atteindre cet objectif, l'entreprise doit disposer d'un dispositif qualifié capable de réaliser les opérations de valorisation, de comptabilisation et d'inventaire.

#### Section Gestion des Stocks

La Section Gestion des Stocks définit les matières et les matériaux à stocker ainsi que leurs quantités respectives. Sa politique doit répondre aux besoins suivants :

- Consommation pour l'entretien programmé des engins et matériels de la direction.
- Consommation pour les réparations en cas de panne.
- Maintien du stock de sécurité.

Les tâches de cette section incluent l'enregistrement de tous les flux de stock dans les magasins, en utilisant les documents suivants :

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

### **Section Ordonnancement**

La Section Ordonnancement est considérée comme le centre de liaison entre les finances et les achats. Elle vérifie et valorise les factures ainsi que les bons de réception fournisseur afin d'ordonner aux finances le paiement de ces derniers. Les documents de base utilisés par cette section incluent :

- 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**

La Section Magasin a pour rôle de stocker les matériaux, d'assurer leur conservation et de les mettre à disposition des utilisateurs. Les articles sont stockés et classés par familles en tenant compte du volume, du poids et de la fréquence des mouvements. Chaque pièce est étiquetée pour identification et 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 mise en stock et de distribution du matériel. Ils effectuent des inventaires permanents lors 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 suivants : BS, BTS, BTE, BR et BRC.

### **Mission et Objectifs du Service Gestion des Stocks**

Le Service Gestion des Stocks a pour mission principale de gérer les stocks de manière optimale. Il assure le réapprovisionnement du magasin en pièces de rechange et autres produits, en les comptabilisant dans un fichier central qui fournit à tout moment l'état de l'inventaire permanent. Ce service contrôle les stocks et veille à la disponibilité des articles de manière économique. Il recense également les articles à ne plus commander en fonction du planning d'exploitation.

Le service participe à l'élaboration et à la mise à jour de la nomenclature, ainsi qu'au regroupement des opérations d'inventaire. En tant que centre d'information, il détient des renseignements précieux pour l'ensemble de l'organisation. Il se présente également comme un auxiliaire des services de la division entretien.

Les objectifs spécifiques du Service Gestion des Stocks sont les suivants :

- Maintenir des stocks suffisants pour assurer l'entretien et le bon fonctionnement des installations industrielles.
- Éviter le surstockage pour prévenir l'accumulation de stocks excédentaires.
- Prévenir les ruptures de stock afin de garantir une disponibilité continue des articles nécessaires.
- Déterminer les paramètres de réapprovisionnement pour autoriser le déclenchement du processus de réapprovisionnement au moment opportun.

## 1.6 Position du problème

Chaque entreprise doit s'adapter rapidement aux changements et résoudre efficacement les problèmes pour maintenir ses opérations. Pour SONATRACH, leader dans le secteur des hydrocarbures, la gestion des stocks d'articles d'instrumentation est cruciale pour assurer la continuité du transport des produits pétroliers, évitant ainsi toute interruption.

En effet, la gestion des stocks de ces articles est compliquée par rapport à plusieurs facteurs. Les délais de livraison variables compliquent l'organisation des réapprovisionnements. Le manque d'informations précises sur les niveaux de demande et les variations dans l'utilisation des articles peut créer des situations de surstock ou de rupture de stock, perturbant ainsi la gestion des réapprovisionnements.

La spécificité de nombreux articles d'instrumentation, souvent fabriqués sur mesure pour des applications précises, limite leur disponibilité sur le marché et prolonge les délais de réapprovisionnement. Une planification minutieuse est nécessaire pour éviter les ruptures de stock. De plus, la détermination des quantités optimales à commander est cruciale. Une mauvaise estimation peut soit entraîner un surstock, soit risquer des interruptions opérationnelles en cas de sous-approvisionnement.

Un autre aspect critique est la gestion du stock de sécurité. Le stock de sécurité est essentiel pour prévenir les ruptures de stock dues à des incertitudes dans la demande et la chaîne d'approvisionnement. Cependant, au sein de l'entreprise, les gestionnaires rencontrent des difficultés à déterminer avec précision le niveau de stock de sécurité approprié pour chaque article, en tenant compte des différentes méthodes d'achat et des délais associés. Il est crucial de choisir la méthode d'achat la plus appropriée pour chaque situation, que ce soit via des bons de commande, des consultations fournisseurs ou des appels d'offres. Chacune de ces méthodes a des délais et des spécificités différentes, rendant le choix de la méthode adéquate essentiel pour maintenir une gestion fluide des stocks.

Les défis spécifiques auxquels SONATRACH est confrontée comprennent :

- **Variabilité des délais de livraison** : Les fluctuations dans les délais de livraison rendent difficile la planification des réapprovisionnements.
- **Manque de données précises** : L'absence de données fiables sur la demande réelle à un moment donné complique la prévision des besoins.
- **Spécificité des articles** : La nature sur mesure de nombreux articles d'instrumentation allonge les délais de réapprovisionnement et rend leur gestion plus complexe.
- **Détermination des quantités optimales et du stock de sécurité** : Une estimation incorrecte des quantités à commander et du stock de sécurité peut entraîner soit un surstock, soit des pénuries critiques.

La gestion des stocks d'articles d'instrumentation spécifiques pose donc un défi majeur pour SONATRACH. Bien que des études antérieures aient abordé la gestion des stocks et proposé des

modèles [3, 25] pour minimiser les pénuries, la question de la gestion des stocks reste un souci constant. Les approches traditionnelles, bien qu'efficaces, ne suffisent pas toujours à résoudre les nouveaux défis qui se présentent, d'où l'intérêt croissant pour des solutions innovantes comme l'intelligence artificielle (IA). L'IA offre des perspectives prometteuses pour améliorer la précision et l'adaptabilité de la gestion des stocks.

Ces problèmes soulèvent plusieurs questions :

1. Comment l'entreprise peut-elle assurer la disponibilité continue de ces articles tout en minimisant les risques de pénurie et de surstockage ?
2. Comment peut-elle déterminer et gérer efficacement le stock de sécurité nécessaire pour répondre aux variations de la demande et aux différents délais de réapprovisionnement ?
3. Comment peut-elle anticiper avec précision la demande future pour ces articles spécifiques et établir des relations solides avec les fournisseurs capables de les fournir ?

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes structures de l'entreprise SONATRACH, et plus précisément, la Région Transport Centre de Béjaïa ainsi que la problématique posée. Dans le chapitre suivant, nous détaillerons les éléments essentiels de la gestion des stocks.

## Chapitre 2

# Introduction à la Gestion des Stocks : Concepts et Modèles

### Introduction

Dans ce chapitre, nous explorons les principes fondamentaux de la gestion des stocks, essentiels pour comprendre l'analyse et la modélisation des stocks que nous approfondirons dans le chapitre suivant. La gestion des stocks est cruciale pour assurer la continuité des opérations et répondre efficacement à la demande. Ce chapitre couvre les définitions de base, les fonctions, les types de stocks, les niveaux de stocks, les modèles de gestion et les stratégies de réapprovisionnement. Nous mettrons en lumière l'application de ces concepts dans notre étude de cas à la DRGB Sonatrach.

### 2.1 Stocks : définitions et Classification

#### 2.1.1 Définition générale des stocks

Les stocks représentent les biens ou les ressources que les entreprises conservent pour répondre à des besoins futurs. Ils jouent un rôle vital en tant que tampon entre les flux d'approvisionnement (flux d'entrée) et la demande des clients (flux de sortie), comme illustré à la Figure 2.1

Les quatre éléments fondamentaux des stocks sont :

- **Le produit** : Bien stocké en vue d'une utilisation ou d'une vente future.
- **Le fournisseur** : Entité qui fournit les produits à l'entreprise.
- **Le stock** : Ensemble des biens conservés dans un lieu déterminé.
- **L'utilisateur** : Consommateur final des produits stockés.

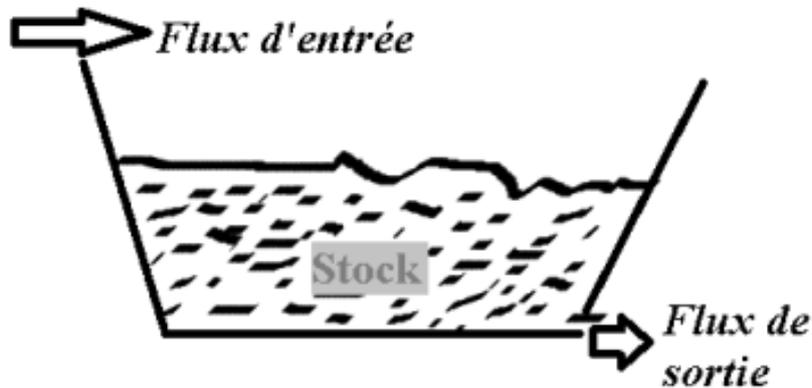


FIGURE 2.1 – Assimilation du stock à un réservoir de régulation.

### 2.1.2 Fonctions des stocks

Il existe différentes raisons qui motivent les différents organismes, qu'il s'agisse d'individus ou d'entreprises, à constituer des stocks. Parmi ces raisons, nous pouvons citer [40] :

#### 1. Raisons d'ordre financière :

- **Réduction des Coûts de Commande** : La première raison réside dans l'existence d'un coût fixe de commande, appelé coût de lancement de commande, qui est engagé à chaque passation de commande et demeure indépendant de la quantité commandée. Ainsi, il est avantageux de réduire le nombre de commandes en achetant des quantités plus importantes (constitution des stocks), ce qui permet de minimiser le coût total de stockage.
- **Achat Opportuniste** : La deuxième raison est liée aux fluctuations des prix des produits, souvent influencées par les variations de l'offre et de la demande. Lorsque les prix sont bas, il est opportun d'acquérir des quantités excédentaires par rapport à nos besoins (constitution des stocks) pour éviter d'acheter ultérieurement à des prix plus élevés.
- **Bénéfice des Remises sur Quantité** : La troisième raison consiste à pouvoir bénéficier d'escomptes sur quantité, également appelés remises, en achetant des quantités plus importantes.

#### 2. Raison de sécurité :

- **Protection contre les Fluctuations de la Demande** : Prévenir les ruptures de stock dues à des pics de demande ou à des retards de livraison [13].

#### 3. Raison technique :

- **Stockage Nécessaire pour certains Processus** : Le stockage est parfois indispensable dans divers procédés, tels que le séchage du bois, l'affinage des fromages ou le vieillissement des vins.

### 2.1.2.1 La fonction stock dans l'entreprise

La fonction stock se compose de deux sous-fonctions :

- La gestion des stocks, cette dernière a pour rôle de :
  - Définir l'optimum d'articles différents à posséder dans l'entreprise en effectuant le plus souvent possible une épuration du stock, ce qui implique l'élimination des stocks morts ou inutiles.
  - Déterminer la politique de réapprovisionnement la mieux adaptée pour chaque article.
  - Établir la politique de distribution (ou de consommation) la mieux adaptée pour chaque article
- Le suivi des stocks, Ce dernier a pour objectif de maintenir une connaissance en temps réel des articles disponibles au sein de l'entreprise. Pour ce faire, elle doit garantir à la fois une comptabilité physique et financière des articles.

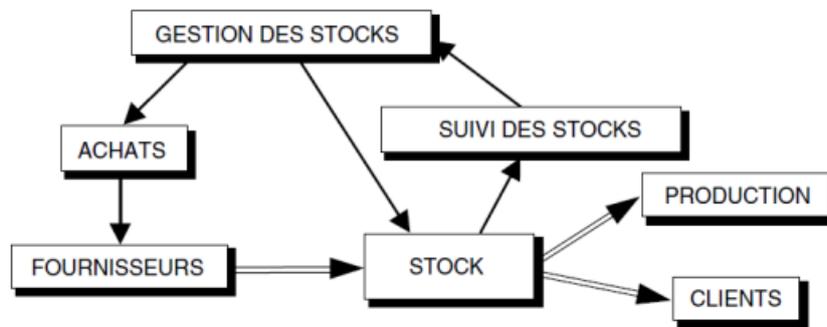


FIGURE 2.2 – Environnement de la fonction stock [29].

### 2.1.3 Natures de stock

Les stocks peuvent se présenter sous plusieurs formes, chacune ayant un rôle spécifique dans le processus de production et de distribution [17] :

- **Marchandises** : Produits destinés à être revendus sans transformation.
- **Matières Premières** : Articles utilisés dans le processus de fabrication.
- **Produits Semi-Finis** : Articles en cours de fabrication, pas encore prêts à être vendus.
- **Stock d'Emballages Vides** : Palettes, caisses et autres articles utilisés pour l'emballage des produits.
- **Produits Finis** : Articles prêts à être vendus ou utilisés.
- **Stocks de Rebuts et de Déchets** : Produits non conformes ou inutilisables.
- **Stock de Pièces de Rechange** : Pièces conservées pour remplacer celles des équipements en cas de panne.

### 2.1.4 Niveaux des stocks

Pour optimiser la gestion des stocks, il est crucial de comprendre les différents niveaux de stock :

1. **Stock de sécurité** : Connue aussi sous le nom de stock de protection, il vise à atténuer les risques associés à la nature aléatoire des approvisionnements et des demandes [2]. Une entreprise peut se retrouver en rupture de stock dans plusieurs situations :
  - En cas de retard de livraison de la part du fournisseur, ce qui peut être illustré par une situation de retard de livraison (Figure 2.3).

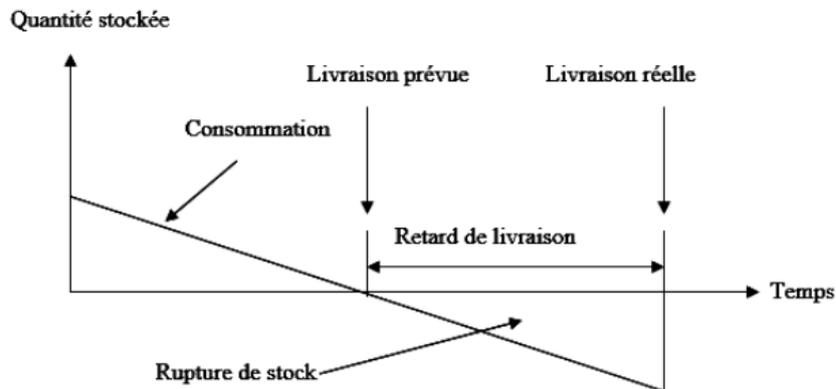


FIGURE 2.3 – Retard de livraison.

- Lorsqu'une livraison non conforme ou défectueuse est reçue, nécessitant un retour et l'attente d'une nouvelle livraison.
- Si les consommations augmentent de manière inattendue ou si les prévisions sont inexactes, entraînant une accélération de la consommation et donc une rupture de stock. Cette situation peut être illustrée par une situation de consommation accélérée (Figure 2.4).

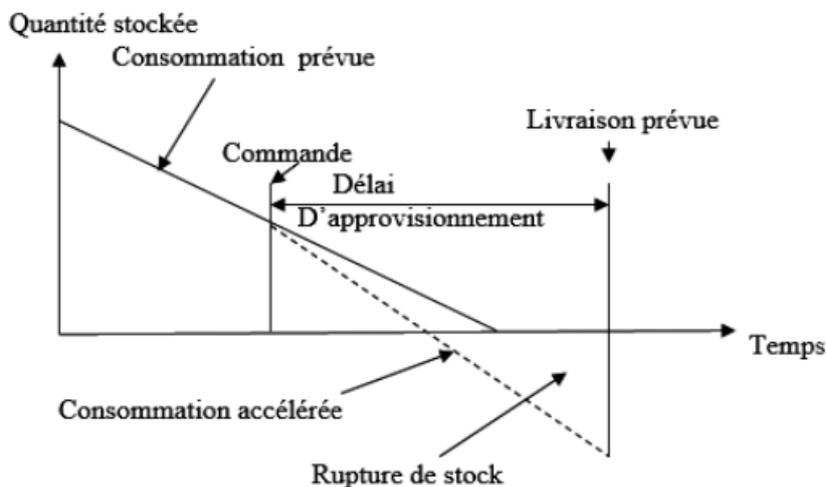


FIGURE 2.4 – Consommation Accélérée.

Pour prévenir le risque de rupture de stock dans ces situations, il est essentiel de disposer d'un stock de sécurité, permettant de répondre aux besoins de consommation accélérée (Figure 2.5). Le stock de sécurité est déterminé par la différence entre le stock d'alerte et le stock minimum.

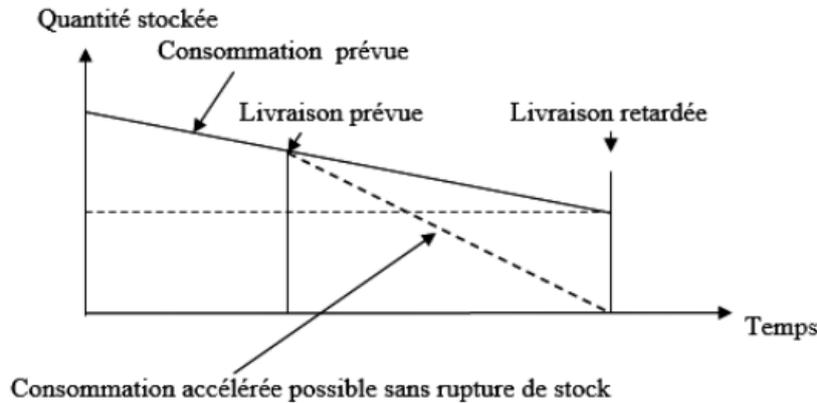


FIGURE 2.5 – Stock de sécurité.

2. **Stock d'alerte** : Le stock d'alerte, également connu sous le nom de stock critique ou stock d'alarme, représente la quantité de stock à laquelle une commande est déclenchée [32]. Il est calculé en ajoutant le stock de sécurité au stock minimum.
3. **Stock maximum** : Niveau à ne pas dépasser pour éviter le sur-stockage, limiter les coûts de stockage, et prévenir les risques de détérioration [2] (Figure 2.6). Il est calculé en ajoutant le stock de sécurité à la quantité commandée dans la série d'approvisionnement
4. **Stock minimum** : Niveau de stock minimal nécessaire pour couvrir la consommation pendant le délai de réapprovisionnement [2]. Il est calculé en soustrayant le stock de sécurité du stock d'alerte (Figure 2.7).
5. **Autres niveaux de stock** :
  - **Stock moyen** : Niveau moyen nécessaire pour les besoins habituels.
  - **Stock cyclique** : Différence entre le stock théorique et le stock de sécurité.
  - **Stock théorique** : Stock enregistré dans les documents de gestion.
  - **Stock réel** : Stock physique dans l'entrepôt.
  - **Stock disponible** : Stock réellement disponible après déduction des quantités réservées.
  - **Stock virtuel** : Quantité prévue incluant les commandes à recevoir.
  - **Stock mort** : Stock inutilisé ou obsolète.
  - **Stock tampon** : Quantité pour des contrôles qualitatifs avant commercialisation.
  - **Stock actif** : Quantité variable dans le stock, représentant l'écart entre le stock initial et final.

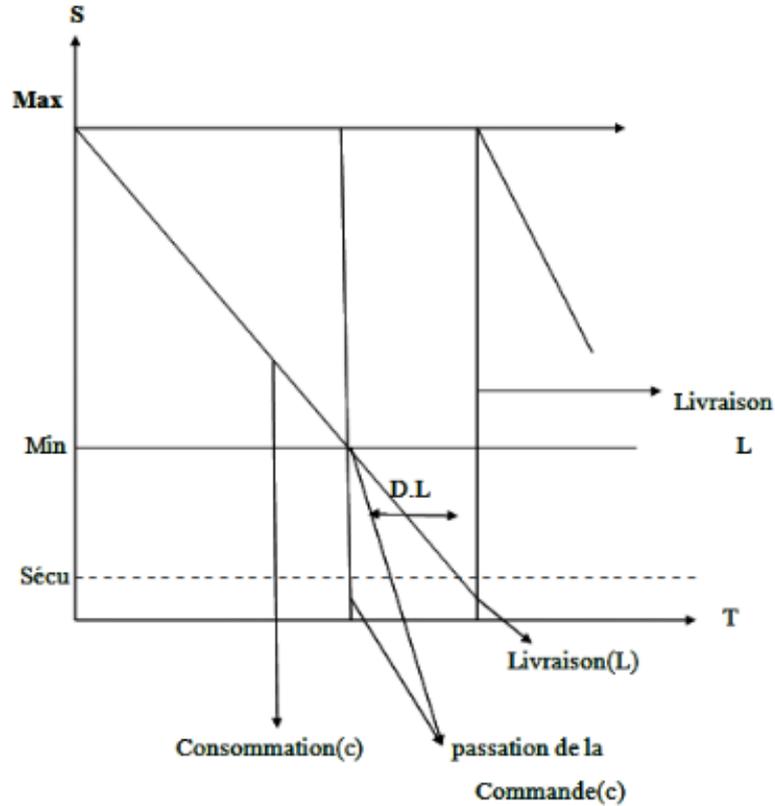


FIGURE 2.6 – Représentation graphique du stock maximum.

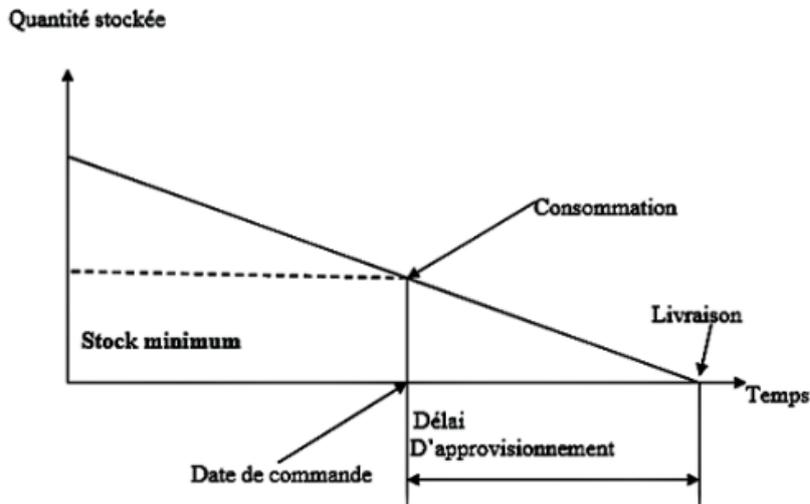


FIGURE 2.7 – Représentation graphique du stock minimum.

### 2.1.5 Rôle des Stocks

Les stocks occupent une place fondamentale dans la gestion opérationnelle des entreprises modernes, contribuant de manière significative à leur performance organisationnelle. Voici les principales fonctions remplies par les stocks :

1. **Satisfaction de la demande anticipée** : Les stocks permettent de répondre immédiatement aux commandes des clients, assurant ainsi une satisfaction client optimale. Avoir un stock de produits prêts à être expédiés est crucial pour répondre efficacement aux demandes et minimiser les délais de livraison.
2. **Prévention des risques de pénurie** : Les stocks servent de tampon contre les interruptions potentielles dans la chaîne d'approvisionnement. Ils aident à atténuer les impacts des retards de livraison, des conditions météorologiques défavorables, des ruptures de stock chez les fournisseurs ou des problèmes de qualité. Les stocks de sécurité sont spécifiquement maintenus pour gérer ces imprévus et garantir la continuité des opérations.
3. **Réduction du nombre de commandes** : En stockant des quantités importantes, les entreprises peuvent réduire la fréquence de leurs commandes aux fournisseurs. Cette approche peut être économiquement avantageuse, même si elle implique des coûts de stockage plus élevés. Elle permet de rationaliser les processus de commande et de minimiser les interruptions.
4. **Protection contre les fluctuations des prix** : Les entreprises peuvent se prémunir contre les augmentations de prix des matières premières en constituant des stocks lorsque les prix sont bas. Cette stratégie permet de stabiliser les coûts de production et de maintenir la compétitivité, même en période de volatilité des prix.
5. **Avantage des remises sur les achats en gros** : Disposer de capacités de stockage adéquates permet aux entreprises de bénéficier de remises sur les achats en gros. Cela réduit les coûts unitaires et renforce la position concurrentielle de l'entreprise sur le marché.

### 2.1.6 Objectifs, avantages et inconvénients des stocks

Les stocks présentent des avantages significatifs pour les entreprises, mais ils s'accompagnent également de certains inconvénients. De plus, la gestion des stocks doit répondre à des objectifs spécifiques pour être efficace.

#### 2.1.6.1 Objectifs des stocks

Les objectifs principaux de la gestion des stocks sont les suivants :

- **Prévenir les ruptures de stock** : Assurer une disponibilité continue des produits pour éviter les interruptions de service.
- **Maintenir la continuité de la Chaîne de production** : Garantir que les matériaux et produits nécessaires sont toujours disponibles pour soutenir la production continue.
- **Profiter des périodes de baisse des prix** : Stocker des produits stratégiquement lorsque les prix sont bas pour minimiser les coûts futurs.
- **Répondre aux pénuries sur le marché** : Avoir des stocks suffisants pour compenser les pénuries de produits disponibles sur le marché.

- **Répondre aux augmentations soudaines de la demande** : Disposer de stocks pour gérer les pics de demande imprévus sans perturber les opérations.
- **Gérer les retards de livraison** : Maintenir des stocks pour couvrir les retards dans l'approvisionnement et éviter les interruptions de service.

#### 2.1.6.2 Avantages des stocks

Les stocks présentent plusieurs avantages stratégiques pour les entreprises :

- **Atténuation des retards de transport** : Les stocks permettent de continuer à répondre aux besoins des clients malgré les retards dans le transport.
- **Prévention des risques de pénurie** : Maintenir des niveaux adéquats de stock aide à prévenir les pénuries et à assurer la disponibilité des produits.
- **Satisfaction des demandes imprévues** : Les stocks facilitent une réponse rapide aux fluctuations imprévues de la demande.
- **Bénéfice des remises pour les produits coûteux** : Les entreprises peuvent bénéficier de remises importantes en stockant des produits coûteux.
- **Réalisation d'économies par les achats en Gros** : Acheter en grandes quantités permet de réduire le coût par unité grâce aux économies d'échelle.
- **Profiter des périodes favorables pour les achats** : Stocker des produits lorsqu'ils sont à bas prix permet de réduire les coûts d'approvisionnement futurs.
- **Régulation de la production pour la continuité** : Les stocks assurent une production continue même en cas de perturbations dans la chaîne d'approvisionnement.

#### 2.1.6.3 Inconvénients des stocks

Malgré leurs nombreux avantages, les stocks présentent également des inconvénients :

- **Risque de détérioration pour les produits périssables** : Les produits peuvent se détériorer avec le temps, en particulier les produits périssables, entraînant des pertes financières.
- **Immobilisation de la trésorerie** : Les stocks représentent des capitaux immobilisés qui ne génèrent pas de rendement.
- **Coûts élevés associés aux stocks** : Les coûts de stockage, de gestion et d'assurance des stocks peuvent être élevés.
- **Besoin de moyens importants pour le stockage** : L'entreposage des stocks nécessite des infrastructures et des ressources significatives.
- **Risque d'Obsolescence** : Les produits stockés peuvent devenir obsolètes en raison des changements de mode ou des avancées technologiques.
- **Risques Potentiels tels que les incendies ou les vols** : Les stocks sont exposés à des risques tels que les incendies, les vols et autres catastrophes pouvant entraîner des pertes.

### 2.1.7 Classification des stocks

La classification des stocks est essentielle pour optimiser la gestion des ressources et réduire les coûts tout en assurant une disponibilité adéquate des articles. L'une des méthodes les plus couramment utilisées pour cette classification est l'analyse ABC-XYZ. Cette méthode combine deux approches complémentaires : l'analyse ABC, qui se concentre sur la valeur des articles, et l'analyse XYZ, qui se concentre sur la variabilité de leur demande.

#### 2.1.7.1 Analyse ABC

L'analyse ABC classe les articles en fonction de leur valeur de consommation annuelle, qui est calculée en multipliant la consommation annuelle d'un article par son coût unitaire. Cette méthode permet de hiérarchiser les articles stockés selon leur importance économique pour l'entreprise.

1. **Catégorie A** : cette catégorie comprend généralement des articles très coûteux, rares, avec des délais de livraison longs. Ils représentent environ 10% du nombre total d'articles stockés et contribuent à hauteur de 75% de la valeur totale.
2. **Catégorie B** : Cette catégorie est principalement composée d'articles moyennement coûteux, disponibles sur le marché. Elle représente environ 40% des articles stockés, mais contribue également à hauteur de 75% de la valeur totale.
3. **Catégorie C** : Cette catégorie regroupe des articles peu coûteux et facilement disponibles sur le marché. Elle représente environ 50% du nombre total d'articles stockés, mais contribue seulement à environ 20% de la valeur totale.

L'analyse ABC recommande des méthodes de contrôle plus strictes pour les articles de catégorie A, des méthodes modérées pour ceux de catégorie B, et des stratégies plus simples pour ceux de catégorie C [13]. La courbe présentée dans la figure 2.8 permet de visualiser comment les articles sont distribués parmi les trois catégories et d'identifier les articles les plus critiques pour la gestion des stocks [1].

Étapes de la Classification ABC Pour appliquer efficacement l'analyse ABC, les étapes suivantes doivent être suivies :

1. **Classer les articles** : Ordonner les articles en fonction du critère choisi, en commençant par ceux qui ont la plus grande valeur.
2. **Calculer les pourcentages cumulés** : Calculer les pourcentages cumulés du critère utilisé pour chaque article.
3. **Déterminer les fréquences cumulées** : Exprimer les fréquences cumulées en pourcentage du nombre total d'articles.
4. **Définir les classes A, B et C** : Identifier les trois classes (A, B et C) selon les pourcentages cumulés obtenus.

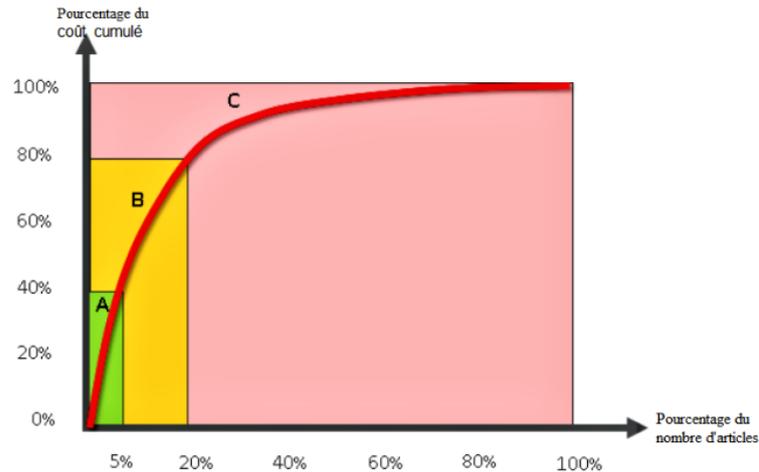


FIGURE 2.8 – Courbe de classification des articles par la méthode ABC.

Avantages de l'Analyse ABC :

- La méthode ABC permet une affectation plus précise des coûts aux produits sans recourir à une répartition arbitraire des coûts indirects (comme les heures machines).
- Facilite l'identification des articles qui nécessitent une attention particulière, réduisant ainsi le risque de rupture de stock pour les articles critiques.
- Aide à optimiser les niveaux de stock et à réduire les coûts de stockage.

Inconvénients de l'Analyse ABC :

- Ne prend pas en compte la volatilité de la demande, ce qui peut être problématique pour les articles à forte variabilité.
- Peut nécessiter des ajustements fréquents pour maintenir une classification pertinente en raison des changements dans la valeur de consommation des articles.
- Peut surclasser des articles moins critiques en fonction de leur valeur de consommation plutôt que de leur importance stratégique.

Pour surmonter ces inconvénients, l'analyse ABC peut être complétée par l'analyse XYZ, qui évalue la variabilité de la demande des articles.

### 2.1.7.2 Analyse ABC-XYZ

L'analyse XYZ ajoute une dimension supplémentaire à l'analyse ABC en classant les articles selon leur prévisibilité ou leur variabilité de demande. Cette classification est essentielle pour ajuster les stratégies de gestion des stocks en fonction de la stabilité de la demande des articles.

Objectifs : L'analyse XYZ est particulièrement utile pour les prévisionnistes et les gestionnaires de stocks. Elle permet de :

- Établir des règles de réapprovisionnement et de gestion des stocks adaptées à la variabilité de la demande.
- Optimiser le processus de planification de la chaîne d'approvisionnement en tenant compte de la prévisibilité des articles.

- Réduire les coûts de stockage tout en maintenant un niveau de service client élevé.

Pour mieux comprendre comment la classification XYZ complète l'analyse ABC, la figure suivante montre un exemple de produits classés selon la méthode XYZ. Cette illustration aide à visualiser comment les articles sont classés en fonction de la stabilité de leur demande.

La classification XYZ reflète la stabilité de la consommation des articles. Un produit avec une demande stable est plus facile à prévoir et à gérer qu'un produit avec une demande variable.

Classes XYZ :

- **Classe X** : Articles dont les ventes sont stables et prévisibles. Ils ont une faible variabilité de la demande et sont plus faciles à gérer.
- **Classe Y** : Articles avec des ventes modérément volatiles. Ils montrent une certaine variabilité mais restent relativement prévisibles.
- **Classe Z** : Articles avec des ventes très volatiles et imprévisibles. Ils nécessitent une gestion flexible pour éviter les ruptures de stock ou les surstocks.



FIGURE 2.9 – Exemple de produits XYZ [46].

Dans la figure 2.9, les produits sont classés selon leur volume moyen de ventes, mais chacun montre des incertitudes différentes. Pour maintenir un niveau de service similaire pour le produit Z et le produit X, il faut prévoir un stock de sécurité plus élevé pour le produit Z en raison de sa plus grande variabilité.

Calcul de la Classe XYZ : Pour calculer la classification XYZ, les étapes suivantes doivent être suivies :

1. **Collecter l'historique des sorties** : Récupérer les données de sorties mensuelles pour l'année passée. Pour les produits à durée de vie courte, utiliser un historique hebdomadaire.
2. **Calculer les statistiques des sorties** : Calculer la moyenne ( $\mu$ ) et l'écart type ( $\sigma$ ) des sorties.
3. **Calculer le coefficient de variation (CV)** :

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \quad (2.1)$$

4. **Définir les limites des classes X, Y et Z** : Par exemple, on peut définir la classe X pour un coefficient de variation inférieur à 50%, la classe Y entre 50% et 100%, et la classe Z pour des coefficients supérieurs à 100%. Ces limites peuvent être ajustées selon les spécificités de l'entreprise et du marché.

5. **Affecter les classes** : Classer chaque article en fonction des coefficients de variation obtenus.

Utilisation de l'Analyse ABC-XYZ dans la Gestion des Stocks : L'analyse combinée ABC-XYZ permet de définir des stratégies de gestion des stocks plus fines en tenant compte à la fois de la valeur et de la variabilité des articles. Voici des recommandations pour chaque combinaison de classes :

- **AX et BX** : Articles importants avec une demande stable. Ils nécessitent une faible couverture de stock et une surveillance régulière.
- **AY** : Articles critiques avec une demande modérément variable. Une couverture de stock moyenne est recommandée.
- **AZ** : Articles à forte variabilité mais essentiels. Une grande couverture de stock est nécessaire pour prévenir les ruptures.
- **BY et CX** : Articles avec un risque modéré. Une gestion flexible et une couverture de stock moyenne suffisent.
- **BZ et CY** : Articles volatils de moindre importance. Il peut être judicieux de les gérer automatiquement et de limiter les stocks.
- **CZ** : Articles peu importants avec une demande erratique. Il est préférable de minimiser les stocks et d'envisager une gestion sur commande ou un déréférencement.

Pour visualiser comment les articles peuvent être répartis dans les différentes combinaisons de classes ABC-XYZ, la figure suivante montre le principe de cette analyse combinée [46].

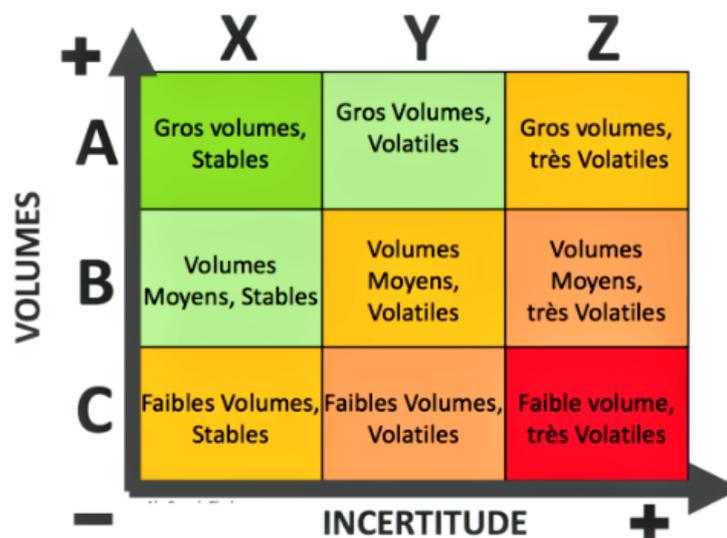


FIGURE 2.10 – Principe ABC-XYZ.

## 2.2 Gestion des stocks

La gestion efficace des stocks est cruciale pour répondre de manière continue aux besoins des clients et soutenir les opérations de l'entreprise [47]. Ce processus englobe une série d'activités, y compris la planification, la constitution, le suivi et l'entreposage des stocks, afin d'assurer que les matières, composants et produits finis soient disponibles de manière optimale pour satisfaire les exigences de production et de vente [5].

### 2.2.1 Éléments de la gestion des stocks

L'étude des modèles de gestion des stocks a débuté avec le travail de Ford Harris en 1913. Harris a formulé le premier modèle mathématique d'optimisation pour équilibrer les effets contradictoires de la consolidation des petits lots de production en des lots plus grands [26]. Ce modèle a marqué le point de départ de la recherche opérationnelle dans la gestion des stocks. Depuis lors, des milliers de publications ont traité des différents défis pratiques de la gestion des stocks. Les caractéristiques essentielles des modèles de gestion des stocks peuvent être résumées comme suit :

1. **Structure de stockage** : La structure de stockage fait référence à l'organisation des entrepôts dans un système de gestion des stocks. Il existe principalement deux types de structures :
  - **Structure mono-échelon** : Composée d'un seul niveau où un entrepôt reçoit les produits du fournisseur et les distribue directement aux utilisateurs.
  - **Structure multi-échelons (ou multi-niveaux)** : Un entrepôt central, appelé dépôt, reçoit les produits du fournisseur et les transfère à plusieurs autres entrepôts. Ces entrepôts peuvent servir d'autres niveaux d'entrepôts avant que les produits n'atteignent les détaillants, qui les distribuent directement aux utilisateurs finaux [2].

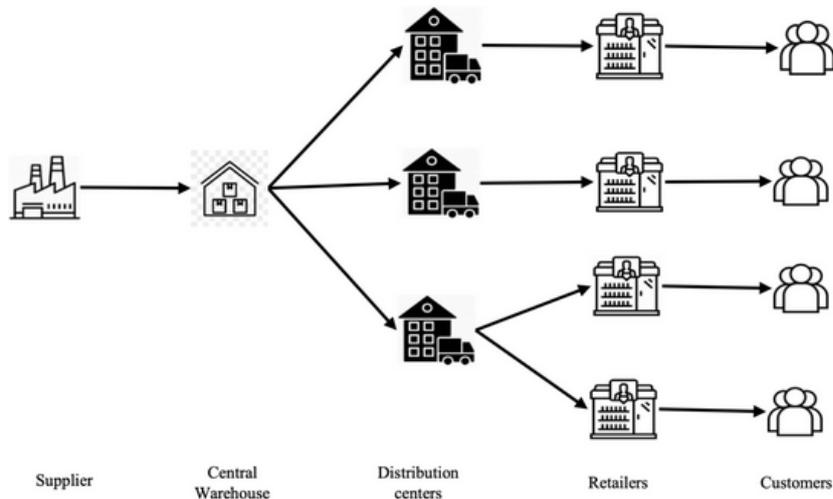


FIGURE 2.11 – Système multi-échelons.

2. **Produits (Articles)** : Le terme "produits" englobe toutes les marchandises ou objets stockés. Les produits peuvent varier en fonction des exigences de stockage spécifiques, comme le taux d'humidité, la température ou la sensibilité à la poussière. Par conséquent, les produits périssables ou sujets à l'obsolescence doivent être gérés de manière distincte [33]. La plupart des études se concentrent sur la gestion d'un seul article, bien que cette hypothèse puisse ne pas toujours refléter la réalité des entreprises qui partagent les ressources de stockage pour plusieurs produits. Dans le cadre de cette analyse, nous considérons un seul article non périssable.
3. **Horizon de planification (période de gestion)** : L'horizon de planification désigne la durée pendant laquelle les niveaux de stock sont surveillés et contrôlés. Cet horizon peut être fini ou infini, et la gestion des stocks peut être déterministe ou stochastique (aléatoire).
4. **La revue (l'inspection)** : Pour évaluer l'état des stocks et contrôler le système, des inspections sont effectuées à des moments précis. Ces inspections peuvent être de deux types principaux :
  - **Systèmes à revue continue** : Les transactions sont enregistrées dès qu'elles ont lieu, offrant une visibilité en temps réel sur l'état des stocks [33]. Ce type de système offre un haut niveau de sécurité mais peut être coûteux [35].
  - **Systèmes à revue périodique** : L'inspection se fait à des moments discrets dans le temps. Le gestionnaire ne dispose d'informations sur les stocks qu'aux moments d'inspection, ce qui permet de regrouper les commandes pour plusieurs produits en une seule commande [40].
5. **Le processus de la demande** : Le processus de demande peut se dérouler de manière continue ou à des moments spécifiques. Les demandes peuvent être discrètes (comme pour les pièces électroniques) ou continues (comme pour le gaz ou l'eau). Les hypothèses concernant les caractéristiques de la demande incluent :
  - **Déterministe et constante** : La demande est connue à l'avance et reste constante.
  - **Stationnaire ou dynamique** : La demande peut fluctuer mais suit un modèle prévisible.
  - **Discrète ou continue** : Les quantités demandées peuvent être comptabilisées en unités distinctes ou comme un flux continu.
  - **Déterministe ou stochastique** : La demande peut être connue à l'avance ou incertaine, variant de manière aléatoire.

Le modèle classique de la quantité économique de commande (EOQ) est couramment utilisé et suppose que la demande est connue et constante dans le temps.
6. **Ruptures** : Les ruptures de stock se produisent lorsque la demande dépasse le niveau des stocks disponibles. La gestion des ruptures dépend de la manière dont le système réagit à ces situations :
  - **Ventes perdues** : Les demandes pendant la rupture sont perdues et non récupérées.

— **Commande en attente** : Les demandes non satisfaites sont enregistrées et satisfaites dès la réception de la prochaine commande.

Un troisième scénario mixte combine ces deux approches, où une partie des demandes est ignorée et laissée à satisfaire ultérieurement.

7. **Délai de livraison** : Le délai de livraison est le laps de temps entre le moment où une commande est passée et celui de sa réception [26]. Ce délai peut être considéré comme déterministe ou stochastique, mais le cas le plus simple est de le considérer comme nul, ce qui correspond à un approvisionnement instantané. Cependant, certains modèles traitent le délai de livraison comme une variable aléatoire, ce qui rend leur analyse plus complexe. Pour simplifier, certains auteurs supposent que les commandes arrivent dans l'ordre de leur lancement dans le temps [19, 48].

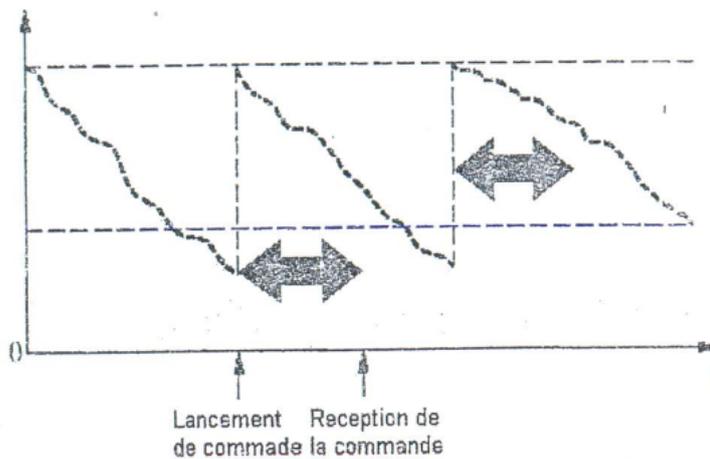


FIGURE 2.12 – Les délais de livraisons (en flèches plaines) [2].

8. **Capacité** : La capacité est un autre paramètre crucial dans l'analyse des systèmes de gestion des stocks. On suppose souvent que la quantité que le gestionnaire peut acquérir suite à une commande est limitée ou même aléatoire. Cette hypothèse est étroitement liée à la capacité de stockage, à la chaîne de production et à la capacité du fournisseur.

### 2.2.2 Différents coûts de stock

Les coûts associés à la gestion des stocks sont généralement classés en trois catégories principales :

1. **Coût de passation de commande** : Ce coût inclut les frais de chaque commande d'achat ou ordre de fabrication. Il est proportionnel au nombre de commandes passées annuellement.
  - **Pour les approvisionnements** : Le coût est calculé en divisant le coût total de fonctionnement du service des achats par le nombre de commandes passées annuellement.
  - **Pour les lancements en fabrication** : Le coût est obtenu en divisant le coût total de fonctionnement du service de planification par le nombre de lancements en fabrication.

2. **Coût de possession de stock** : Ce coût couvre les charges liées au stockage physique et à l'immobilisation des capitaux dans le stock. Il est proportionnel à la valeur moyenne du stock et à la durée pendant laquelle il est détenu. Les frais comprennent :
  - Les intérêts sur le capital immobilisé.
  - Les coûts de magasinage (loyer, entretien, assurance, etc.).
  - Les risques de détérioration, d'obsolescence, etc.
  
3. **Les coûts de rupture de stock** : Ce coût survient lorsque le stock est épuisé, rendant impossible la satisfaction de la demande. Il peut inclure :
  - Pertes de revenus.
  - Perte de clients.
  - Pénalités de retard de livraison.
  - Augmentation des coûts de production.
  - Coûts d'achat ou de location de produits de remplacement.
  - Arrêts de production.

### 2.2.3 Règles de contrôle

Les règles de contrôle dans la gestion des stocks sont classées en deux grandes catégories : les règles de contrôle à revue continue et les règles de contrôle à revue périodique.

#### 1. Règles de contrôle à revue continue

Ces règles permettent un suivi constant des niveaux de stock. Les politiques couramment utilisées sont :

- **Règle de contrôle**  $(s, S)$  : Une commande est passée dès que le niveau des stocks tombe en dessous de  $s$ , pour ramener le niveau des stocks à  $S$ .
- **Règle de contrôle**  $(S, S)$  : Chaque fois qu'une demande survient, une commande est passée pour ajuster la taille de la commande à celle de la demande.
- **Règle de contrôle**  $(s, nQ)$  : Une commande de  $nQ$  articles est passée lorsque le niveau des stocks tombe en dessous de  $s$ , pour ramener le niveau des stocks à un niveau supérieur à  $s$ .

#### 2. Règles de contrôle à revue périodique

Ces règles permettent d'inspecter les stocks à intervalles réguliers. Les politiques couramment utilisées sont :

- **Règle de contrôle**  $(R, s, S)$  : Le niveau des stocks est vérifié à chaque intervalle de  $R$  unités de temps. Si le niveau des stocks est inférieur à  $s$ , une commande est passée pour ramener le niveau des stocks à  $S$ .
- **Règle de contrôle**  $(R, S, S)$  : Une commande est passée à chaque intervalle de  $R$  unités de temps, ajustant la taille de la commande à la demande actuelle.

- **Règle de contrôle**  $(R, s, nQ)$  : Les stocks sont inspectés à chaque intervalle de  $R$  unités de temps. Une commande par lot est passée si le niveau des stocks est inférieur ou égal à  $s$ .

### 2.2.4 Politiques d'approvisionnement

Les décisions de réapprovisionnement reposent sur des politiques qui déterminent le moment et la quantité de commandes. Les principales méthodes incluent :

#### 1. Réapprovisionnement à Date et Quantité fixes

Également connue sous le nom de méthode "calendaire", cette approche implique des livraisons de pièces à des dates fixes avec des quantités uniformes. Elle est souvent utilisée pour les produits dont la consommation est régulière et de faible valeur [46].

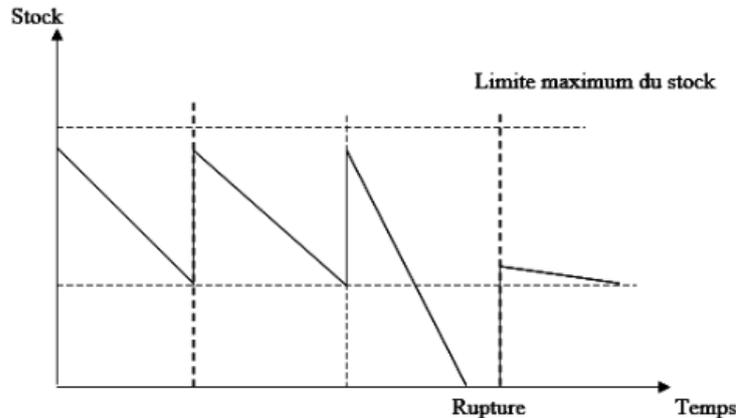


FIGURE 2.13 – Réapprovisionnement à Date fixes et Quantité fixes.

- **Avantages** : Simplification de la gestion des stocks, économies d'échelle.
- **Inconvénients** : Risque d'accumulation ou de rupture de stock si la consommation n'est pas régulière.

#### 2. Réapprovisionnement à Date fixe et Quantité variable

Connue sous le nom de méthode de recomplètement, cette approche consiste à définir un niveau optimal de stock pour chaque produit. À des intervalles fixes, le niveau de stock est évalué et les commandes sont passées pour reconstituer les stocks au niveau requis [46]. Cette méthode est généralement appliquée à des produits coûteux, périssables ou encombrants voir la figure 2.14.

- **Avantages** : Gestion simplifiée, faible immobilisation financière.
- **Inconvénients** : Risque de rupture de stock.

#### 3. Réapprovisionnement à Date variable et Quantité fixe

Également connue sous le nom de méthode de point de commande, cette approche définit le niveau de stock qui déclenche automatiquement une commande, permettant ainsi une

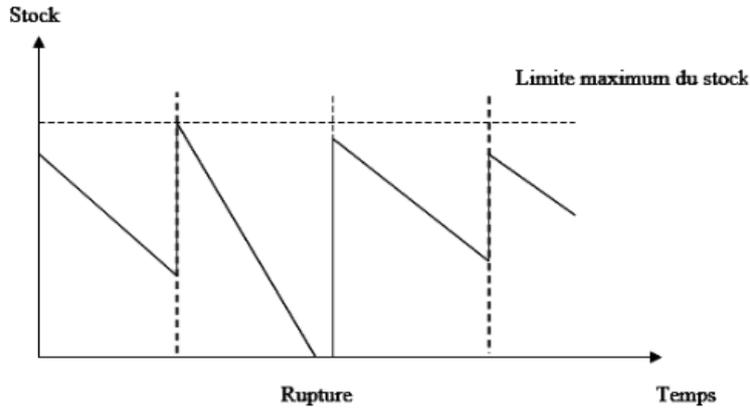


FIGURE 2.14 – Réapprovisionnement à Date fixe et Quantité variable.

livraison juste à temps [46]. Ce point de commande doit suffire pour répondre aux besoins pendant le délai entre la commande et la livraison voir la figure 2.15.

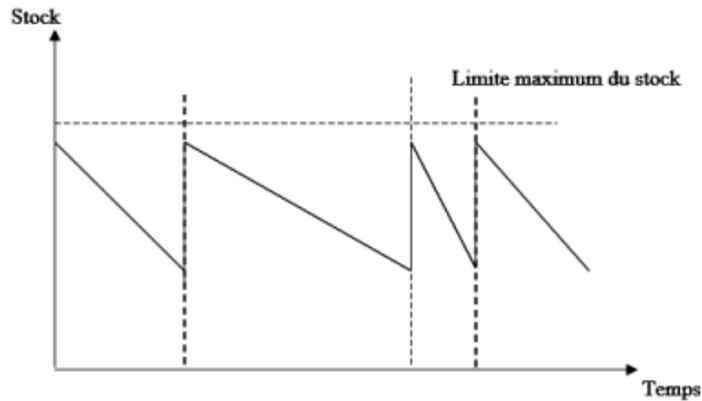


FIGURE 2.15 – Réapprovisionnement à Date variable et Quantité fixe.

- **Avantages** : Évite les ruptures de stock, adapté aux consommations irrégulières.
- **Inconvénients** : Nécessite un suivi constant des stocks, ce qui peut être coûteux en gestion.

#### 4. Réapprovisionnement à Date et Quantité variables

Cette méthode est utilisée pour les articles de classe A, où les achats se font en fonction des opportunités du marché [46]. Elle prend en compte les besoins pour les commandes spécifiques, les fabrications de l'entreprise et les aléas de production 2.16.

- **Avantages** : Potentiellement permet de profiter de tarifs avantageux.
- **Inconvénients** : Nécessite un suivi permanent des coûts du marché, risque de spéculation.

Le tableau 2.1 résume les quatre politiques possibles en fonction des paramètres de date et de quantité :

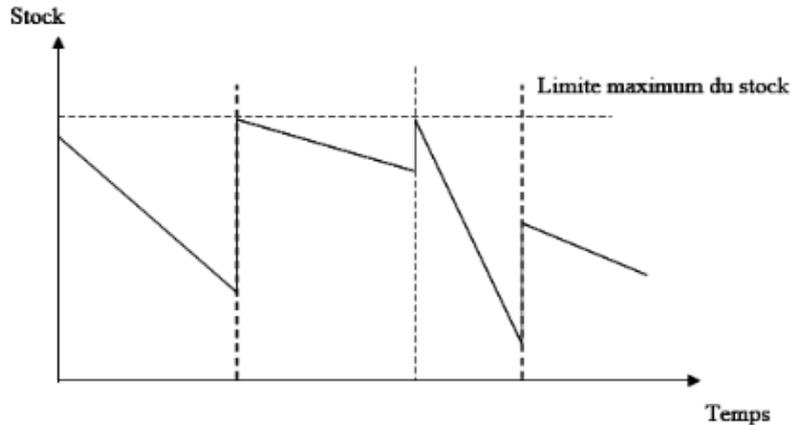


FIGURE 2.16 – Réapprovisionnement à Date variable et Quantité variable.

Quantité/période	Date Fixe	Date Variable
Quantité Fixe	Approvisionnements automatiques	Point de commande
Quantité Variable	Méthode de rechargement	Achats opportunistes

TABLE 2.1 – Les politiques de réapprovisionnement.

Le choix de la politique de réapprovisionnement la plus appropriée dépend des coûts d'achat, de la difficulté d'approvisionnement, des délais de livraison et des autres caractéristiques spécifiques à chaque référence ou produit.

## 2.3 Modèles de gestion des stocks

Il existe une variété de modèles mathématiques pour la gestion des stocks, divisés en deux grandes catégories : les modèles déterministes et les modèles stochastiques, selon la nature de la demande.

### 2.3.1 Modèles déterministes

Les modèles déterministes supposent que la demande est prévisible et constante. Parmi ces modèles, on trouve :

#### 2.3.1.1 Modèle de la quantité économique de commande (EOQ)

Le modèle de la quantité économique de commande (Economic Order Quantity, EOQ), introduit par F.W. Harris en 1913 et popularisé par Wilson en 1930, est largement reconnu pour sa simplicité et sa facilité d'implémentation [26]. Les hypothèses de ce modèle incluent :

- Un coût de commande constant.
- Un coût de stockage unitaire constant.
- Une demande déterministe et constante.
- Un horizon de planification infini.
- Des livraisons en un seul lot.

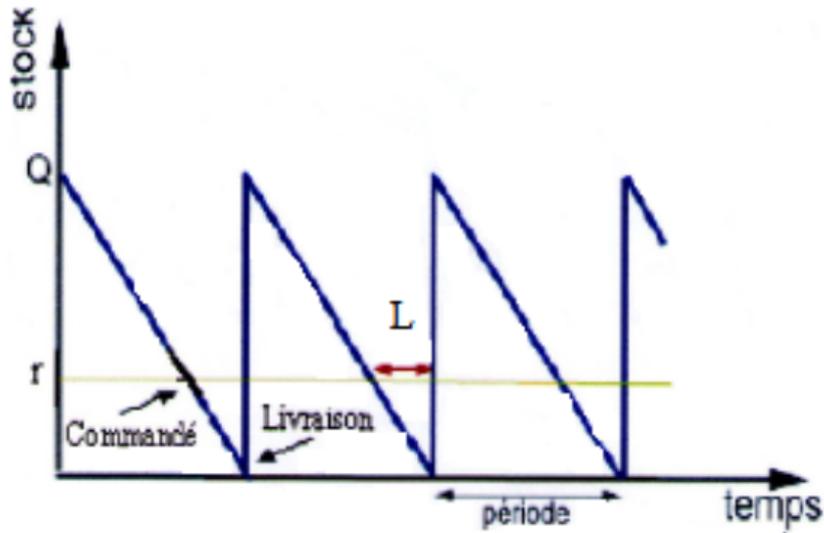


FIGURE 2.17 – Modèle de Wilson [1].

L'objectif principal de ce modèle est de déterminer la quantité économique optimale  $Q^*$  qui minimise le coût moyen de gestion. Ce coût est calculé par la formule 2.2 suivante :

$$C(Q) = h \frac{\lambda}{Q} + \lambda c + C_s \frac{Q}{2}, \quad (2.2)$$

où

- $h \frac{\lambda}{Q}$  : Coût de réapprovisionnement,  $h$  est un coût fixe de commande et  $\frac{\lambda}{Q}$  est le nombre de commande.
- $\lambda c$  : Coût d'achat de  $\lambda$  articles avec un prix unitaire  $c$ .
- $C_s \frac{Q}{2}$  : Coût de possession du stock (le coût de maintien du stock moyen  $\frac{Q}{2}$ ).
- $Q$  : Quantité fixe de commande.

La figure 2.18 montre la variation des différents coûts selon le modèle de Wilson. Pour déterminer la quantité économique de commande  $Q^*$ , nous dérivons l'équation 2.2 par rapport à  $Q$  et résolvons  $C'(Q) = 0$ . Nous vérifions que  $C''(Q)$  est positive pour garantir un minimum.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2h\lambda}{C_s}} \quad (2.3)$$

### 2.3.1.2 Modèle de Wilson avec pénurie

Ce modèle est une extension du modèle de base, où l'hypothèse selon laquelle "les pénuries ne sont pas permises" est écartée. Par conséquent, le coût de pénurie est pris en compte dans la détermination du coût moyen de gestion des stocks. Des travaux de recherche ont exploré cette notion de coût de pénurie, notamment les travaux de Grubbstrok et Erdman [24], Leopoldo et Cardenas [14], ainsi que ceux de Porteus [37] qui ont inclus le coût d'investissement.

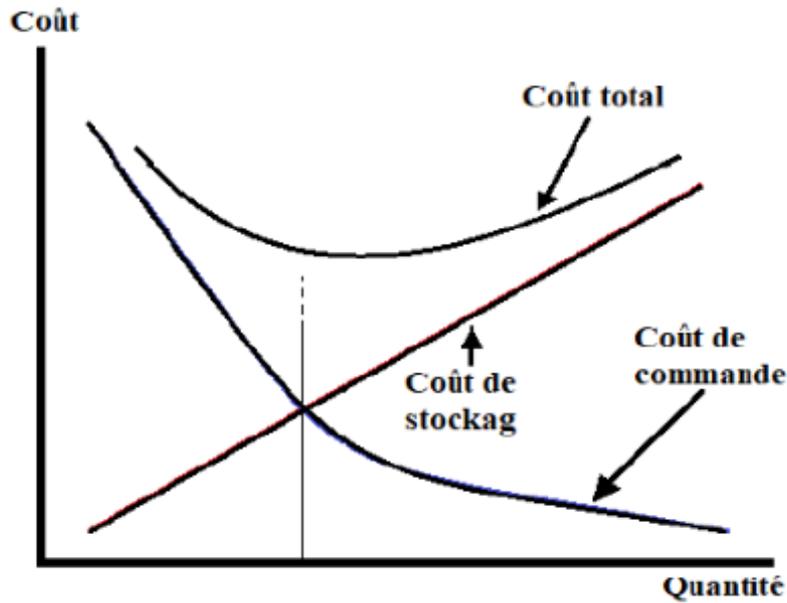


FIGURE 2.18 – Variation des différents coûts selon le modèle de Wilson.

### 2.3.1.3 Modèle de Wilson avec demande aléatoire

Ce modèle introduit l'incertitude sur les paramètres d'entrée tels que la demande, bien qu'elle soit considérée comme constante sur la période totale. Ainsi, ce modèle est classé parmi les modèles déterministes. Des recherches ont été menées pour intégrer ces incertitudes dans le modèle [20] [28].

### 2.3.1.4 Modèle pour plusieurs objets

Dans la gestion des ressources de l'entreprise, plusieurs objets partagent souvent les mêmes ressources. Le modèle déterministe pour la gestion de plusieurs objets (articles) répond à cette réalité. La quantité optimale à commander  $Q_j^*$  du  $j^{\text{ème}}$  article est donnée par :

$$Q_j^* = \sqrt{\frac{2\lambda_j h_j}{t_j p_j}}, \quad (2.4)$$

où :

- $\lambda_j$  est la demande annuelle du  $j^{\text{ème}}$  article.
- $h_j$  est le coût unitaire de réapprovisionnement du  $j^{\text{ème}}$  article.
- $t_j p_j$  est le coût unitaire de possession en stock du  $j^{\text{ème}}$  article.

Dans le but d'assurer une gestion efficace des stocks et une bonne gestion globale de l'entreprise, il est essentiel de ne pas se contenter des modèles existants et de chercher à développer de nouvelles approches. Naddor et Saltzman [36] ont introduit une méthode relativement simple pour choisir les périodes d'approvisionnement et déterminer les produits à commander à chaque période. En 1976, Silver [44] a proposé une heuristique dans le domaine de la gestion des stocks pour plusieurs articles, également connue sous le nom de gestion multi-produit. Cette heuris-

tique permet de planifier les périodes de commande et la fréquence de commande pour chaque article.

En 1979, Love [31] a développé un nouveau modèle portant son nom. Ce modèle consiste d'abord à déterminer les périodes de réapprovisionnement, puis à attribuer à chaque article deux seuils de commande : le premier pour initier la commande et le second pour inclure l'article dans une commande déjà en cours. Bien que ce modèle soit simple, il demeure l'un des meilleurs dans sa catégorie. D'autres travaux dans la littérature abordent également cette problématique en utilisant des approches telles que la programmation dynamique [23, 39].

Malgré leur utilité pratique et leurs bons résultats, il convient de noter que ces modèles demeurent quelque peu irréalistes, ce qui a conduit les chercheurs à développer des approches plus réalistes prenant en compte l'aspect aléatoire. C'est ainsi que les modèles stochastiques de gestion des stocks ont été développés.

### **2.3.2 Modèles stochastiques**

Les modèles stochastiques de gestion des stocks sont des outils de gestion qui prennent en compte l'incertitude entourant divers éléments constitutifs. En général, ces modèles traitent la demande et/ou les délais de livraison comme des variables aléatoires, plutôt que des valeurs exactes. L'objectif principal de ces modèles est d'assurer un certain niveau de service tout en minimisant les coûts globaux de gestion. Ainsi, pour un niveau de service donné, il est nécessaire de déterminer la quantité à commander et le moment optimal pour passer commande. Parmi les modèles stochastiques, on distingue généralement deux catégories principales : les systèmes de réapprovisionnement continu et les systèmes de réapprovisionnement périodique.

Avant de définir ces deux catégories, certaines notations nécessaires pour étudier ces modèles. On utilise généralement les notations suivantes :

- $T$  est la période.
- $R$  est le niveau de rechargement.
- $r$  est le seuil d'alerte.
- $S$  est le stock de sécurité.
- $C_T$  : est la fonction de coût.
- $C_s$  est le coût de maintien en stock d'un article.
- $C_p$  est le coût de pénurie par unité non livrée et par unité de temps.
- $\mu_T$  est la demande moyenne durant la période d'attente  $T$ .

#### **2.3.2.1 Le problème du marchand de journaux**

Le problème du marchand de journaux est un exemple classique de gestion des stocks avec une demande stochastique sur une seule période, souvent utilisé pour des produits périssables ou saisonniers comme les journaux, les magazines, et les cadeaux de fin d'année. Ce problème a été largement étudié et a donné lieu à de nombreuses extensions dans la littérature, notamment

dans les travaux de Silver et al [43]. ainsi que dans le livre de E.L. Porteus [38].

Dans le modèle de base, l'objectif est de déterminer la quantité optimale à commander pour répondre à une demande aléatoire durant une période unique. Si la quantité commandée est inférieure à la demande réelle, cela entraîne un manque à gagner. À l'inverse, si la quantité commandée dépasse la demande, les articles invendus sont soit perdus, soit soldés à la fin de la période.

La résolution de ce problème peut se faire selon deux approches principales qui conduisent au même résultat. La première approche consiste à minimiser le coût moyen des erreurs de surestimation et de sous-estimation de la demande. La seconde approche vise à maximiser le profit total par période.

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

Le modèle à point de commande  $(Q, r)$  est fondé sur l'établissement d'un seuil de déclenchement de commande. Dans ce cadre,  $Q$  représente le volume de commande fixe, indépendant des fluctuations de la demande immédiate. Cependant, le moment précis de passer commande dépend des variations de la demande, influençant ainsi le niveau des stocks à chaque instant.

Lorsque le stock atteint le point de commande préétabli (également connu sous le nom de stock d'alerte), une commande pour une quantité fixe  $Q$  est automatiquement déclenchée pour réapprovisionner le stock. Ce mécanisme permet de maintenir le stock à un niveau optimal pour répondre aux demandes futures.

Un des principaux défis de ce système est la nécessité de surveiller en permanence le niveau de stock afin de s'assurer que les commandes sont passées au moment approprié. Pour remédier à cette contrainte, de nombreuses entreprises automatisent leur gestion des stocks, utilisant des systèmes informatisés ou des fiches de stock pour suivre précisément et en temps réel l'évolution des niveaux de stock.

La figure 2.19 illustre l'évolution typique du niveau des stocks dans le cadre d'un système à point de commande  $(Q, r)$  :

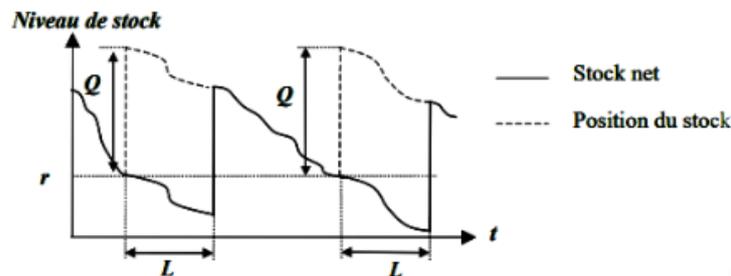


FIGURE 2.19 – Evolution du stock dans le cas d'un système  $(Q, r)$ .

Cette figure montre comment le niveau de stock fluctue au fil du temps, atteignant périodiquement le point de commande  $r$ , ce qui déclenche une commande fixe  $Q$  pour reconstituer le stock.

### Calcul du point de commande

Pour éviter toute rupture pendant le délai de livraison  $L$ , il est crucial de déterminer le point de commande  $r$  de manière appropriée [4]. Supposons que  $D$  soit la demande ponctuelle avec une distribution normale de paramètres  $(\mu_D, \sigma_D)$ . La variable aléatoire  $X$  représente la demande durant  $L$ .

$$\begin{cases} \mu_X = L\mu_D, \\ \sigma_X = \sqrt{L}\sigma_D. \end{cases}$$

### Calcul du point de commande $r$ en fonction du risque de rupture de stock $\alpha$

Le point de commande  $r$  est déterminé en tenant compte du risque de rupture de stock, représenté par  $\alpha$ . Ce paramètre  $\alpha$  correspond à la probabilité que la demande pendant le délai de livraison  $L$  dépasse le niveau de stock  $r$ , soit  $\alpha = P(X > r)$ . Inversement,  $1 - \alpha$  représente le niveau de service, c'est-à-dire la probabilité que la demande durant  $L$  soit inférieure ou égale à  $r$  :  $1 - \alpha = P(X \leq r)$ . Le niveau de service  $(1 - \alpha)$  indique le pourcentage d'articles dont la demande est satisfaite sur la période de gestion considérée.

Pour exprimer le niveau de service en termes de distribution de probabilité, nous utilisons l'équation suivante :

$$\mathbb{P}(X \leq r) = 1 - \alpha \implies \mathbb{P}\left(\frac{X - \mu_X}{\sigma_X} \leq \frac{r - \mu_X}{\sigma_X}\right) = 1 - \alpha$$

En posant  $Z = \frac{X - \mu_X}{\sigma_X} \sim \mathcal{N}(0, 1)$ , nous obtenons :

$$r = \mu_X + Z_{1-\alpha} \times \sigma_X \tag{2.5}$$

Ici,  $Z_{1-\alpha}$  est le quantile associé à la loi normale centrée réduite avec une probabilité  $1 - \alpha$ . Ce quantile est généralement obtenu à partir de tables de la loi normale standard  $\mathcal{N}(0, 1)$ . Le tableau ci-dessous montre les valeurs typiques des quantiles pour différents niveaux de service :

Niveau de service ( $1 - \alpha$ )	89%	90%	91%	93%	95%	97%
Quantile ( $Z_{1-\alpha}$ )	1.28	1.28	1.34	1.48	1.65	1.88

TABLE 2.2 – Quantiles associés aux niveaux de service courants.

### Calcul du stock de sécurité

Le stock de sécurité est une quantité supplémentaire d'articles conservée pour se protéger contre les pénuries dues à une augmentation inattendue de la demande ou à des retards de livraison. La définition formelle du stock de sécurité est la suivante :

**Stock de sécurité** : Quantité additionnelle de produits maintenue en stock pour se prémunir contre les imprévus dans la demande des clients ou les délais de livraison des fournisseurs [4].

Le niveau de stock de sécurité  $S$  est calculé par :

$$S = r - \mu_X = Z_{1-\alpha} \times \sigma_X = Z_{1-\alpha} \times \sqrt{L}\sigma_D \quad (2.6)$$

où  $\sigma_D$  est l'écart type de la demande durant le délai  $L$ .

### Expression du coût total de gestion des stocks

Le coût total de gestion des stocks  $C_T(Q, r)$  inclut le coût de réapprovisionnement, le coût de possession des stocks et le coût lié aux pénuries, le coût total est donné par l'équation suivante :

$$C_T(Q, r) = \lambda c + \frac{\lambda h}{Q} + \left(\frac{Q}{2} + S\right) C_s + C_p \frac{\lambda}{Q} \int_r^{+\infty} (x - r) f(x) dx \quad (2.7)$$

Où :

- $C_{appro} = \lambda c + \frac{\lambda h}{Q}$  représente le coût de réapprovisionnement.
- $C_{stockage} = C_s \left(\frac{Q}{2} + S\right)$  est le coût de possession des stocks.
- $C_{penurie} = C_p \frac{\lambda}{Q} \int_r^{+\infty} (x - r) f(x) dx$  correspond au coût de pénurie.

Ces composantes permettent de calculer de manière exhaustive le coût total associé à la gestion des stocks dans un système à point de commande  $(Q, r)$ .

### 2.3.2.3 Modèle à révision périodiques $(R, T)$

Le modèle à révision périodique, noté  $(R, T)$ , est également connu sous le nom de modèle de stock avec reapprovisionnement. Dans ce système, les commandes sont passées à des intervalles de temps fixes  $T$ , et les quantités commandées peuvent varier d'une révision à l'autre. Le paramètre  $R$  représente le niveau de reapprovisionnement, c'est-à-dire la quantité de stock à commander à chaque période de révision pour maintenir un niveau de service souhaité [4].

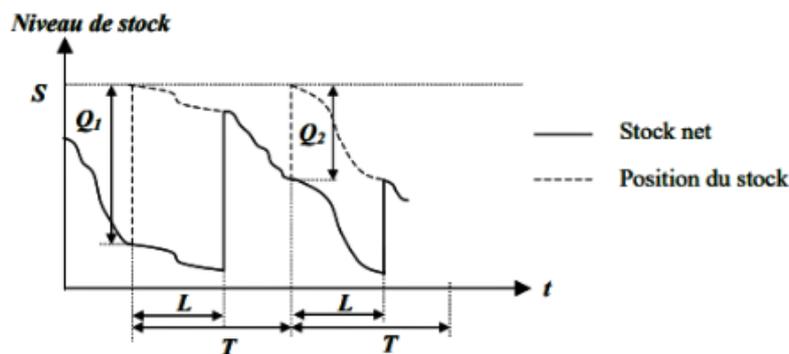


FIGURE 2.20 – Évolution du stock dans un système  $(R, T)$ .

Contrairement au modèle  $(Q, r)$ , où le niveau de stock est surveillé en continu et les commandes sont déclenchées dès que le stock atteint un seuil défini  $(r)$ , le modèle  $(R, T)$  n'effectue le contrôle des stocks qu'à des intervalles périodiques. Les commandes sont ainsi passées uniquement lors des révisions périodiques, selon des intervalles de temps fixes  $T$ .

Dans ce cadre, le niveau de service dépend principalement du niveau de reapprovisionnement  $R$ . Un  $R$  plus élevé assure un meilleur niveau de service car il permet de disposer de plus de stock pour répondre à la demande durant la période de révision.

**Calcul du niveau de reapprovisionnement  $R$  :**

Pour déterminer le niveau de reapprovisionnement  $R$  dans le modèle  $(R, T)$ , on procède de manière similaire au calcul du point de commande  $r$  dans le modèle  $(Q, r)$ . Cependant, la méthode doit être adaptée en considérant la période totale de révision  $(T + L)$  plutôt que le seul délai de réapprovisionnement  $L$ .

Considérons une variable aléatoire  $D$  représentant la demande par unité de temps, qui suit une distribution normale avec une moyenne  $\mu_D$  et un écart type  $\sigma_D$ . La variable  $X$  représente la demande pendant la période de révision  $(T + L)$ . Si le délai de réapprovisionnement  $L$  est constant, alors :

$$X = D(T + L) \sim \mathcal{N}(\mu_X, \sigma_X)$$

où :

$$\begin{aligned} \mu_X &= (T + L)\mu_D, \\ \sigma_X &= \sqrt{T + L}\sigma_D. \end{aligned}$$

Pour garantir un niveau de service  $1 - \alpha$ , nous devons satisfaire la condition suivante :

$$\mathbb{P}(X \leq R) = 1 - \alpha \implies \mathbb{P}\left(\frac{X - \mu_X}{\sigma_X} \leq \frac{R - \mu_X}{\sigma_X}\right) = 1 - \alpha$$

Posons la variable standardisée  $Z = \frac{X - \mu_X}{\sigma_X} \sim \mathcal{N}(0, 1)$ . Nous obtenons alors :

$$R = \mu_X + Z_{1-\alpha} \times \sigma_X = (T + L)\mu_D + Z_{1-\alpha} \times \sqrt{T + L}\sigma_D \tag{2.8}$$

Le stock de sécurité  $S$  peut être calculé comme suit :

$$S = R - \mu_X = Z_{1-\alpha} \times \sqrt{T + L}\sigma_D \tag{2.9}$$

**Expression du coût total de gestion des stocks**

Le coût total de gestion des stocks dans le modèle  $(R, T)$ , noté  $C_T(R, T)$ , est la somme des coûts de réapprovisionnement, de stockage et de pénurie. Pour une période de gestion de longueur  $P$ , l'expression du coût total est donnée par :

$$C_T(R, T) = \lambda c + \frac{Ph}{T} + C_s \left( \frac{\mu_T}{2P} + S \right) + C_p \frac{P}{T} \int_R^{+\infty} (x - R)f(x) dx \tag{2.10}$$

où :

- $C_{appro} = \lambda c + \frac{Ph}{T}$  représente le coût de réapprovisionnement.
- $C_{Stockage} = C_s \left( \frac{\mu T}{2P} + S \right)$  est le coût de possession des stocks.
- $C_{penurie} = C_p \frac{P}{T} \int_R^{+\infty} (x - R) f(x) dx$  correspond au coût de pénurie.

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré les définitions fondamentales, les différentes fonctions et classifications des stocks, ainsi que les stratégies de réapprovisionnement et les modèles de gestion des stocks. Cette compréhension est essentielle pour une gestion efficace des ressources dans une entreprise.

Dans le chapitre suivant, nous mettrons en pratique ces concepts en analysant et en modélisant la gestion des stocks pour différents articles.

## **Chapitre 3**

# **Analyse et Modélisation des Stocks**

### **Introduction**

Ce chapitre constitue le noyau de notre étude, mettant en application les principes théoriques de gestion des stocks présentés précédemment. Nous débutons par la collecte et l'analyse des données couvrant une période de six ans (2019-2024). Ces données sont fondamentales pour comprendre les dynamiques des stocks et pour évaluer les différentes approches de gestion. Notre objectif principal est de sélectionner et d'appliquer les modèles de gestion des stocks les plus adaptés à chaque catégorie d'articles. En nous concentrant sur l'optimisation des niveaux de stock et sur la prévention des ruptures, nous cherchons à adapter la stratégie de gestion des stocks de l'entreprise Sonatrach pour répondre efficacement à ses besoins opérationnels et à ses priorités spécifiques.

### **3.1 Collecte des Données**

Les données, représentant l'ensemble des informations nécessaires à la gestion des stocks, sont d'une importance cruciale pour le RTC. Donc, la première étape de notre démarche consiste à rassembler et analyser ces données. Avec un inventaire de plus de 17 000 articles (Figure 3.1), répartis dans ses magasins et classés en deux catégories principales - les pièces de rechange et les pièces consommables - le RTC se concentre particulièrement sur la gestion des pièces de rechange en raison de leur coût élevé et de leur impact stratégique.

Les données à utiliser dans cette analyse couvrent une période de six ans, de 2019 à 2024, et incluent l'historique des livraisons initiales pour chaque article.

Article	Libellé	Référence	Fournisseur/ Fabricant	Date Création	Famille	Sous famille	Groupe	Sous Groupe	Classe	démme moyenne (λ)	Prix unitaire
1	RÉSISTANCE DE FIN DE LIGNE			09-nov.-15	AINST	ADCS	EMERS		I	40	52 873,68
2	CARTE RESOLVER POUR IQT MKII	WIQ81025	EROTORK	24-oct.-07	AINST	PTEIV	ROTOR	ELECT	I	37	7 296,28
3	CARTE ELECTRONIQUE LOCALE /DISTANCE POUR IQMK2/IQT		EROTORK	01-avr.-15	AINST	PTEIV	ROTOR	ELECT	I	34	15 671,24
4	ENSEMBLE PIEZO POUR IQMK2/MODELE IQ10/I2/18		EROTORK	29-mars-15	AINST	PTEIV	ROTOR	ELECT	I	30	44 876,39
5	CHASSIS ELECTRONIQUE COMPLET POUR IQMK2 / MODELE IQ10 A IQ35		EROTORK	30-mars-15	AINST	PTEIV	ROTOR	ELECT	I	29	173 494,02
6	KIT LEVIER MANUAUTO POUR IQMK2 / MODELE IQ10/I2/18		EROTORK	29-mars-15	AINST	PTEIV	ROTOR	MECAN	I	27	16 765,80
7	INDICATEUR DE POSITION IP67			16-juil.-15	AINST	INDIC	SQDLO		P	25	18 512,95
8	CONVERTISSEUR D'ALIMENTATION DC/DC			09-nov.-15	AINST	ADCS	EMERS		I	22	84 911,55
9	KIT VOLANT SUPÉRIEUR POUR IQMK2/MODELE IQ10/I2/18		EROTORK	29-mars-15	AINST	PTEIV	ROTOR	MECAN	I	22	45 799,80
10	MODULE DE BUS 8M 2X40MM POUR CARTES E/S S7-300	6ES7 195-7H800-0XA0		17-fevr.-16	AINST	ADCS	SIEM	CABLA	I	20	16 419,82
11	TRANSDUCTEUR PROXIMITOR MODELE 3300			09-nov.-15	AINST	ADCS	EMERS		I	20	91 296,70
12	CAPTEUR DE PROXIMITÉ MODELE: 3300XL 08 MM			09-nov.-15	AINST	ADCS	EMERS		I	20	63 179,56
13	ENSEMBLE PIEZO POUR IQMK2/MODELE IQ20/25		EROTORK	29-mars-15	AINST	PTEIV	ROTOR	ELECT	I	20	57 167,85
14	KIT DE MAINTENANCE CARTER POUR IQMK2 / MODELE IQ20/25		EROTORK	26-mars-15	AINST	PTEIV	ROTOR	MECAN	I	19	36 761,32
15	SONDE DE NIVEAU 20 M			08-oct.-20	AINST	INDIC	INDN		A	18	14 550,00
16	BOITIER FIN DE COURSE POUR SCHEMA PNEUMATIQUE TYPE1		EROTORK	08-avr.-15	AINST	PTEIV	SQDLO	ELECT	I	18	128 302,77
17	MODULE D'ALIMENTATION PS 405, 24VDC/10A	6ES7 405-0KES1EMENS		17-fevr.-16	AINST	ADCS	SIEM	ELECT	I	17	122 397,24
18	BORNIER TUB10V1 COMPACT M1U.16 BORNE:50	3BSE013230	ABB	03-nov.-07	AINST	PRDCS	ABB		I	16	25 053,81

FIGURE 3.1 – Ensemble de données

### 3.2 Modélisation des Stocks

#### 3.2.1 Classification ABC-XYZ

##### 3.2.1.1 Critères de classification

Pour sélectionner les pièces à étudier, nous avons effectué une analyse ABC-XYZ de 199 articles sur Excel.

##### 3.2.1.2 Résultats de l'analyse

La Figure 3.2 montre la répartition des articles selon les critères ABC et XYZ :

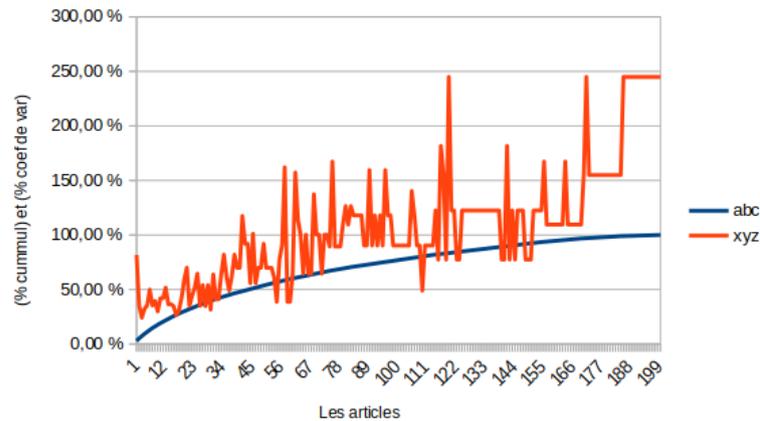


FIGURE 3.2 – Résultats de l'analyse ABC-XYZ.

et les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 3.1 Ici, nous avons inclus uniquement les articles des classes A et B, car ils sont au centre de notre étude.

TABLE 3.1 – Classification ABC-XYZ.

Article	Sorties %	Cumule %	ABC	coeff de var	XYZ
1	2,66 %	2,66 %	A	81,67 %	Y
2	2,59 %	5,26 %	A	34,96 %	X
3	2,09 %	7,34 %	A	24,19 %	X
4	2,02 %	9,36 %	A	32,26 %	X
5	1,73 %	9,36 %	A	32,26 %	X
6	1,87 %	12,96 %	A	49,85 %	X
7	1,73 %	14,69 %	A	35,36 %	X
8	1,51 %	16,20 %	A	39,38 %	X
9	1,51 %	17,71 %	A	29,97 %	X
10	1,37 %	19,08 %	A	41,97 %	X
11	1,37 %	20,45 %	A	41,97 %	X
12	1,30 %	21,74 %	A	51,64 %	Y
13	1,30 %	23,04 %	A	36,51 %	X
14	1,30 %	24,33 %	A	36,51 %	X
15	1,22 %	25,56 %	A	34,70 %	X
16	1,22 %	26,78 %	A	26,57 %	X
17	1,15 %	27,93 %	A	30,62 %	X
18	1,08 %	29,01 %	A	41,95 %	X
19	1,01 %	30,02 %	A	58,55 %	Y
20	1,01 %	31,03 %	A	69,99 %	Y
21	1,01 %	32,04 %	A	34,99 %	X
22	1,01 %	33,05 %	A	44,26 %	X
23	1,01 %	34,05 %	A	51,90 %	Y
24	1,01 %	35,06 %	A	64,52 %	Y
25	1,01 %	36,07 %	A	34,99 %	X
26	0,94 %	37,01 %	A	53,96 %	Y
27	0,94 %	37,94 %	A	37,74 %	X
28	0,94 %	38,88 %	A	53,96 %	Y
29	0,86 %	39,74 %	A	31,62 %	X
30	0,79 %	40,53 %	A	63,77 %	Y
31	0,79 %	41,32 %	A	41,06 %	X
32	0,79 %	42,12 %	A	41,06 %	X
33	0,79 %	42,91 %	A	63,77 %	Y
34	0,72 %	43,63 %	A	81,98 %	Y
35	0,72 %	44,35 %	A	61,97 %	Y

Article	Sorties %	Cumule %	ABC	coeff de var	XYZ
36	0,72 %	45,07 %	A	48,99 %	X
37	0,72 %	45,79 %	A	61,97 %	Y
38	0,72 %	46,51 %	A	81,98 %	Y
39	0,65 %	47,16 %	A	69,92 %	Y
40	0,65 %	47,80 %	A	69,92 %	Y
41	0,65 %	48,45 %	A	117,38 %	Z
42	0,65 %	49,10 %	A	91,89 %	Y
43	0,65 %	49,75 %	A	91,89 %	Y
44	0,65 %	50,40 %	B	55,78 %	Y
45	0,65 %	51,04 %	B	101,11 %	Z
46	0,65 %	51,69 %	B	55,78 %	Y
47	0,65 %	52,34 %	B	69,92 %	Y
48	0,65 %	52,99 %	B	69,92 %	Y
49	0,65 %	53,64 %	B	91,89 %	Y
50	0,65 %	54,28 %	B	69,92 %	Y
51	0,65 %	54,93 %	B	69,92 %	Y
52	0,65 %	55,58 %	B	69,92 %	Y
53	0,58 %	56,16 %	B	61,24 %	Y
54	0,58 %	56,73 %	B	38,73 %	X
55	0,58 %	57,31 %	B	77,46 %	Y
56	0,58 %	57,88 %	B	90,83 %	Y
57	0,58 %	58,46 %	B	162,02 %	Z
58	0,58 %	59,04 %	B	38,73 %	X
59	0,58 %	59,61 %	B	38,73 %	X
60	0,50 %	60,12 %	B	64,52 %	Y
61	0,50 %	60,62 %	B	157,27 %	Z

L'analyse ABC-XYZ permet de classer les articles en fonction de leur importance et de la variabilité de leur demande, offrant ainsi des recommandations précieuses pour la gestion des stocks. L'interprétation des résultats est présentée dans le tableau 3.2.

TABLE 3.2 – Interprétation détaillée des résultats de l'analyse ABC-XYZ

Classe	Articles	Description	Interprétation
AX	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 25, 27, 29, 31, 32, 36	Faible couverture de stock, faible risque de rupture	Ces articles sont très stables. Bien qu'ils soient importants (classe A) avec une demande très élevée (classe X), une faible couverture de stock est suffisante car le risque de rupture est minimal.
AY	1, 12, 19, 20, 23, 24, 26, 28, 30, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 42, 43	Couverture de stock moyenne, risque maîtrisé	Ces articles ont une importance élevée et une demande élevée. Une couverture de stock moyenne est recommandée, car le risque de rupture est contrôlable.
AZ	41	Forte couverture de stock, risque de rupture élevé	Cet article est de haute importance mais présente une demande très faible. Il nécessite une couverture de stock importante pour réduire le risque de rupture.
BX	54, 58, 59	Faible couverture de stock, faible risque de rupture	Ces articles, bien que de moyenne importance (classe B), ont une demande faible. Ils sont stables et n'exigent pas une couverture de stock élevée, car le risque de rupture est faible.
BY	44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 56, 60	Couverture de stock moyenne, risque maîtrisé	Ces articles de moyenne importance avec une demande moyenne nécessitent une couverture de stock moyenne, le risque de rupture étant sous contrôle.
BZ	57, 61, 45	Forte couverture de stock, risque de rupture élevé	Ces articles, bien que de moyenne importance, ont une demande faible. Ils requièrent une couverture de stock importante pour minimiser le risque de rupture, malgré des coûts de stockage potentiellement plus élevés.

### 3.2.2 Modèle de gestion de stock

Le modèle de gestion des stocks doit répondre à deux exigences principales : il doit déterminer le stock de sécurité non seulement pour assurer un niveau de service adéquat et prévenir les pénuries, mais aussi pour déterminer le point de commande et le niveau de réapprovisionnement. Ce modèle doit également offrir une aide à la prise de décision, indépendamment de la nature de la demande.

L'approche de résolution proposée doit trouver le stock de sécurité pour éviter les ruptures de stock tout en maintenant un niveau de service qui varie en fonction des classes ABC-XYZ, comme présenté dans le tableau ci-dessous :

Classe	Niveau de service
AX	0.97
AY	0.95
AZ	0.93
BX	0.91
BY	0.90
BZ	0.89

TABLE 3.3 – Niveaux de service par classe ABC-XYZ

Ces niveaux de service différenciés permettent d'optimiser la gestion des stocks en tenant compte des spécificités de chaque classe, en alignant les ressources et les efforts de réapprovisionnement sur l'importance et la variabilité.

### 3.2.2.1 Modèle à Point de Commande $(Q, r)$

Le système à point de commande repose sur un suivi très précis des niveaux de stock. Il est particulièrement bien adapté dans les cas suivants :

- **Demande à forte variabilité** : Lorsque la demande pour un produit est imprévisible et peut fluctuer de manière significative.
- **Articles coûteux** : Pour des produits dont le coût est élevé, nécessitant une protection accrue contre les ruptures de stock.
- **Processus de réapprovisionnement flexible** : facilement adaptable, soit grâce à un stock disponible chez le fournisseur, soit par un système de production interne flexible.

### Application et Calcul des Stocks de Sécurité

Pour calculer le stock de sécurité en tenant compte de différents délais de réapprovisionnement, nous utilisons les informations suivantes :

1. **Via une demande d'achat** (365 jours ou 1 an)
  - Établissement des spécifications techniques : 7 jours.
  - Établissement des documents administratifs : 2 jours.
  - Établissement d'une demande d'achat : 1 jour.
  - Prospection : 60 jours.
  - Établissement et signature du Bon de commande : 25 jours.
  - Délai de livraison : 270 jours.
2. **Via un dossier de consultation fournisseur** (603 jours ou 1,65 ans)
  - Établissement des spécifications techniques : 30 jours.
  - Établissement des documents administratifs : 15 jours.
  - Lancement consultation fournisseur : 8 jours.

- Délai de soumission : 90 jours.
- Délai d'évaluation des offres techniques par une commission compétente : 60 jours.
- Établissement de visa d'attribution : 10 jours.
- Signature du contrat : 30 jours.
- Délai de livraison : 360 jours.

**3. Via un dossier d'Appel d'Offres** (820 jours ou 2,24 ans)

- Établissement des spécifications techniques : 60 jours.
- Lancement de l'Appel d'Offres : 15 jours.
- Délai de soumission : 120 jours.
- Délai d'évaluation des offres techniques par une commission compétente : 60 jours.
- Délai d'évaluation des offres financières par une commission compétente interne : 60 jours.
- Établissement de visa d'attribution provisoire : 10 jours.
- Délai d'évaluation des offres financières et techniques par une commission compétente externe : 60 jours.
- Signature du contrat : 60 jours.
- Délai de livraison : 360 jours.

Les résultats obtenus en appliquant la formule 2.6, présentée dans le chapitre 2, sont illustrés dans le tableau 3.4 et la figure 3.3.

Où :

- $S_s(Q, r)_{L_a}$  : Stock de sécurité de modèle  $(Q, r)$  via une demande d'achat.
- $S_s(Q, r)_{L_b}$  : Stock de sécurité de modèle  $(Q, r)$  via un dossier de consultation fournisseur.
- $S_s(Q, r)_{L_c}$  : Stock de sécurité de modèle  $(Q, r)$  via un dossier d'Appel d'Offres.

TABLE 3.4 – Stock de sécurité du modèle  $(Q, r)$

Article	Classe	Alpha	$S_s(Q, r)_{L_a}$	$S_s(Q, r)_{L_b}$	$S_s(Q, r)_{L_c}$
1	AY	0,95	9 article	11 article	13 article
2	AX	0,97	4 article	6 article	6 article
3	AX	0,97	3 article	3 article	4 article
4	AX	0,97	3 article	4 article	5 article
5	AX	0,97	3 article	4 article	4 article
6	AX	0,97	4 article	6 article	7 article
7	AX	0,97	3 article	4 article	4 article
8	AX	0,97	3 article	4 article	4 article
9	AX	0,97	2 article	3 article	3 article
10	AX	0,97	3 article	4 article	4 article
Suite à la page suivante					

**Table 3.4 – suite de la page précédente**

Article	Classe	Alpha	$S_s(Q, r) L_a$	$S_s(Q, r) L_b$	$S_s(Q, r) L_c$
11	AX	0,97	3 article	4 article	4 article
12	AY	0,97	3 article	4 article	4 article
13	AX	0,97	3 article	3 article	4 article
14	AX	0,97	3 article	3 article	4 article
15	AX	0,97	2 article	3 article	3 article
16	AX	0,97	2 article	2 article	3 article
17	AX	0,97	2 article	2 article	3 article
18	AX	0,97	2 article	3 article	3 article
19	AY	0,95	3 article	3 article	4 article
20	AY	0,95	3 article	4 article	5 article
21	AX	0,97	2 article	2 article	3 article
22	AX	0,97	2 article	3 article	3 article
23	AY	0,95	2 article	3 article	3 article
24	AY	0,95	3 article	4 article	4 article
25	AY	0,95	2 article	2 article	3 article
26	AY	0,95	2 article	3 article	3 article
27	AX	0,97	2 article	2 article	3 article
28	AY	0,95	2 article	3 article	3 article
29	AX	0,97	2 article	2 article	2 article
30	AY	0,95	2 article	3 article	3 article
31	AX	0,97	2 article	2 article	3 article
32	AX	0,97	2 article	2 article	3 article
33	AY	0,95	2 article	3 article	3 article
34	AY	0,95	3 article	3 article	4 article
35	AY	0,95	2 article	3 article	3 article
36	AX	0,97	2 article	2 article	3 article
37	AY	0,95	2 article	3 article	3 article
38	AY	0,95	3 article	3 article	4 article
39	AY	0,95	2 article	3 article	3 article
40	AY	0,95	2 article	3 article	3 article
41	AZ	0,93	3 article	4 article	4 article
42	AY	0,95	3 article	3 article	4 article
43	AY	0,95	3 article	3 article	4 article
44	BY	0,90	2 article	2 article	2 article
Suite à la page suivante					

**Table 3.4 – suite de la page précédente**

Article	Classe	Alpha	$Ss(Q, r) L_a$	$Ss(Q, r) L_b$	$Ss(Q, r) L_c$
45	BZ	0,89	2 article	3 article	3 article
46	BY	0,90	2 article	2 article	2 article
47	BY	0,90	2 article	2 article	2 article
48	BY	0,90	2 article	2 article	2 article
49	BY	0,90	2 article	3 article	3 article
50	BY	0,90	2 article	2 article	2 article
51	BY	0,90	2 article	2 article	2 article
52	BY	0,90	2 article	2 article	2 article
53	BY	0,90	2 article	2 article	2 article
54	BX	0,91	1 article	1 article	2 article
55	BY	0,91	2 article	2 article	2 article
56	BY	0,91	2 article	2 article	3 article
57	BZ	0,89	3 article	4 article	5 article
58	BX	0,91	1 article	1 article	2 article
59	BX	0,91	1 article	1 article	2 article
60	BX	0,91	1 article	2 article	2 article
61	BZ	0,89	3 article	4 article	4 article

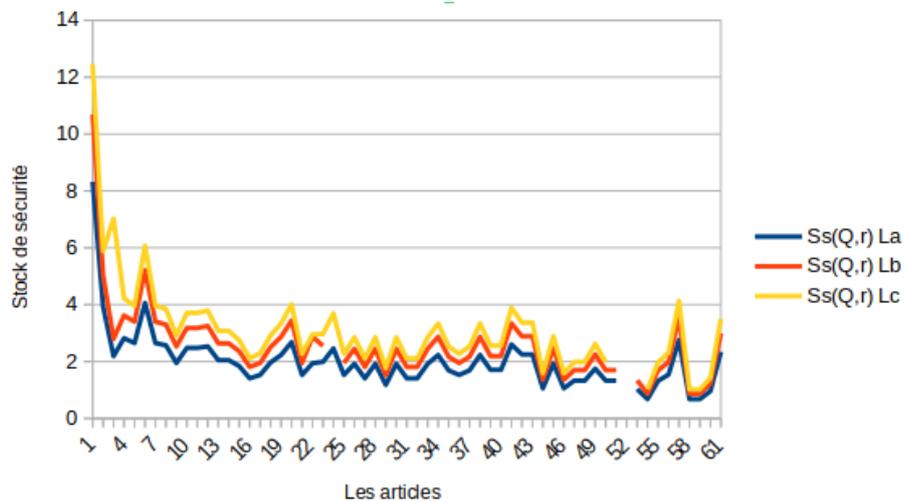


FIGURE 3.3 – Stock de sécurité de modèle (Q,r).

L'interprétation des résultats obtenus pour les niveaux de stock de sécurité selon les différentes classes et méthodes de passation de commande est résumée dans le tableau 3.5.

TABLE 3.5 – Interprétation des résultats de l'analyse des niveaux de stock de sécurité

Classe	Articles	Description	Interprétation
AX	6	Faible couverture de stock, faible risque de rupture	Les niveaux de stock de sécurité sont relativement similaires pour les trois méthodes de passation de commande, ce qui peut indiquer une certaine stabilité dans la demande ou les délais de réapprovisionnement pour cette classe d'articles. Par exemple, l'article 6 a un stock de sécurité de 4 articles via une demande d'achat, 6 articles via un dossier de consultation fournisseur, et 7 articles via un dossier d'appel d'offres.
AY	20	Couverture de stock moyenne, risque maîtrisé	Les niveaux de stock de sécurité varient légèrement entre les méthodes, mais restent généralement élevés, suggérant une demande plus variable ou des délais de réapprovisionnement plus longs. Par exemple, l'article 20 a un stock de sécurité de 3 articles via une demande d'achat, 4 articles via un dossier de consultation fournisseur, et 5 articles via un dossier d'appel d'offres.
AZ	41	Forte couverture de stock, risque de rupture élevé	Les niveaux de stock de sécurité sont plus élevés pour cette classe par rapport aux classes AX et AY, ce qui peut indiquer que les articles de la classe AZ sont soit plus coûteux, soit sujets à une demande plus volatile ou à des délais de réapprovisionnement plus longs. Par exemple, l'article 41 a un stock de sécurité de 3 articles via une demande d'achat, et 4 articles via les autres méthodes.

TABLE 3.5 – (Suite)

Classe	Articles	Description	Interprétation
BX	54	Faible couverture de stock, faible risque de rupture	Les niveaux de stock de sécurité pour cette classe semblent être plus bas que pour les classes AX, AY, et AZ, ce qui peut indiquer une demande plus stable ou des délais de réapprovisionnement plus courts. l'article 54 a un stocks de sécurité de 2 articles Via un dossier d'Appel d'Offres , et 1 articles via les autres méthodes.
BY	49	Couverture de stock moyenne, risque maîtrisé	Les niveaux de stock de sécurité sont similaires à ceux de la classe BX mais légèrement plus élevés, suggérant des différences mineures dans la demande ou les délais de réapprovisionnement. Par exemple, l'article 49 a un stock de sécurité de 2 articles via une demande d'achat, et 3 articles via les autres méthodes.
BZ	45	Forte couverture de stock, risque de rupture élevé	Les niveaux de stock de sécurité sont plus élevés pour la classe BZ par rapport aux classes BX et BY, mais légèrement inférieurs à ceux de la classe AZ, ce qui peut indiquer une demande plus variable ou des délais de réapprovisionnement plus longs. Par exemple, l'article 45 a un stock de sécurité de 2 articles via une demande d'achat, et 3 articles via les autres méthodes.

### Calcul du Point de Commande (r)

Les résultats obtenus en appliquant la formule 2.5, présentée dans le chapitre 2, sont illustrés dans le tableau 3.6.

TABLE 3.6 – Point de Commande du modèle (Q,r)

Article	Classe	Alpha	Point de Com- mande $L_a$	Point de Com- mande $L_b$	Point de Com- mande $L_c$
1	AY	0,95	15 articles	21 articles	27 articles
2	AX	0,97	10 articles	15 articles	20 articles
3	AX	0,97	8 articles	11 articles	15 articles
4	AX	0,97	8 articles	12 articles	15 articles
5	AX	0,97	7 articles	10 articles	13 articles
6	AX	0,97	9 articles	13 articles	16 articles
7	AX	0,97	7 articles	10 articles	13 articles
8	AX	0,97	7 articles	10 articles	12 articles
9	AX	0,97	6 articles	9 articles	11 articles
10	AX	0,97	6 articles	9 articles	11 articles
11	AX	0,97	6 articles	9 articles	11 articles
12	AY	0,97	6 articles	9 articles	11 articles
13	AX	0,97	6 articles	8 articles	10 articles
14	AX	0,97	6 articles	8 articles	10 articles
15	AX	0,97	5 articles	8 articles	10 articles
16	AX	0,97	5 articles	7 articles	9 articles
17	AX	0,97	5 articles	7 articles	9 articles
18	AX	0,97	5 articles	7 articles	9 articles
19	AY	0,95	5 articles	7 articles	9 articles
20	AY	0,95	6 articles	8 articles	10 articles
21	AX	0,97	4 articles	6 articles	8 articles
22	AX	0,97	5 articles	7 articles	9 articles
23	AY	0,95	5 articles	7 articles	9 articles
24	AY	0,95	5 articles	8 articles	9 articles
25	AY	0,95	4 articles	6 articles	8 articles
26	AY	0,95	5 articles	7 articles	8 articles
27	AX	0,97	4 articles	6 articles	7 articles
28	AY	0,95	5 articles	7 articles	8 articles
29	AX	0,97	4 articles	5 articles	7 articles
30	AY	0,95	4 articles	6 articles	7 articles
31	AX	0,97	4 articles	5 articles	7 articles
32	AX	0,97	4 articles	5 articles	7 articles
33	AY	0,95	4 articles	6 articles	7 articles
34	AY	0,95	4 articles	6 articles	8 articles

TABLE 3.6 – (Suite)

Article	Classe	Alpha	Point de Com- mande $L_a$	Point de Com- mande $L_b$	Point de Com- mande $L_c$
35	AY	0,95	4 articles	5 articles	7 articles
36	AX	0,97	4 articles	5 articles	7 articles
37	AY	0,95	4 articles	5 articles	7 articles
38	AY	0,95	4 articles	6 articles	8 articles
39	AY	0,95	4 articles	5 articles	6 articles
40	AY	0,95	4 articles	5 articles	6 articles
41	AZ	0,93	5 articles	6 articles	8 articles
42	AY	0,95	4 articles	6 articles	7 articles
43	AY	0,95	4 articles	6 articles	7 articles
44	BY	0,90	3 articles	4 articles	5 articles
45	BZ	0,89	4 articles	5 articles	7 articles
46	BY	0,90	3 articles	4 articles	5 articles
47	BY	0,90	3 articles	5 articles	6 articles
48	BY	0,90	3 articles	5 articles	6 articles
49	BY	0,90	4 articles	5 articles	6 articles
50	BY	0,90	3 articles	5 articles	6 articles
51	BY	0,90	3 articles	5 articles	6 articles
52	BY	0,90	3 articles	5 articles	6 articles
53	BY	0,90	3 articles	4 articles	5 articles
54	BX	0,91	3 articles	4 articles	5 articles
55	BY	0,91	3 articles	4 articles	5 articles
56	BY	0,91	3 articles	5 articles	6 articles
57	BZ	0,89	5 articles	6 articles	8 articles
58	BX	0,91	4 articles	4 articles	5 articles
59	BX	0,91	3 articles	4 articles	5 articles
60	BX	0,91	3 articles	4 articles	5 articles
61	BZ	0,89	4 articles	5 articles	7 articles

Les résultats suivants fournissent une analyse détaillée des points de commande en fonction des classes d'articles et des délais de réapprovisionnement.

TABLE 3.7 – Interprétation des résultats des points de commande

Classe	Articles	Description	Interprétation
AX	2	Augmentation progressive des points de commande avec l'augmentation des délais de réapprovisionnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Via une demande d'achat <math>L_a</math> : 10 articles.</li> <li>— Via un dossier de consultation fournisseur <math>L_b</math> : 15 articles.</li> <li>— Via un dossier d'appel d'offres <math>L_c</math> : 20 articles.</li> </ul> <p>Cela reflète une demande constante et une augmentation proportionnelle des besoins en stock de sécurité avec des délais de réapprovisionnement plus longs.</p>
AY	1	Augmentation des points de commande avec l'augmentation des délais	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Via une demande d'achat <math>L_a</math> : 15 articles.</li> <li>— Via un dossier de consultation fournisseur <math>L_b</math> : 21 articles.</li> <li>— Via un dossier d'appel d'offres <math>L_c</math> : 27 articles.</li> </ul> <p>Cette tendance montre une demande plus élevée et plus variable, nécessitant des niveaux de stock de sécurité plus élevés.</p>
AZ	41	Points de commande élevés, indiquant une demande variable et des délais de réapprovisionnement plus longs	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Via une demande d'achat <math>L_a</math> : 5 articles.</li> <li>— Via un dossier de consultation fournisseur <math>L_b</math> : 6 articles.</li> <li>— Via un dossier d'appel d'offres <math>L_c</math> : 8 articles.</li> </ul>

TABLE 3.7 – (Suite)

Classe	Articles	Description	Interprétation
BX et BY	44 (BY)	Points de commande relativement bas par rapport aux classes AX et AY, mais augmentent également avec les délais	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Via une demande d'achat <math>L_a</math> : 3 articles.</li> <li>— Via un dossier de consultation fournisseur <math>L_b</math> : 4 articles.</li> <li>— Via un dossier d'appel d'offres <math>L_c</math> : 5 articles.</li> </ul> <p>Cela indique une demande plus stable et des délais de réapprovisionnement plus courts.</p>
BZ	57	Points de commande relativement élevés, indiquant une demande variable et des délais de réapprovisionnement plus longs	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Via une demande d'achat <math>L_a</math> : 5 articles.</li> <li>— Via un dossier de consultation fournisseur <math>L_b</math> : 6 articles.</li> <li>— Via un dossier d'appel d'offres <math>L_c</math> : 8 articles.</li> </ul> <p>Cela reflète une demande constante et une augmentation proportionnelle des besoins en stock de sécurité avec des délais de réapprovisionnement plus longs.</p>

Les points de commande pour chaque article augmentent généralement avec l'allongement des délais de réapprovisionnement. Les classes d'articles avec des valeurs plus élevées (AY, AZ, BZ) montrent une plus grande variabilité et une demande plus élevée, nécessitant des niveaux de stock de sécurité plus importants. Les classes avec des valeurs plus basses (BX, BY) montrent une demande plus stable et des besoins en stock de sécurité moins importants. Cette analyse aide à ajuster les niveaux de stock de sécurité et les points de commande en fonction des caractéristiques spécifiques des articles et des délais de réapprovisionnement, minimisant ainsi les risques de ruptures de stock tout en optimisant les niveaux de stock.

### 3.2.2.2 Modèle à Révision Périodique ( $R, T$ )

#### Application et Calcul des Stocks de Sécurité

La méthode de recomplètement repose sur la détermination d'un niveau optimal de stock pour chaque produit. À intervalles réguliers, le responsable des stocks évalue les niveaux de stock

actuels et commande les quantités nécessaires pour atteindre le niveau requis. Cette méthode est particulièrement adaptée pour les produits qui répondent aux critères suivants :

- **Consommation régulière** : Les articles dont la demande est stable et prévisible.
- **Coûteux, périssables, encombrants ou obsolètes** : Les articles ayant une valeur élevée, une durée de conservation limitée, qui occupent beaucoup d'espace ou qui deviennent rapidement obsolètes.

Les résultats obtenus, en appliquant la formule 2.9, sont illustrés dans le tableau 3.8 et la figure 3.4.

Où :

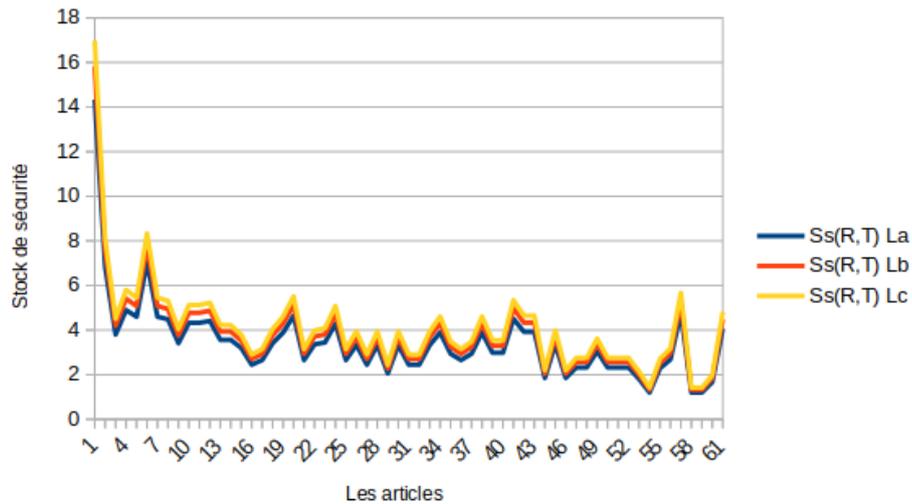
- $S_s(R, T)L_a$  : Stock de sécurité de modèle  $(R, T)$  via une demande d'achat.
- $S_s(R, T)L_b$  : Stock de sécurité de modèle  $(R, T)$  via un dossier de consultation fournisseur.
- $S_s(R, T)L_c$  : Stock de sécurité de modèle  $(R, T)$  via un dossier d'Appel d'Offres.

TABLE 3.8 – Stock de sécurité de modèle  $(R, T)$

Article	Classe	Alpha	$S_s(R, T) L_a$	$S_s(R, T) L_b$	$S_s(R, T) L_c$
1	AY	0,95	15 articles	16 articles	17 articles
2	AX	0,97	7 articles	8 articles	9 articles
3	AX	0,97	4 articles	5 articles	5 articles
4	AX	0,97	5 articles	6 articles	6 articles
5	AX	0,97	5 articles	6 articles	6 articles
6	AX	0,97	8 articles	8 articles	9 articles
7	AX	0,97	5 articles	6 articles	6 articles
8	AX	0,97	5 articles	6 articles	6 articles
9	AX	0,97	4 articles	4 articles	5 articles
10	AX	0,97	5 articles	5 articles	6 articles
11	AX	0,97	5 articles	5 articles	6 articles
12	AY	0,97	5 articles	5 articles	6 articles
13	AX	0,97	4 articles	4 articles	5 articles
14	AX	0,97	4 articles	4 articles	5 articles
15	AX	0,97	4 articles	4 articles	4 articles
16	AX	0,97	3 articles	3 articles	3 articles
17	AX	0,97	3 articles	3 articles	4 articles
18	AX	0,97	4 articles	4 articles	5 articles
19	AY	0,95	4 articles	5 articles	5 articles
20	AY	0,95	5 articles	6 articles	6 articles
21	AX	0,97	3 articles	3 articles	4 articles
22	AX	0,97	4 articles	4 articles	4 articles
23	AY	0,95	4 articles	4 articles	5 articles

TABLE 3.8 – (Suite)

Article	Classe	Alpha	$S_s(R, T) L_a$	$S_s(R, T) L_b$	$S_s(R, T) L_c$
24	AY	0,95	5 articles	5 articles	6 articles
25	AY	0,95	3 articles	3 articles	4 articles
26	AY	0,95	4 articles	4 articles	4 articles
27	AX	0,97	3 articles	3 articles	3 articles
28	AY	0,95	4 articles	4 articles	4 articles
29	AX	0,97	3 articles	3 articles	3 articles
30	AY	0,95	4 articles	4 articles	4 articles
36	AX	0,97	3 articles	3 articles	4 articles
37	AY	0,95	3 articles	4 articles	4 articles
38	AY	0,95	4 articles	5 articles	5 articles
39	AY	0,95	3 articles	4 articles	4 articles
40	AY	0,95	3 articles	4 articles	4 articles
41	AZ	0,93	5 articles	5 articles	6 articles
42	AY	0,95	4 articles	5 articles	5 articles
43	AY	0,95	4 articles	5 articles	5 articles
44	BY	0,90	2 articles	3 articles	3 articles
45	BZ	0,89	4 articles	4 articles	4 articles
46	BY	0,90	2 articles	3 articles	3 articles
47	BY	0,90	3 articles	3 articles	3 articles
48	BY	0,90	3 articles	3 articles	3 articles
49	BY	0,90	4 articles	4 articles	4 articles
50	BY	0,90	3 articles	3 articles	3 articles
51	BY	0,90	3 articles	3 articles	3 articles
52	BY	0,90	3 articles	3 articles	3 articles
53	BY	0,90	2 articles	2 articles	3 articles
54	BX	0,91	2 articles	2 articles	2 articles
55	BY	0,91	3 articles	3 articles	3 articles
56	BY	0,91	3 articles	3 articles	4 articles
57	BZ	0,89	5 articles	6 articles	6 articles
58	BX	0,91	2 articles	2 articles	2 articles
59	BX	0,91	2 articles	2 articles	2 articles
60	BX	0,91	2 articles	2 articles	2 articles
61	BZ	0,89	5 articles	5 articles	5 articles

FIGURE 3.4 – Stock de sécurité de modèle  $(R, T)$ .

Les résultats montrent les valeurs de stock de sécurité pour différentes classes d'articles et divers délais de réapprovisionnement. Voici une interprétation détaillée de ces résultats :

**Classe AX :**

- Les valeurs de stock de sécurité varient entre 3 et 8 articles selon les délais de réapprovisionnement  $(L_a, L_b, L_c)$ .
- Les valeurs sont :
  - Via une demande d'achat  $(L_a)$  : 3 à 8 articles.
  - Via un dossier de consultation fournisseur  $(L_b)$  : 3 à 8 articles.
  - Via un dossier d'Appel d'Offres  $(L_c)$  : 3 à 9 articles.
- Ces variations montrent que le stock de sécurité augmente avec l'allongement du délai de réapprovisionnement, ce qui est logique car un délai plus long nécessite une plus grande protection contre les ruptures de stock.

**Classe AY :**

- Les valeurs de stock de sécurité varient entre 4 et 15 articles.
- Les valeurs sont :
  - Via une demande d'achat  $(L_a)$  : 4 à 15 articles.
  - Via un dossier de consultation fournisseur  $(L_b)$  : 4 à 16 articles.
  - Via un dossier d'Appel d'Offres  $(L_c)$  : 4 à 17 articles.
- Les niveaux de stock de sécurité sont plus élevés pour cette classe par rapport à AX, ce qui indique une demande plus variable ou des délais de réapprovisionnement plus longs.

**Classe AZ :**

- Les valeurs de stock de sécurité sont constantes pour tous les délais.

- Les valeurs sont :
  - Via une demande d'achat ( $L_a$ ) : 5 articles.
  - Via un dossier de consultation fournisseur ( $L_b$ ) : 5 articles.
  - Via un dossier d'Appel d'Offres ( $L_c$ ) : 5 articles.
- Cela confirme la stabilité de la demande et des délais de réapprovisionnement pour les articles de classe AZ.

**Classe BX :**

- Les valeurs de stock de sécurité varient entre 2 et 4 articles.
- Les valeurs sont :
  - Via une demande d'achat ( $L_a$ ) : 2 à 3 articles.
  - Via un dossier de consultation fournisseur ( $L_b$ ) : 2 à 4 articles.
  - Via un dossier d'Appel d'Offres ( $L_c$ ) : 2 à 5 articles.
- Les valeurs relativement basses indiquent une demande stable et des délais de réapprovisionnement courts.

**Classe BY :**

- Les valeurs de stock de sécurité varient entre 3 et 4 articles.
- Les valeurs sont :
  - Via une demande d'achat ( $L_a$ ) : 3 à 4 articles.
  - Via un dossier de consultation fournisseur ( $L_b$ ) : 3 à 5 articles.
  - Via un dossier d'Appel d'Offres ( $L_c$ ) : 3 à 6 articles.
- Les valeurs sont légèrement plus élevées que la classe BX, indiquant peut-être une demande légèrement moins prévisible.

**Classe BZ :**

- Les valeurs de stock de sécurité varient entre 4 et 5 articles.
- Les valeurs sont :
  - Via une demande d'achat ( $L_a$ ) : 4 à 5 articles.
  - Via un dossier de consultation fournisseur ( $L_b$ ) : 5 articles.
  - Via un dossier d'Appel d'Offres ( $L_c$ ) : 5 à 6 articles.
- Les valeurs sont plus élevées que BX et BY, suggérant une plus grande incertitude dans la demande ou les délais.

**Calcul du niveau de reapprovisionnement**

Les résultats obtenus, en appliquant la formule 2.8, sont illustrés dans le tableau 3.9.

TABLE 3.9 – Niveau de remplètement de modèle ( $R, T$ )

Article	Classe	Alpha	Niveau de remplètement $L_a$	Niveau de remplètement $L_b$	Niveau de remplètement $L_c$
1	AY	0,95	33 article	39 article	44 article
2	AX	0,97	25 article	30 article	34 article
3	AX	0,97	19 article	22 article	25 article
4	AX	0,97	19 article	23 article	26 article
5	AX	0,97	17 article	20 article	23 article
6	AX	0,97	21 article	24 article	27 article
7	AX	0,97	17 article	20 article	23 article
8	AX	0,97	15 article	18 article	21 article
9	AX	0,97	14 article	17 article	19 article
10	AX	0,97	14 article	17 article	19 article
11	AX	0,97	14 article	17 article	19 article
12	AY	0,97	14 article	16 article	18 article
13	AX	0,97	13 article	15 article	17 article
14	AX	0,97	13 article	15 article	17 article
15	AX	0,97	12 article	14 article	16 article
16	AX	0,97	11 article	14 article	15 article
17	AX	0,97	11 article	13 article	15 article
18	AX	0,97	11 article	13 article	15 article
19	AY	0,95	11 article	13 article	15 article
20	AY	0,95	12 article	14 article	16 article
21	AX	0,97	10 article	12 article	14 article
22	AX	0,97	11 article	13 article	14 article
23	AY	0,95	11 article	13 article	14 article
24	AY	0,95	12 article	14 article	15 article
25	AY	0,95	10 article	12 article	13 article
26	AY	0,95	10 article	12 article	14 article
27	AX	0,97	9 article	11 article	13 article
28	AY	0,95	10 article	12 article	14 article
29	AX	0,97	9 article	10 article	11 article
30	AY	0,95	9 article	11 article	12 article
31	AX	0,97	8 article	10 article	11 article
32	AX	0,97	8 article	10 article	11 article
33	AY	0,95	9 article	11 article	12 article
34	AY	0,95	9 article	11 article	12 article

TABLE 3.9 – (Suite)

Article	Classe	Alpha	Niveau de recomplètement $L_a$	Niveau de recomplètement $L_b$	Niveau de recomplètement $L_c$
35	AY	0,95	8 article	10 article	11 article
36	AX	0,97	8 article	10 article	11 article
37	AY	0,95	8 article	10 article	11 article
38	AY	0,95	9 article	11 article	12 article
39	AY	0,95	8 article	9 article	10 article
40	AY	0,95	8 article	9 article	10 article
41	AZ	0,93	10 article	11 article	12 article
42	AY	0,95	9 article	10 article	12 article
43	AY	0,95	9 article	10 article	12 article
44	BY	0,90	7 article	8 article	9 article
45	BZ	0,89	8 article	10 article	11 article
46	BY	0,90	7 article	8 article	9 article
47	BY	0,90	7 article	9 article	10 article
48	BY	0,90	7 article	9 article	10 article
49	BY	0,90	8 article	9 article	10 article
50	BY	0,90	7 article	9 article	10 article
51	BY	0,90	7 article	9 article	10 article
52	BY	0,90	7 article	9 article	10 article
53	BY	0,90	6 article	7 article	8 article
54	BX	0,91	6 article	7 article	8 article
55	BY	0,91	7 article	8 article	9 article
56	BY	0,91	7 article	8 article	9 article
57	BZ	0,89	9 article	11 article	12 article
58	BX	0,91	6 article	7 article	8 article
59	BX	0,91	6 article	7 article	8 article
60	BX	0,91	6 article	7 article	7 article
61	BZ	0,89	8 article	9 article	10 article

Les résultats du tableau 3.9 montrent les niveaux de remplissage pour différents articles, classés selon leurs classes (AX, AY, AZ, BX, BY, BZ) et leurs coefficients de service (Alpha). Le niveau de remplissage est donné pour trois niveaux de service différents ( $L_a, L_b, L_c$ ), qui correspondent à différents délais de livraison déjà expliqués précédemment.

Voici une interprétation de ces résultats :

#### 1. Classe AX

— **Articles** : 2 à 11, 13 à 17, 21 à 22, 27, 29, 31 à 32, 36.

- **Alpha** : 0.97
- **Niveaux de reemplètement** :
  - $L_a$  : 25 à 9 articles.
  - $L_b$  : 30 à 10 articles.
  - $L_c$  : 34 à 11 articles.
- **Interprétation** : Les articles de la classe AX nécessitent des niveaux de reemplètement relativement élevés, reflétant une demande stable et importante. Le niveau de service est élevé (Alpha 0,97), ce qui signifie qu'il y a peu de marge pour les ruptures de stock. Les niveaux de reemplètement augmentent avec la complexité et la durée du processus d'approvisionnement ( $L_a L_c$ ).

## 2. Classe AY

- **Articles** : 1, 12, 19 à 20, 23 à 26, 28, 30, 33 à 35, 37 à 40, 42 à 43.
- **Alpha** : 0,95
- **Niveaux de reemplètement** :
  - $L_a$  : 33 à 8 articles.
  - $L_b$  : 39 à 9 articles.
  - $L_c$  : 44 à 10 articles.
- **Interprétation** : Les articles de la classe AY ont des niveaux de reemplètement légèrement inférieurs à ceux de la classe AX, avec un Alpha de 0,95. Cela indique une plus grande tolérance pour les ruptures de stock par rapport à la classe AX. La tendance montre une augmentation des niveaux de reemplètement avec des processus d'approvisionnement plus longs ( $L_a L_c$ ).

## 3. Classe AZ

- **Article** : 41.
- **Alpha** : 0.93
- **Niveaux de reemplètement** :
  - $L_a$  : 10 articles.
  - $L_b$  : 11 articles.
  - $L_c$  : 12 articles.
- **Interprétation** : La classe AZ contient moins d'articles et a un Alpha de 0,93, indiquant une plus grande tolérance pour les ruptures de stock. Les niveaux de reemplètement sont constants et relativement bas, ce qui suggère une demande plus faible ou moins critique par rapport aux classes AX et AY. Les niveaux augmentent légèrement avec des processus d'approvisionnement plus longs.

## 4. Classe BX

- **Articles** : 54, 58 à 60.
- **Alpha** : 0.91
- **Niveaux de reemplètement** :

- $L_a$  : 6 articles.
- $L_b$  : 7 articles.
- $L_c$  : 8 articles.
- **Interprétation** : Les articles de la classe BX ont les niveaux de reapprovisionnement les plus bas parmi les classes mentionnées précédemment, avec un Alpha de 0,91. Cela indique une tolérance plus grande pour les ruptures de stock. Les articles sont moins critiques ou ont une demande plus faible. Les niveaux augmentent légèrement avec des processus d'approvisionnement plus longs.

#### 5. Classe BY

- **Articles** : 44, 46 à 52, 55 à 56.
- **Alpha** : 0.90
- **Niveaux de reapprovisionnement** :
  - $L_a$  : 7 articles.
  - $L_b$  : 8 à 9 articles.
  - $L_c$  : 9 à 10 articles.
- **Interprétation** : Les articles de la classe BY ont un Alpha de 0,90, indiquant une tolérance similaire à celle de la classe BX. Les niveaux de reapprovisionnement sont généralement bas, avec une exception apparente (probablement une erreur dans le tableau). Cela suggère que ces articles sont également moins critiques. Les niveaux augmentent légèrement avec des processus d'approvisionnement plus longs.

#### 6. Classe BZ

- **Articles** : 45, 57, 61.
- **Alpha** : 0.89
- **Niveaux de reapprovisionnement** :
  - $L_a$  : 8 à 9 articles.
  - $L_b$  : 9 à 11 articles.
  - $L_c$  : 10 à 12 articles.
- **Interprétation** : Les articles de la classe BZ ont les niveaux de service les plus bas (Alpha 0,89), ce qui signifie qu'ils peuvent supporter les ruptures de stock les plus élevées parmi toutes les classes. Les niveaux de reapprovisionnement sont également faibles, reflétant une demande moindre ou une importance moindre pour ces articles. Les niveaux augmentent légèrement avec des processus d'approvisionnement plus longs.

L'interprétation des niveaux de reapprovisionnement par classe montre que les articles des classes AX et AY nécessitent des niveaux de reapprovisionnement plus élevés en raison de leurs niveaux de service plus élevés et de leur importance. Les classes AZ, BX, BY, et BZ ont des niveaux de service plus bas, ce qui se traduit par des niveaux de reapprovisionnement plus bas. Les niveaux de reapprovisionnement augmentent avec la complexité et la durée du processus d'approvisionnement ( $L_a, L_b, L_c$ ), ce qui est attendu car des processus plus longs nécessitent des stocks de sécurité

plus importants pour couvrir les délais supplémentaires.

### 3.3 Choix du Modèle de Gestion des Stocks

Après avoir modélisé les stocks et classé les articles selon leur importance et leur variabilité de demande, il est crucial de choisir le modèle de gestion des stocks le plus approprié. Cette section discute des modèles  $(Q, r)$  et  $(R, T)$  et explique comment nous déterminons le modèle optimal pour chaque classe d'articles.

Le choix du modèle de gestion de stock est basé sur la valeur de consommation annuelle et la variabilité de la demande pour chaque article. Le modèle  $(Q, r)$  est recommandé pour les articles avec une demande stable, tandis que le modèle  $(R, T)$  est préféré pour ceux avec une demande variable.

1. **Classe AX (Modèle  $(Q, r)$ )**

- **Raison** : Les articles ayant une haute valeur de consommation et une faible variabilité de la demande bénéficient du modèle  $(Q, r)$  car il minimise les coûts de stockage tout en assurant une disponibilité constante des articles.

2. **Classe AY et AZ (Modèle  $(R, T)$ )**

- **Raison** : Les articles avec une haute valeur de consommation mais une variabilité modérée à forte de la demande nécessitent des ajustements réguliers pour éviter les ruptures de stock et gérer les fluctuations de la demande.

3. **Classe BX (Modèle  $(Q, r)$ )**

- **Raison** : Les articles avec une valeur moyenne de consommation et une faible variabilité de la demande peuvent être gérés efficacement avec le modèle  $(Q, r)$ , réduisant ainsi les coûts de gestion.

4. **Classe BY et BZ (Modèle  $(R, T)$ )**

- **Raison** : Les articles ayant une valeur moyenne de consommation mais une variabilité modérée à forte de la demande nécessitent des ajustements réguliers pour maintenir les niveaux de stock appropriés.

### 3.4 Calcul des Coûts

Dans cette section, nous calculerons les coûts associés aux modèles de gestion des stocks que nous avons étudiés dans ce travail.

#### 3.4.1 Coûts avec le Modèle $(Q, r)$

Les formules utilisées pour déterminer la quantité de commande et les coûts associés au modèle  $(Q, r)$  sont présentées en détail dans le chapitre 2, notamment aux équations 2.4 et 2.7. Les

résultats obtenus sont synthétisés dans le tableau 3.10.

Voici l'ensemble des données d'entres pour les calculs :

- $C_p = 108365,166$  DA
- $C_s = 640$  DA
- $h = 1289,998$  DA
- $\lambda_j$  je donner juste pour les 5 première article réspictevement :  $\lambda_1 = 40, \lambda_2 = 37, \lambda_3 = 34, \lambda_4 = 30, \lambda_5 = 29.$

TABLE 3.10 – Les coûts avec le modèle  $(Q, r)$

Article	Classe	Alpha	Quantité de commande ( $Q$ )	$C_T(Q, r)$ Vai $L_a$	$C_T(Q, r)$ Vai $L_b$	$C_T(Q, r)$ Vai $L_c$
1	AY	0,95	13 articles	2154184,433	2119901,588	3390832,092
2	AX	0,97	13 articles	281759,751	1766662,266	1389150,805
3	AX	0,97	12 articles	540667,780	1796327,179	1928068,731
4	AX	0,97	11 articles	1354844,611	1807140,872	2313387,209
5	AX	0,97	11 articles	5039444,963	6009923,477	5917921,931
6	AX	0,97	11 articles	526136,329	1927451,052	1087258,317
7	AX	0,97	11 articles	470469,613	1371428,402	1286007,151
8	AX	0,97	10 articles	1875125,379	3915911,656	2658227,324
9	AX	0,97	10 articles	1013704,281	2244226,524	1831411,806
10	AX	0,97	9 articles	334993,807	628429,468	573615,899
11	AX	0,97	9 articles	1832531,407	2125968,061	2071153,499
12	AY	0,97	9 articles	1274195,416	1266510,399	1713950,581
13	AX	0,97	9 articles	1149374,686	1946406,601	2239624,585
14	AX	0,97	9 articles	704330,447	1481181,078	1766974,628
15	AX	0,97	9 articles	267150,804	727064,760	583072,715
16	AX	0,97	9 articles	2314173,569	4340070,113	3205794,809
17	AX	0,97	9 articles	2085455,127	3277743,428	2995304,749
18	AX	0,97	9 articles	406070,767	2486980,514	2173272,872
19	AY	0,95	9 articles	2553292,553	2547149,645	4053613,052
20	AY	0,95	8 articles	364168,079	357155,767	1226202,478
21	AX	0,97	8 articles	827132,096	1224212,469	1154228,388
22	AX	0,97	8 articles	221762,500	683312,860	493716,036
23	AY	0,95	8 articles	808977,645	803714,743	1120584,798
24	AY	0,95	8 articles	252225,596	150078,747	650811,820
25	AY	0,95	8 articles	824730,360	1209289,629	1152098,395
26	AY	0,95	8 articles	1216729,498	1211637,973	1717470,072
27	AX	0,97	8 articles	2243874,055	2526372,719	4013646,058

TABLE 3.10 – (Suite)

Article	Classe	Alpha	Quantité de commande ( $Q$ )	$C_T(Q, r)$ Vai $L_a$	$C_T(Q, r)$ Vai $L_b$	$C_T(Q, r)$ Vai $L_c$
28	AY	0,95	8 articles	2042486,832	2037628,553	2526308,801
29	AX	0,97	8 articles	1137048,783	2163055,828	2680301,700
30	AY	0,95	7 articles	771896,264	767332,974	1035368,564
31	AX	0,97	7 articles	331166,128	1370244,361	969372,561
32	AX	0,97	7 articles	946191,688	1985269,921	1584398,121
33	AY	0,95	7 articles	1264989,991	1260465,029	1528499,684
34	AY	0,95	7 articles	889880,694	884544,039	1103788,698
35	AY	0,95	7 articles	3320675,812	3316622,886	4988892,406
36	AX	0,97	7 articles	328208,300	693090,017	1761577,798
37	AY	0,95	7 articles	365965,972	361913,046	2034182,566
38	AY	0,95	7 articles	405741,496	400631,527	610542,864
39	AY	0,95	7 articles	6624445,908	6620485,532	7120453,256
40	AY	0,95	7 articles	543575,020	539798,972	1016499,511
41	AZ	0,93	7 articles	1105919,415	1102778,022	1102123,691
42	AY	0,95	7 articles	367111,474	362230,806	770428,101
43	AY	0,95	7 articles	832684,974	827804,306	1236001,601
44	BY	0,90	7 articles	795370,877	788530,690	1365318,723
45	BZ	0,89	7 articles	1183990,133	1172538,384	1171593,083
46	BY	0,90	7 articles	1227769,977	1220929,790	1797717,823
47	BY	0,90	7 articles	526584,413	518201,222	1035046,683
48	BY	0,90	7 articles	290775,313	282392,122	799237,583
49	BY	0,90	7 articles	337437,767	326788,141	326073,382
50	BY	0,90	7 articles	1099617,313	1091234,122	1608079,583
51	BY	0,90	7 articles	168503,913	160120,722	676966,183
52	BY	0,90	7 articles	6736433,413	6728050,222	7244895,683
53	BY	0,90	7 articles	2475828,287	2469162,198	2834275,234
54	BX	0,91	7 articles	1035481,976	1882025,552	2727773,742
55	BY	0,91	7 articles	514478,267	506506,403	1490805,357
56	BY	0,91	7 articles	711868,058	702580,018	701962,675
57	BZ	0,89	7 articles	150839,489	136754,441	133717,005
58	BX	0,91	7 articles	929878,503	1785662,429	1099598,373
59	BX	0,91	7 articles	986032,903	1841816,829	1155752,773
60	BX	0,91	7 articles	3851984,804	3846294,515	4035532,334
61	BZ	0,89	7 articles	863094,547	851058,325	849164,401

### 3.4.2 Coûts avec le Modèle $(R, T)$

Les formules utilisées pour déterminer les coûts associés au modèle  $(R, T)$  sont présentées dans le chapitre 2, notamment dans les équations 2.10. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 3.11.

Voici l'ensemble des données d'entres pour les calculs :

- $C_p = 108365,166$  DA
- $C_s = 640$  DA
- $h = 1289,998$  DA
- $\lambda_j$  je donner juste pour les 5 première article réspictevement :  $\lambda_1 = 40, \lambda_2 = 37, \lambda_3 = 34, \lambda_4 = 30, \lambda_5 = 29.$
- $P = 5$  ans.
- $T = 2$  ans.

TABLE 3.11 – Les coûts avec le modèle  $(R, T)$

Article	Classe	Alpha	$C_T(R, T)$ Via $L_a$	$C_T(R, T)$ Via $L_b$	$C_T(R, T)$ Via $L_c$
1	AY	0,95	3570854,425	3861658,596	4058189,704
2	AX	0,97	675967,598	1695650,460	808764,003
3	AX	0,97	1935519,851	1197128,976	1565334,003
4	AX	0,97	2057242,176	1981035,342	2315053,659
5	AX	0,97	6116457,443	7529899,675	6442828,912
6	AX	0,97	1919087,475	2149939,676	1584583,216
7	AX	0,97	1547954,613	2961396,845	1874326,082
8	AX	0,97	2997394,870	2895965,600	3907271,834
9	AX	0,97	1460918,590	2937458,575	2031512,818
10	AX	0,97	2691735,783	1045767,137	1199579,690
11	AX	0,97	4189273,383	2543304,737	2697117,290
12	AY	0,97	1819216,470	1590835,166	2354547,572
13	AX	0,97	1572845,637	1423376,407	1631215,682
14	AX	0,97	1127953,717	978484,487	1186323,762
15	AX	0,97	549148,186	616818,438	1255769,617
16	AX	0,97	2712087,873	2794825,162	2681656,184
17	AX	0,97	3541877,889	3666132,837	4424474,350
18	AX	0,97	2229914,280	1220801,179	1058538,465
19	AY	0,95	3626218,711	2960167,828	3628169,540
20	AY	0,95	791550,717	1668236,364	690725,253
21	AX	0,97	1191991,203	1426128,430	3139329,603
22	AX	0,97	1582578,743	1640859,060	897106,168

TABLE 3.11 – (Suite)

Article	Classe	Alpha	$C_T(R, T)$ Via $L_a$	$C_T(R, T)$ Via $L_b$	$C_T(R, T)$ Via $L_c$
23	AY	0,95	1299335,583	1119570,543	1965430,799
24	AY	0,95	1147450,455	1389633,904	1364037,809
25	AY	0,95	1189505,853	1423643,080	3136844,253
26	AY	0,95	2524121,862	2753318,997	2335066,307
27	AX	0,97	4545715,427	2542071,084	3125581,758
28	AY	0,95	3350197,942	3579395,077	3161142,387
29	AX	0,97	2013609,403	1494812,689	3430239,816
30	AY	0,95	1324192,414	1383879,337	1287498,282
31	AX	0,97	885791,950	1297769,704	975266,317
32	AX	0,97	1500817,510	1912795,264	1590291,877
33	AY	0,95	1817323,534	1877010,457	1780629,402
34	AY	0,95	1299885,628	1397375,185	1473052,899
35	AY	0,95	4079309,657	4056288,140	3834833,601
36	AX	0,97	1821861,177	2069381,502	1418461,122
37	AY	0,95	1124599,817	1101578,300	880123,761
38	AY	0,95	816074,548	913564,105	989241,819
39	AY	0,95	6895714,498	7442217,272	8664424,799
40	AY	0,95	815130,368	1361633,142	2583840,669
41	AZ	0,93	2129229,739	2722666,665	3783307,477
42	AY	0,95	2137146,291	862464,235	1738799,768
43	AY	0,95	2602719,791	1328037,735	2204373,268
44	BY	0,90	2018546,623	1734265,615	1232766,308
45	BZ	0,89	2404381,843	2715342,585	3043727,514
46	BY	0,90	2450945,723	2166664,715	1665165,408
47	BY	0,90	1535305,959	1504305,626	1264207,431
48	BY	0,90	1299496,859	1268496,526	1028398,33
49	BY	0,90	769251,792	655454,891	2574245,333
50	BY	0,90	2108338,859	2077338,526	1837240,331
51	BY	0,90	1177225,459	1146225,126	906126,931
52	BY	0,90	7745154,959	7714154,626	7474056,431
53	BY	0,90	3278666,061	4460833,689	2807274,898
54	BX	0,91	1694716,161	1424858,248	1708647,345
55	BY	0,91	946015,761	1519771,968	2479680,693
56	BY	0,91	1046927,785	3067818,705	2214663,190
57	BZ	0,89	137757,635	429944,205	2339396,545

TABLE 3.11 – (Suite)

Article	Classe	Alpha	$C_T(R, T)$ Via $L_a$	$C_T(R, T)$ Via $L_b$	$C_T(R, T)$ Via $L_c$
58	BX	0,91	1589105,861	1319247,948	1603037,0450
59	BX	0,91	1645260,261	1375402,348	1659191,445
60	BX	0,91	5780879,893	4696147,217	6538333,0082
61	BZ	0,89	852915,934	2835941,226	2232828,600

### 3.4.3 Comparaison des coûts totaux de gestion

Le tableau 3.12 fournit une comparaison détaillée des coûts de gestion pour les modèles à point de commande  $(Q, r)$  et à périodicité de commande  $(R, T)$  appliqués aux différents articles étudiés.

TABLE 3.12 – Évaluation comparée des coûts de gestion des modèles

Article	Classe	Alpha	$C_T(R, T) - C_T(Q, r)$	$C_T(R, T) - C_T(Q, r)$	$C_T(R, T) - C_T(Q, r)$
			Via $L_a$	Via $L_b$	Via $L_c$
1	AY	0,95	1416669,992	1741757,007	667357,611
2	AX	0,97	394207,846	-71011,805	-580386,801
3	AX	0,97	1394852,071	-599198,203	-362734,728
4	AX	0,97	702397,564	173894,469	1666,450
5	AX	0,97	1077012,480	1519976,197	524906,980
6	AX	0,97	1392951,146	222488,623	497324,898
7	AX	0,97	1077484,999	1589968,442	588318,930
8	AX	0,97	1122269,491	-1019946,056	1249044,509
9	AX	0,97	447214,308	693232,051	200101,012
10	AX	0,97	2356741,976	417337,668	625963,790
11	AX	0,97	2356741,976	417336,675	625963,790
12	AY	0,97	1545021,053	324324,766	640596,991
13	AX	0,97	423470,950	-523030,193	-608408,903
14	AX	0,97	423623,270	-502696,590	-580650,865
15	AX	0,97	281997,381	-110246,322	672696,901
16	AX	0,97	397914,304	-1545244,950	-524138,624
17	AX	0,97	1456422,762	388389,409	1429169,601
18	AX	0,97	1823843,512	-1266179,334	-1114734,406
19	AY	0,95	1072926,157	413018,183	-425443,512
20	AY	0,95	427382,637	1311080,597	-535477,225
21	AX	0,97	364859,106	201915,961	1985101,214
22	AX	0,97	1360816,243	957546,199	403390,131

TABLE 3.12 – (Suite)

Article	Classe	Alpha	$C_T(R, T) - C_T(Q, r)$ Via $L_a$	$C_T(R, T) - C_T(Q, r)$ Via $L_b$	$C_T(R, T) - C_T(Q, r)$ Via $L_c$
23	AY	0,95	490357,937	315855,799	844846,0008
24	AY	0,95	895224,859	1239555,157	713225,988
25	AY	0,95	364775,493	214353,451	1984745,857
26	AY	0,95	1307392,363	1541681,023	617596,235
27	AX	0,97	2301841,372	15698,365	-888064,299
28	AY	0,95	1307711,110	1541766,523	634833,586
29	AX	0,97	876560,620	-668243,138	749938,115
30	AY	0,95	552296,149	616546,363	252129,718
31	AX	0,97	554625,822	-72474,656	5893,755
32	AX	0,97	554625,822	-72474,656	5893,755
33	AY	0,95	552333,542	616545,428	252129,718
34	AY	0,95	410004,933	512831,146	369264,201
35	AY	0,95	758633,845	739665,253	-1154058,805
36	AX	0,97	1493652,877	1376291,484	-343116,675
37	AY	0,95	758633,845	739665,253	-1154058,805
38	AY	0,95	410333,052	512932,578	378698,955
39	AY	0,95	271268,590	821731,740	1543971,542
40	AY	0,95	271555,347	821834,169	1567341,158
41	AZ	0,93	1023310,324	1619888,642	2681183,785
42	AY	0,95	1770034,817	500233,428	968371,667
43	AY	0,95	1770034,817	500233,428	968371,667
44	BY	0,90	1223175,745	945734,925	-132552,415
45	BZ	0,89	1220391,710	1542804,201	1872134,431
46	BY	0,90	1223175,745	945734,925	-132552,415
47	BY	0,90	1008721,545	986104,404	229160,747
48	BY	0,90	1008721,545	986104,404	229160,747
49	BY	0,90	431814,024	328666,750	2248171,950
50	BY	0,90	1008721,545	986104,404	229160,747
51	BY	0,90	1008721,545	986104,404	229160,747
52	BY	0,90	1008721,545	986104,404	229160,747
53	BY	0,90	802837,773	1991671,490	-27000,335
54	BX	0,91	659234,185	-457167,303	-1019126,397
55	BY	0,91	431537,494	1013265,565	988875,335
56	BY	0,91	335059,726	2365238,686	1512700,515

TABLE 3.12 – (Suite)

Article	Classe	Alpha	$C_T(R, T) - C_T(Q, r)$ Via $L_a$	$C_T(R, T) - C_T(Q, r)$ Via $L_b$	$C_T(R, T) - C_T(Q, r)$ Via $L_c$
57	BZ	0,89	-13081,854	293189,763	2205679,540
58	BX	0,91	659227,358	-466414,480	503438,672
59	BX	0,91	659227,358	-466414,480	503438,672
60	BX	0,91	1928895,088	849852,702	2502800,673
61	BZ	0,89	-10178,612	1984882,901	1383664,198

Les résultats obtenus mettent en évidence les variations de coûts entre ces deux modèles en fonction de trois délais distincts ( $L_a, L_b, L_c$ ). Voici une interprétation de ces résultats :

Interprétation des valeurs de la **Colonne** " $C_T(Q, r) - C_T(R, T)$ " :

1. Une **valeur positive** dans cette colonne signifie que le modèle  $(R, T)$  engendre des coûts plus élevés que le modèle  $(Q, r)$ .
2. Une **valeur négative** indique que le modèle  $(R, T)$  est moins coûteux par rapport au modèle  $(Q, r)$ .

Le tableau 3.13 présente une synthèse des politiques de gestion des stocks à adopter pour chaque article. Ces recommandations sont formulées en tenant compte des différents délais de réapprovisionnement ( $L_a, L_b, L_c$ ), de la classe de l'article, ainsi que de sa valeur alpha.

TABLE 3.13 – La politique adaptée à chaque modèle

Article	Classe	Alpha	Politique à adapter Via $L_a$	Politique à adapter Via $L_b$	Politique à adapter Via $L_c$
1	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
2	AX	0,97	$(Q, r)$	$(R, T)$	$(R, T)$
3	AX	0,97	$(Q, r)$	$(R, T)$	$(R, T)$
4	AX	0,97	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
5	AX	0,97	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
6	AX	0,97	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
7	AX	0,97	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
8	AX	0,97	$(Q, r)$	$(R, T)$	$(Q, r)$
9	AX	0,97	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
10	AX	0,97	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
11	AX	0,97	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
12	AY	0,97	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$

TABLE 3.13 – (Suite)

Article	Classe	Alpha	Politique à adapter Via $L_a$	Politique à adapter Via $L_b$	Politique à adapter Via $L_c$
13	AX	0,97	$(Q, r)$	$(R, T)$	$(R, T)$
14	AX	0,97	$(Q, r)$	$(R, T)$	$(R, T)$
15	AX	0,97	$(Q, r)$	$(R, T)$	$(Q, r)$
16	AX	0,97	$(Q, r)$	$(R, T)$	$(R, T)$
17	AX	0,97	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
18	AX	0,97	$(Q, r)$	$(R, T)$	$(R, T)$
19	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(R, T)$
20	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(R, T)$
21	AX	0,97	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
22	AX	0,97	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
23	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
24	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
25	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
26	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
27	AX	0,97	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(R, T)$
28	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
29	AX	0,97	$(Q, r)$	$(R, T)$	$(Q, r)$
30	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
31	AX	0,97	$(Q, r)$	$(R, T)$	$(Q, r)$
32	AX	0,97	$(Q, r)$	$(R, T)$	$(Q, r)$
33	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
34	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
35	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(R, T)$
36	AX	0,97	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(R, T)$
37	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(R, T)$
38	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
39	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
40	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
41	AZ	0,93	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
42	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
43	AY	0,95	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
44	BY	0,90	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(R, T)$
45	BZ	0,89	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
46	BY	0,90	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(R, T)$

TABLE 3.13 – (Suite)

Article	Classe	Alpha	Politique à adapter Via $L_a$	Politique à adapter Via $L_b$	Politique à adapter Via $L_c$
47	BY	0,90	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
48	BY	0,90	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
49	BY	0,90	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
50	BY	0,90	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
51	BY	0,90	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
52	BY	0,90	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
53	BY	0,90	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(R, T)$
54	BX	0,91	$(Q, r)$	$(R, T)$	$(R, T)$
55	BY	0,91	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
56	BY	0,91	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
57	BZ	0,89	$(R, T)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
58	BX	0,91	$(Q, r)$	$(R, T)$	$(Q, r)$
59	BX	0,91	$(Q, r)$	$(R, T)$	$(Q, r)$
60	BX	0,91	$(Q, r)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$
61	BZ	0,89	$(R, T)$	$(Q, r)$	$(Q, r)$

## Bilan

Pour optimiser la gestion des stocks en se concentrant sur la disponibilité des articles et la minimisation des ruptures de stock, il est recommandé :

1. **Utiliser le modèle  $(Q, r)$  pour les articles avec une demande stable** : Ce modèle est efficace pour garantir une disponibilité constante en déclenchant le réapprovisionnement dès que le stock atteint un seuil préétabli.
2. **Adopter le modèle  $(R, T)$  pour les articles avec une demande variable** : Ce modèle s'ajuste régulièrement aux besoins de réapprovisionnement à des intervalles fixes, ce qui est idéal pour les articles avec une demande variable, assurant ainsi une disponibilité continue et réduisant le risque de ruptures.

Ces recommandations permettent d'assurer une gestion des stocks efficace, priorisant la disponibilité des articles au sein de l'entreprise et évitant les ruptures de stock.

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons appliqué la classification ABC-XYZ à 199 articles pour distinguer leur importance en fonction de leur valeur de consommation et de la variabilité de la demande.

Nous avons ensuite calculé les stocks de sécurité et déterminé les paramètres de gestion pour les modèles  $(Q, r)$  et  $(R, T)$ . Pour chaque article, nous avons recommandé le modèle le plus adapté :

- Le modèle  $(Q, r)$  est préconisé pour les articles avec une demande stable, car il assure une disponibilité constante en réapprovisionnant les articles dès que le stock atteint un certain seuil.
- Le modèle  $(R, T)$  est conseillé pour les articles avec une demande variable, car il permet des ajustements réguliers des stocks à des intervalles fixes, ce qui est crucial pour gérer les fluctuations de la demande.

Par la suite, nous avons évalué les coûts associés à chaque modèle pour chaque article. Bien que la réduction des coûts soit un facteur important, notre analyse a mis l'accent sur la disponibilité des articles et l'évitement des ruptures de stock, conformément à la priorité de l'entreprise. Ainsi, nous avons privilégié le choix du modèle qui assure le mieux la disponibilité continue des articles. Dans le chapitre suivant, nous allons explorer l'application des techniques d'intelligence artificielle pour optimiser davantage notre gestion des stocks, en utilisant les données et les modèles établis dans ce chapitre comme base de référence.

# Conclusion Générale

Dans ce travail, nous avons examiné la gestion des stocks d'articles d'instrumentation chez SONATRACH. Ces articles sont indispensables dans la surveillance et le contrôle des processus de transport. Leur absence peut entraîner des interruptions significatives des opérations, soulignant ainsi leur importance cruciale pour l'entreprise.

Pour gérer efficacement ces articles, nous avons d'abord appliqué l'analyse ABC-XYZ, qui classe les articles en fonction de leur importance et de la variabilité de leur demande. Grâce à cette approche, nous avons pu concentrer nos efforts sur les articles les plus critiques, facilitant ainsi une gestion plus efficace et ciblée des ressources disponibles.

Ensuite, pour ajuster les niveaux de stock, nous avons utilisé deux modèles distincts. Le modèle  $(Q, r)$  a été privilégié pour les articles à demande stable, car il permet des réapprovisionnements constants dès que le stock atteint un certain seuil. À l'inverse, le modèle  $(R, T)$  a été adopté pour les articles à demande variable, permettant des ajustements de stock à des intervalles fixes. Ces modèles ont été choisis en tenant compte des divers délais de réapprovisionnement. En effet, nous avons considéré différentes méthodes d'achat telles que les bons de commande, les consultations fournisseurs et les appels d'offres, afin d'identifier les plus efficaces en fonction des spécificités et des délais associés à chaque méthode. Cela nous a aidés à identifier les stratégies les mieux adaptées pour maintenir une gestion fluide et réactive des stocks.

Nous avons également calculé les coûts associés à chaque modèle pour chaque article. Bien que la réduction des coûts soit un facteur important, notre analyse a mis l'accent sur la disponibilité des articles et l'évitement des ruptures de stock, conformément à la priorité de l'entreprise. Ainsi, nous avons privilégié le choix du modèle qui assure le mieux la disponibilité continue des articles.

Enfin, ce travail aborde l'utilisation de l'intelligence artificielle dans la gestion des stocks chez SONATRACH. Bien que l'application de l'IA soit encore en développement, elle offre des perspectives prometteuses pour améliorer la précision et l'adaptabilité de la gestion des stocks à l'avenir.

Pour aller plus loin, nous recommandons à SONATRACH d'améliorer ses stratégies de gestion des stocks en intégrant les avancées technologiques et les meilleures pratiques. Plus précisément :

- Améliorer la collecte et l'analyse des données : Accroître la précision des prévisions de demande en utilisant plus de données historiques et en intégrant de nouvelles sources d'information.
- Adopter des technologies avancées : Explorer davantage l'utilisation de l'intelligence artificielle et des algorithmes de machine learning pour prévoir la demande et optimiser les niveaux de stock de manière dynamique.
- Optimiser les processus de réapprovisionnement : Continuer à évaluer et adapter les méthodes de réapprovisionnement pour répondre aux besoins spécifiques des différents types d'articles.

# Bibliographie

- [1] Aiane., N (2023). "*Analyse et Approximation du Système de Stock à Revue Périodique de Type  $(R, s, lnQ)$* ", Thèse de Doctorat en Mathématiques Appliquées, Université de Bejaia.
- [2] Aïssani D., Rabta B., et Mouhoubi Z.,(2013). "*Cours de Techniques Avancées de Gestion de Stock , Master 2*", Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaïa.
- [3] Aïssani D., et collaborateurs.,(2023). "*Les Mathématiques Industrielles dans la Wilaya de Béjaïa : 160 problèmes posés par 60 entreprises industrielles et résolues en Appliquant les Méthodes et les Outils de la Recherche Opérationnelle*",LaMOS Editions, 750 pages ISBN : 978 - 9931.
- [4] Aïssani D.,(2023/2024). "*(Techniques Avancées de Gestion de Stocks)*", Cours de Master 2, Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaïa.
- [5] Acgps., (1993). "*Dictionnaire de la gestion de la production et des stocks*", Association canadienne pour la gestion de la production et des stocks, Montréal, Édition québec amérique édition.
- [6] Alpaydin E., (2020). "*Introduction to Machine Learning. MIT Press*".
- [7] Amini M., ( 2015). "*Apprentissage machine de la théorie à la pratique*", Eyrolles.
- [8] Arkoub T., et Cherfaoui L., (2021). "*Optimisation de la Maintenance Préventive de Système du Parc de Stockage : Sonatrach-TRC- RTC Béjaïa*", Mémoire de master en Recherche Opérationnelle, Option : Modélisation Mathématique et Evaluation des Performances des Réseaux, Université de Béjaïa.
- [9] Balech S., et Benavent C., (2019). "*Les techniques du NLP pour la recherche en sciences de gestion. Technical report*", CRIISEA - Centre de Recherche sur les Institutions, l'Industrie et les Systèmes Économiques d'Amiens.
- [10] Barto R., S et Sutton A., G, ( 1998). "*Reinforcement Learning : An introduction. MIT Press, Cambridge*".
- [11] Benureau F., ( 2015). "*Self-Exploration of Sensorimotor Spaces in Robots*", Thèse de doctorat, Université de Bordeaux.
- [12] Bousbia N., et Chekaoui I., (2018). "*Optimisation d'ordonnancement des tâches d'un projet par affectation adéquate des ressources : cas de la station de pompage SP3-OB1, RTC-*

- Sonatrach*", Mémoire de master en Recherche Opérationnelle, Option : Modélisation Mathématique et Techniques de Décision, Université de Béjaïa.
- [13] Breton M., et Zaccour G., (1994). *"La gestion des stocks, Document pédagogique, Gestion d'entreprises pétrolière, CETAI"*.
- [14] Cardenas B., et Leopoldo E., (2001). *"The Economic Production Quantity (EPQ) with Shortage Derived Algebraically"*, Int. J. of Production Economics, Vol. 70, pp. 289–292.
- [15] Chopra S., et Meindl P., (2020). *"Supply Chain Management : Strategy, Planning, and Operation (7th ed)"*, Pearson.
- [16] Crama Y., Dupont L., et Finke G., (1997). *"La Recherche opérationnelle et gestion de la production, Nouvelles de la Science et des Technologies"*, Vol. 15, No. 2, pp. 37–45.
- [17] Decandia L., Oppenheim R., et Zhao Y., (2017). *"Managing Supply Chain Operations"*, World Scientific Publishing Company.
- [18] Della-Vedova C., (2020). *"Introduction à la régression logistique"*.
- [19] Fu., M.C., et Hu., J.Q., (1994). *"(s, S) Inventory Systems with Random Leadtime : Harris Recurrence and its Implications in Sensitivity Analysis"*, Prob. Eng. Inform. Sci, Vol. 8, No. 3, pp. 355–376.
- [20] Gang Y., (1997). *"Robust Economic Order Quantity Models, European J"*, of Operational Research, Vol. 100, pp. 482—493.
- [21] Gélinas R., et Cunningham M., (1996). *"La gestion des ressources matérielles : approvisionnements et stocks"*, Cheneliere / McGraw-Hill.
- [22] Goodfellow I., Courville A., et Bengio Y., (2016). *"Deep Learning. MIT Press"*.
- [23] Goyal S.K., et Belton, A.S., (1987). *"Note on A Simple method of determining order quantities in joint replenishments under deterministic demand"*, Management Science, Vol. 25, No. 6, pp. 604.
- [24] Grubbstrok R.W., et Erdman A., (1999). *"The EOQ with backlogging derived without derivatives,"* Int. J. of Production Economics, Vol. 59, No. 1-3, pp. 529–530.
- [25] Gueddoudj K., et Benkeder S., (2011). *"Gestion des Stocks de pièce de Rechange Cas : RTC-Sonatrach"*, Mémoire d'ingénieur en Recherche Opérationnelle, Université de Béjaïa.
- [26] Harris F.W., ( 1913). *"How many parts to make at once, Factory (The Magazine of Management)"*, Vol. 10, No. 2, pp. 135–136.
- [27] Hastie T., Tibshirani R., et Friedman J., (2009). *"The Elements of Statistical Learning : Data Mining, Inference, and Prediction, Second Edition. Springer-Verlag, New York"*.
- [28] Ilkyeong M., et Yun W., (1994). *" An Economic Order Quantity Model With a Random Planning Horizon, Engineering Economist"*, Vol. 39, No. 1, pp. 77.
- [29] Javel G.,(2004). *"Organisation et Gestion de la Production : Cours avec exercices corrigés"*, Dunod, Paris.

- 
- [30] Jean-Marc Quéré., (2005). *"Implémentation de méthodes décisionnelles"*.
- [31] Love S.F., (1979). *"Inventory control, McGraw-Hill series in industrial engineering and management science"*, McGraw-Hill.
- [32] Manners-bell J., (2014). *"Supply Chain Risk"*, Kogan Page.
- [33] Martel A., (1979). *"Technique et application de la recherche opérationnelle, gaëtan morin"*, 2 edition.
- [34] Mitchell M., (1997). *"Machine Learning"*, livre Machine Learning. McGraw-Hill Science/Engineering/Math. ISBN : 0070428077.
- [35] Mouhoubi Z., (2010). *"Bornes de perturbation des caractéristiques transitoires et stationnaires des chaînes de Markov à espace d'états général"*, Thèse de Doctorat en Mathématiques Appliquées, Université de Bejaia, Algeria.
- [36] Naddor E., et Saltzman S., (1958). *"Optimal reorder periods for an inventory system with variable costs of ordering"*, Operation Research, Vol. 6, No. 5.
- [37] Porteus E.L., (1985). *"Investing in reduced setups in the EOQ model, Management Science"*, Vol. 31, pp. 998–1010.
- [38] Porteus E.L., (2008). *"E.L. Porteus. The Newsvendor Problem. In : Chhajed, D., Lowe, T.J. (eds) Building Intuition"*, International Series in Operations Research & Management Science, Boston.
- [39] Queryanne M., (1987). *"IComment on a dynamic programming algorithm for joint replenishment under general order cost function"*, Management Science, Vol. 33, No. 1, pp. 131–133.
- [40] Rabta B., (2006). *"Nouvelles conditions et nouvelles estimations de la stabilité des chaînes de Markov. Application aux modèles stochastiques de gestion des stocks"*, Thèse de Doctorat en Mathématiques Appliquées, Université de Bejaia, Algeria.
- [41] Saint-Cirgue G., (2019). *"apprendre le machine learning en une semaine"*.
- [42] Scott D.W., (1992). *"Multivariate density estimation"*, Wiley(New York).
- [43] Silver E.A., (1970). *"Some ideas related to the inventory control of items having erratic demand patterns"*, Journal of the Canadian Operations Research Society, 8 :87–100.
- [44] Silver E.A., (1976). *"A Simple method of determining order quantities in joint replenishments under deterministic demand"*, Management Science, Vol. 22, No. 12, pp. 1351–1361.
- [45] Simchi-Levi D., Schmidt C., et Wei Y., (2019). *"Supply Chain Management : Strategy, Planning, and Operation (7th ed)"*, Pearson.
- [46] Tighilt G., et Younsioui., (2021). *"Gestion des Stocks des pièces de rechange des pompes centrifuges principales au long des stations de pompage de l'OB1"*, Mémoire de master en Recherche Opérationnelle, Option : Modélisation Mathématique et Techniques de Décision, Université de Béjaïa.
-

- [47] Zermati P., (1990). "*La pratique de la gestion des stocks*" Bordas, Paris.
- [48] Zipkin P., (1986). "*(s, S) Stochastic leadtimes in countinuous-time inventory models*", Naval Research Logistic Quarterly, Vol. 3, pp. 763-774,
- [49] [http://ml\\_openclassrons.com/](http://ml_openclassrons.com/).
- [50] <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/intelligence-artificielle>.
- [51] <https://www.google.com/search=activites+de+sonatrach=activites>.
- [52] <https://www.groupe-hli.com/machine-learning-dans-industrie/>.
- [53] <https://www.researchgate.net/figure/Difference-between-Machine-Learning>.

## **Annexe A**

# **Potentiel de l'Intelligence Artificielle dans la Gestion des Stocks chez SONATRACH**

### **Introduction**

Dans ce chapitre, nous allons explorer le potentiel de l'intelligence artificielle (IA) pour améliorer la gestion des stocks chez SONATRACH. Nous commencerons par une présentation des concepts et des techniques de base de l'IA, suivie d'une analyse des applications pratiques de l'IA dans la gestion des stocks. Ensuite, nous discuterons des avantages et des défis liés à l'implémentation de l'IA et conclurons avec des perspectives d'avenir pour SONATRACH.

### **A.1 Contexte et Motivation**

Dans un monde en constante évolution, les entreprises doivent adopter des technologies avancées pour rester compétitives. L'intelligence artificielle (IA) est l'une de ces technologies qui a le potentiel de transformer la gestion des stocks. Traditionnellement, les méthodes de gestion des stocks reposent sur des modèles statistiques. Cependant, ces méthodes présentent des limitations, notamment en termes de précision des prévisions et d'adaptabilité aux fluctuations rapides de la demande. L'IA, avec ses capacités d'apprentissage automatique et de traitement des données en temps réel, offre une solution prometteuse pour surmonter ces défis.

### **A.2 Présentation de l'Intelligence Artificielle**

**Définition A.2.1.** *L'intelligence artificielle (IA) est un domaine de l'informatique qui se concentre sur la création de systèmes capables d'exécuter des tâches qui nécessitent généralement l'intelli-*

gence humaine. Ces systèmes sont conçus pour apprendre à partir de données, à partir de modèles et à partir d'expériences, et peuvent améliorer leur performance au fil du temps. Les principes de base de l'IA incluent la capacité à raisonner, à percevoir, à apprendre, à planifier et à comprendre le langage naturel.

### **A.2.1 Apprentissage automatique (Machine Learning)**

Le machine learning, ou apprentissage automatique, a vu le jour en 1959 grâce au mathématicien américain Arthur Samuel. Il a développé un programme capable d'apprendre à jouer aux dames sans intervention humaine. Samuel a défini le machine learning comme "la science qui consiste à donner aux ordinateurs la capacité d'apprendre sans être explicitement programmés". En 1998, l'Américain Tom Mitchell [9] a proposé une définition plus avancée en affirmant qu'une machine apprend lorsqu'elle améliore sa performance dans une tâche spécifique grâce à de nouvelles expériences. Ainsi, le machine learning désigne la capacité d'une machine à déterminer les calculs nécessaires pour résoudre un problème donné en se basant sur les données et les expériences accumulées.

#### **• Exemple :**

Supposons qu'une entreprise souhaite connaître la quantité totale de chaque produit actuellement en stock. Dans ce cas, il suffit d'appliquer un algorithme classique, tel qu'une simple addition des quantités enregistrées dans l'inventaire : un algorithme d'apprentissage automatique n'est pas nécessaire.

Maintenant, supposons que l'entreprise veuille utiliser les données de vente passées pour prévoir quels produits doivent être réapprovisionnés dans le mois à venir. Bien que cela soit vraisemblablement lié aux tendances de vente passées, nous n'avons manifestement pas toutes les informations nécessaires pour faire cette prédiction avec une simple addition. Cependant, si nous disposons de l'historique des ventes et des niveaux de stock d'un grand nombre de produits sur une période prolongée, il devient possible d'utiliser un algorithme de machine learning pour élaborer un modèle prédictif.

### **Pourquoi utiliser le machine learning ?**

Le machine learning est utilisé pour résoudre des problèmes dans plusieurs contextes où les approches traditionnelles rencontrent des limitations :

1. **Problèmes insolubles par des méthodes traditionnelles** : Par exemple, prédire les achats futurs d'un client en se basant sur ses historiques d'achats, ce qui est difficile à accomplir sans l'utilisation de techniques de machine learning pour identifier des modèles complexes et non linéaires dans les données.
2. **Problèmes dont l'algorithme exact est difficile à formaliser** : C'est le cas de la reconnaissance d'images ou de la compréhension du langage naturel, où les règles exactes

pour traiter ces données de manière efficace ne sont pas facilement réductibles à des algorithmes traditionnels.

3. **Problèmes demandant des ressources informatiques considérables** : Comme la prédiction des interactions entre grandes molécules, où les simulations sont extrêmement gourmandes en temps de calcul et en puissance informatique. Le machine learning peut être utilisé pour accélérer ces prédictions en trouvant des modèles prédictifs à partir des données existantes.

Le machine learning est particulièrement efficace lorsque les données sont abondantes mais que les connaissances sur leur traitement sont limitées ou difficiles à formaliser. Les modèles créés par les algorithmes d'apprentissage peuvent non seulement résoudre des problèmes de manière automatisée, mais aussi révéler des informations importantes sur la structure des données et les relations entre les variables [10].

Par exemple, dans le domaine scientifique, le machine learning est utilisé pour identifier quels gènes contribuent au développement de certains types de tumeurs, quelles caractéristiques d'une image cérébrale peuvent prédire un comportement, ou quelles propriétés moléculaires rendent un composé efficace comme médicament pour une indication spécifique.

### **les contenus du machine learning**

Le machine learning repose sur deux piliers fondamentaux :

- Les données, qui constituent les exemples à partir desquels l'algorithme va apprendre.
- L'algorithme d'apprentissage, qui est la procédure appliquée sur ces données pour générer un modèle. L'entraînement désigne le processus d'application d'un algorithme d'apprentissage sur un jeu de données.

Ces deux éléments sont aussi cruciaux l'un que l'autre. D'une part, aucun algorithme d'apprentissage ne peut produire un modèle efficace à partir de données de qualité médiocre, illustrant le principe "garbage in, garbage out". D'autre part, un modèle construit avec un algorithme inadapté sur des données pertinentes ne sera pas de bonne qualité.

les algorithmes d'apprentissage. Cependant, il est important de noter que le travail de machine learning ou de data scientist inclut également une phase d'ingénierie des données essentielle. Cela implique la préparation des données pour éliminer les valeurs aberrantes, gérer les données manquantes, choisir des représentations pertinentes, etc.

Un algorithme d'apprentissage permet ainsi de modéliser un phénomène à partir d'exemples. Pour ce faire, il est crucial de définir et d'optimiser un objectif, tel que la minimisation des erreurs du modèle sur les exemples d'apprentissage [11].

#### **• Exemple**

Voici quelques exemples de reformulation de problèmes de machine learning sous la forme d'un problème d'optimisation :

- Une entreprise de distribution cherche à modéliser les profils d'acheteurs à partir des

historiques d'achats, en maximisant la précision des prédictions de demande pour chaque produit.

- Un centre de distribution souhaite optimiser la trajectoire des articles dans son entrepôt pour minimiser les temps de ramassage et les coûts de manutention.
- Une entreprise de vente en ligne cherche à prédire les niveaux de stock optimaux pour différents produits afin de maximiser le taux de satisfaction client tout en minimisant les coûts de stockage et de rupture de stock.
- Une chaîne de supermarchés cherche à modéliser les comportements des consommateurs pour optimiser l'agencement des produits en rayon et maximiser les ventes.

Ainsi, le machine learning repose sur des fondements mathématiques, notamment les statistiques, pour la construction de modèles et leur application aux données disponibles. Parallèlement, l'informatique joue un rôle crucial dans la représentation des données et l'implémentation efficace d'algorithmes d'optimisation. Avec l'essor des quantités massives de données, il devient nécessaire de recourir à des architectures de calcul et de bases de données distribuées pour gérer efficacement ces informations, bien que cet aspect ne soit pas abordé en détail.

### **Quel est le rôle de l'intelligence artificielle dans tout cela ?**

Le machine learning est souvent considéré comme une sous-discipline de l'intelligence artificielle. En effet, un système qui ne peut pas apprendre a du mal à être qualifié d'intelligent. La capacité d'apprendre et de tirer des leçons de ses expériences est cruciale pour tout système conçu pour s'adapter à un environnement en constante évolution.

L'intelligence artificielle englobe un ensemble de techniques destinées à créer des machines capables d'un comportement intelligent. Elle s'appuie également sur diverses disciplines telles que les sciences cognitives, la neurobiologie, la logique, l'électronique, l'ingénierie, et bien d'autres encore. Le terme « intelligence artificielle » est souvent préféré à « apprentissage automatique » car il évoque davantage l'imagination.

#### **A.2.1.1 Méthodes d'apprentissage**

Pour qu'une machine puisse apprendre, il est nécessaire de lui fournir cette capacité à travers un ensemble de méthodes d'apprentissage inspirées de la manière dont les êtres humains acquièrent des compétences. L'objectif de l'apprentissage est de déduire une fonction capable de prédire les réponses associées à de nouvelles observations, en minimisant autant que possible l'erreur de prédiction [7]. Parmi ces méthodes, on trouve l'apprentissage supervisé, l'apprentissage non supervisé et l'apprentissage par renforcement.

#### **Apprentissage supervisé**

Dans l'apprentissage supervisé, l'agent observe des paires d'exemples entrée-sortie et apprend une fonction qui mappe les entrées aux sorties [7]. Concrètement, notre échantillon de données

est constitué de couples  $(X, Y)$ , où  $X$  représente l'ensemble des caractéristiques qui décrivent les catégories de la cible  $Y$  voir la figure A.1.

**Définition A.2.2. (Apprentissage supervisé) :**

L'apprentissage supervisé est une branche du machine learning qui s'intéresse aux problèmes formalisés de la manière suivante : étant données  $n$  observations  $\{\vec{X}^i\}_{1,\dots,n}$  décrites dans un espace  $X$ , et leurs étiquettes  $\{\vec{Y}^i\}_{1,\dots,n}$  décrites dans un espace  $Y$ , on suppose que les étiquettes peuvent être obtenues à partir des observations grâce à une fonction  $\omega : X \rightarrow Y$  fixe et inconnue, telle que  $Y^i = \omega(\vec{x}^i) + \epsilon_i$ , où  $\epsilon_i$  est un bruit aléatoire. Le but est alors d'utiliser les données pour déterminer une fonction  $f : X \rightarrow Y$  telle que, pour tout couple  $(\vec{x}, \omega(\vec{x})) \in X \times Y$ ,  $f(\vec{x}) \approx \omega(\vec{x})$ .

L'espace sur lequel sont définies les données est le plus souvent  $X = \mathbb{R}^p$ . Cependant [?], nous verrons aussi comment traiter d'autres types de représentations, telles que des variables binaires, discrètes, catégoriques, ainsi que des chaînes de caractères ou des graphes .

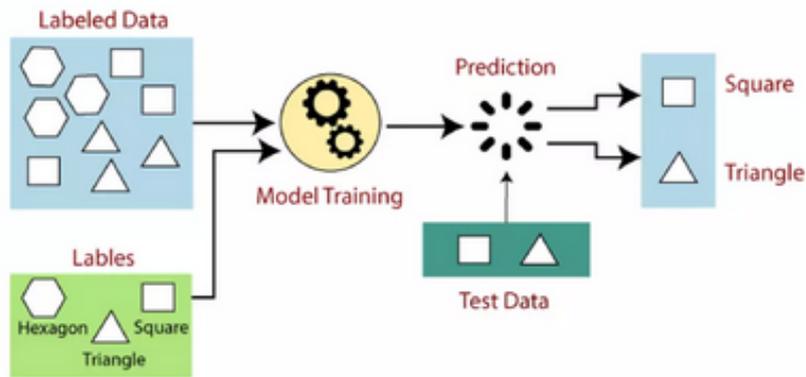


FIGURE A.1 – Apprentissage supervisé.

**Classification binaire**

Lorsque les étiquettes sont binaires, elles indiquent l'appartenance à une classe spécifique. C'est ce qu'on appelle la classification binaire voir la figure A.2.

**Définition A.2.3. (Classification binaire) :**

Un problème d'apprentissage supervisé où l'espace des étiquettes est binaire, c'est-à-dire  $Y = \{0, 1\}$ , est appelé un problème de classification binaire.

• **Exemple**

Voici quelques exemples de problèmes de classification binaire :

- Identifier si un produit est en rupture de stock ou non.
- Identifier si un article doit être réapprovisionné ou non.
- Identifier si une commande de stock doit être priorisée ou non.
- Identifier si un produit est périmé ou non.
- Identifier si une prévision de demande pour un produit est exacte ou non.

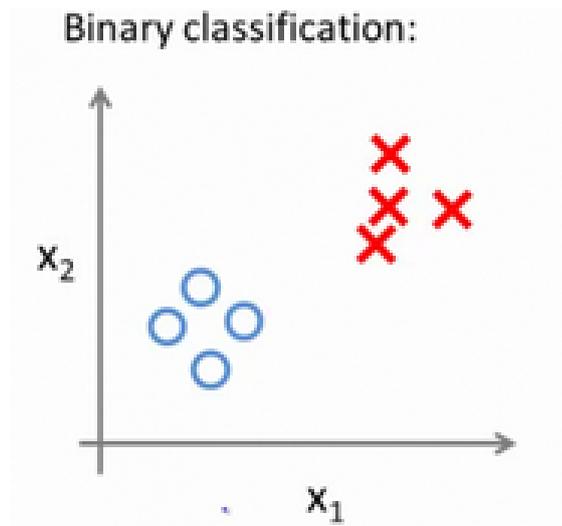


FIGURE A.2 – Classification binaire.

### Classification multi-classe

Lorsque les étiquettes sont discrètes et correspondent à plusieurs classes (strictement plus de deux), on parle de classification multi-classe voir la figure A.3.

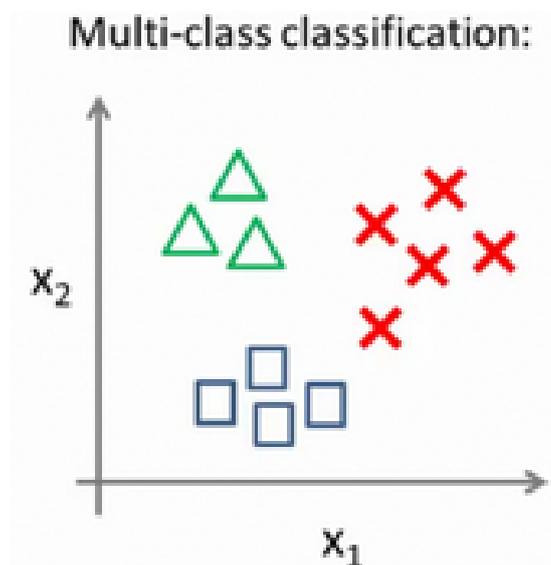


FIGURE A.3 – Classification multi-classe.

#### Définition A.2.4. ( Classification multi-classe ) :

Un problème d'apprentissage supervisé où l'espace des étiquettes est discret et fini, c'est-à-dire  $Y = 1, 2, \dots, C$ , est appelé un problème de classification multi-classe.  $C$  représente le nombre de classes [42].

#### • Exemple

Voici quelques exemples de problèmes de classification multi-classe :

- Identifier la catégorie d'un produit (par exemple, électronique, vêtements, alimentation).
- Déterminer le niveau de priorité de réapprovisionnement pour différents articles.
- Classer les produits selon leur taux de rotation (rapide, moyen, lent).
- Identifier le type de produit en fonction de ses caractéristiques (produit frais, produit congelé, produit sec).
- Classer les articles en fonction de leur emplacement optimal dans l'entrepôt (zone froide, zone sèche, zone à accès rapide).

### **Régression**

Dans le cas où les étiquettes sont à valeurs réelles, on parle de régression.

#### **Définition A.2.5. ( Régression) :**

*Un problème d'apprentissage supervisé dans lequel l'espace des étiquettes est  $Y = \mathbb{R}$  est appelé un problème de régression [42].*

#### **• Exemple**

Voici quelques exemples de problèmes de régression appliqués à la gestion des stocks :

- Prédire le niveau de stock nécessaire pour un produit donné : En fonction de l'historique des ventes, des tendances saisonnières, et des promotions prévues.
- Prédire le délai de réapprovisionnement : Estimer le temps nécessaire pour qu'une commande atteigne l'entrepôt en fonction des fournisseurs et des conditions de transport.
- Prédire le coût de stockage : Estimer les coûts associés au stockage de différentes quantités de produits, en tenant compte des frais d'entrepôt, d'assurance, et d'autres coûts logistiques.
- Prédire la demande future : Utiliser les données passées pour estimer la demande future pour divers produits, permettant ainsi une planification plus précise des stocks.
- Prédire les niveaux de surstock ou de sous-stock : Identifier les produits susceptibles d'être surstockés ou en rupture de stock, afin de prendre des mesures correctives proactives.

Ces exemples montrent comment les techniques de régression peuvent être appliquées pour améliorer la gestion des stocks, en permettant des prédictions précises et en aidant à optimiser les niveaux de stock pour répondre à la demande tout en minimisant les coûts.

### **Régression structurée**

Lorsque l'espace des étiquettes est un espace structuré plus complexe que ceux mentionnés précédemment, on parle de régression structurée (en anglais, structured regression ou structured output prediction). Ce type de régression concerne la prédiction de structures telles que des vecteurs, des images, des graphes ou des séquences. La régression structurée permet de formaliser de nombreux problèmes complexes, tels que la traduction automatique ou la reconnaissance vocale (text-to-speech et speech-to-text, par exemple) [42].

• **Exemple**

Voici quelques exemples de régression structurée appliqués à la gestion des stocks :

— **Prédiction des Ventes de Produits dans Plusieurs Magasins**

- Objectif : Prédire les ventes hebdomadaires de plusieurs produits dans différents magasins.
- Variables d'entrée : Historique des ventes, promotions, saisonnalité, localisation des magasins.
- Variable de sortie : Une matrice où chaque élément représente les ventes d'un produit dans un magasin donné pour une semaine spécifique.

— **Optimisation des Niveaux de Stock sur un Réseau de Distribution**

- Objectif : Déterminer les niveaux de stock optimaux pour plusieurs entrepôts et points de vente.
- Variables d'entrée : Données sur la demande, coûts de stockage, capacités des entrepôts, délais de livraison.
- Variable de sortie : Un vecteur indiquant les quantités de chaque produit à stocker dans chaque entrepôt et point de vente.

— **Prévision de la Demande en Fonction des Tendances de Consommation**

- Objectif : Prédire la demande future en tenant compte des tendances de consommation observées.
- Variables d'entrée : Données historiques des ventes, données démographiques, tendances de consommation.
- Variable de sortie : Une séquence représentant les prévisions de la demande sur plusieurs mois ou années.

— **Prédiction de la Distribution Spatiale des Stocks**

- Objectif : Optimiser la distribution des stocks dans un réseau logistique.
- Variables d'entrée : Localisation des centres de distribution, coûts de transport, délais de livraison, demande régionale.
- Variable de sortie : Un graphe où chaque nœud représente un centre de distribution ou un point de vente, et chaque arête représente le flux de stock entre eux.

Ces exemples illustrent comment la régression structurée peut être utilisée pour résoudre des problèmes complexes de gestion des stocks, en tenant compte de multiples variables et de la structure interne des données. Elle permet de modéliser et de prédire des sorties avec une organisation et des relations internes plus sophistiquées, offrant ainsi des solutions plus complètes et adaptées aux besoins spécifiques des opérations de gestion des stocks.

**Apprentissage non-supervisé**

L'apprentissage non supervisé est une branche du machine learning qui se concentre sur l'analyse des données sans disposer de valeurs cibles ou étiquettes prédéfinies. Contrairement à l'ap-

prentissage supervisé où l'algorithme est entraîné sur un ensemble de données étiquetées  $(X, Y)$ , dans l'apprentissage non supervisé, seul l'ensemble  $X$  des données d'entrée est disponible [41]. L'objectif est d'extraire des structures ou des modèles significatifs à partir de ces données sans guidance explicite sur les résultats attendus voir la figure A.4.

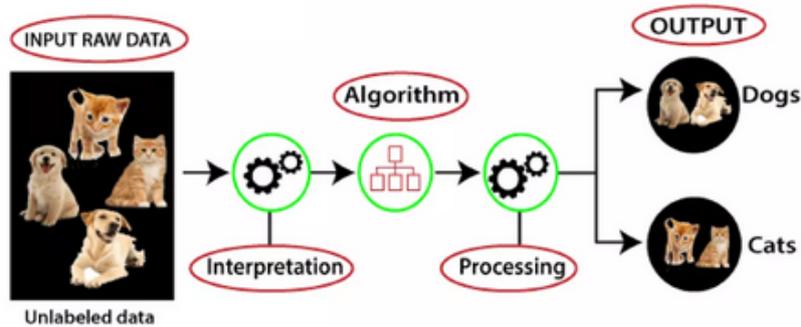


FIGURE A.4 – Apprentissage Non Supervisé.

**Définition A.2.6. ( Apprentissage Non Supervisé ) :**

L'apprentissage non supervisé est une discipline du machine learning qui se concentre sur la résolution de problèmes où  $n$  observations  $\{\vec{X}^i\}_{1, \dots, n}$ , définies dans l'espace  $X$ , sont disponibles [42]. L'objectif est d'apprendre des structures ou des modèles implicites dans ces données sans la nécessité d'une rétroaction explicite sur les résultats attendus.

**Clustering**

Le clustering, aussi appelé partitionnement, est une méthode d'apprentissage non supervisé visant à regrouper des données similaires en ensembles distincts appelés clusters [42]. L'objectif principal du clustering est de découvrir des structures intrinsèques et des relations entre les données sans disposer de labels préétablis. Cela permet de mieux comprendre les caractéristiques générales des données et d'inférer potentiellement les propriétés d'une observation en fonction du groupe auquel elle appartient voir la figure A.5.

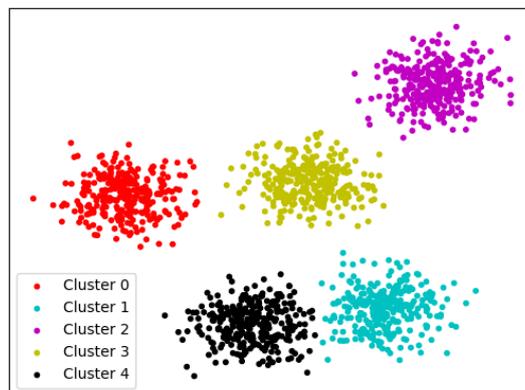


FIGURE A.5 – Clustering dans l'apprentissage automatique.

### Apprentissage par renforcement

L'apprentissage par renforcement est une méthode d'apprentissage automatique où un agent apprend à prendre des décisions en interagissant avec un environnement. Contrairement à l'apprentissage supervisé qui utilise des données étiquetées pour entraîner un modèle, l'apprentissage par renforcement se base sur le principe d'essais et d'erreurs [41], où l'agent reçoit une récompense ou une punition pour ses actions voir la figure A.6.

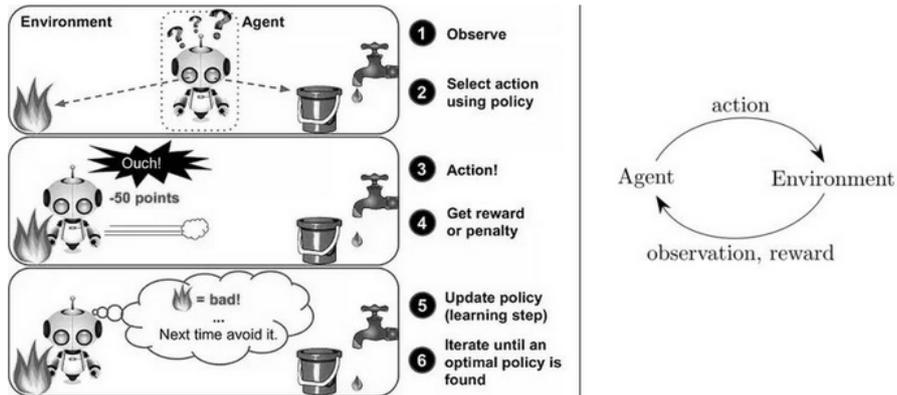


FIGURE A.6 – Apprentissage par renforcement.

#### A.2.1.2 Algorithme d'apprentissage

En Machine Learning, l'utilisation d'algorithmes sur des données permet de créer des modèles. On peut classifier ces modèles en trois types selon qu'ils sont supervisés, non supervisés ou par renforcement, chacun reposant sur différents ensembles d'algorithmes voir la figure A.7.

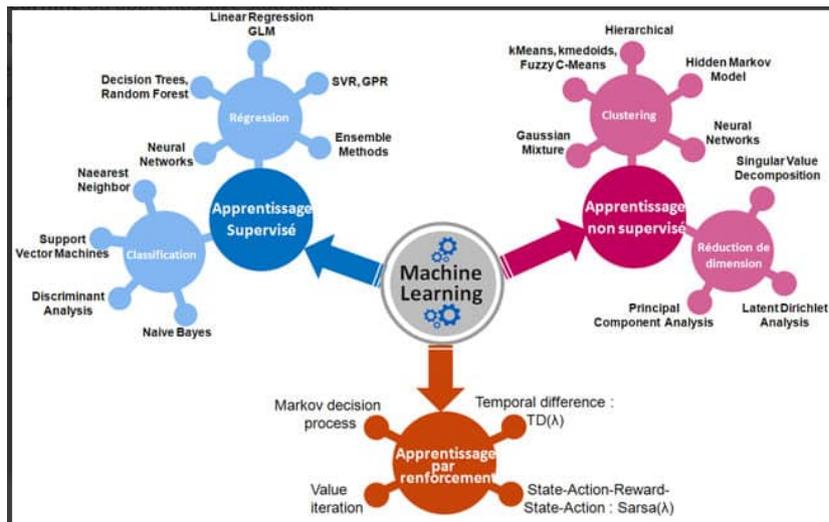


FIGURE A.7 – Quelques algorithmes d'apprentissage du Machine Learning [52].

## Régression logistique

La régression logistique est une méthode statistique utilisée pour modéliser la probabilité d'une variable réponse binaire en fonction de variables explicatives. Contrairement à modéliser directement la réponse binaire (malade/pas malade), elle modélise la probabilité d'une des modalités (par exemple, être malade) [18].

Pour résoudre un problème de classification binaire de manière linéaire, où  $y \in \{0, 1\}$  est modélisé par une combinaison linéaire de variables, il est crucial de considérer une approche probabiliste. La probabilité conditionnelle  $\mathbb{P}(Y = y|X = \vec{x})$  est modélisée en utilisant une combinaison linéaire des variable  $\vec{x}$ . Cette modélisation garantit que  $\mathbb{P}(Y = y|X = \vec{x})$  reste entre 0 et 1, Intuitivement, cette fonction n'est pas linéaire : si  $\mathbb{P}(Y = 0|X = \vec{x})$  est très proche de 1, c'est-à-dire qu'il est très probable que  $\vec{x}$  soit négative, une petite perturbation de  $\vec{x}$  ne devrait pas beaucoup affecter cette probabilité. À l'inverse, si  $\mathbb{P}(Y = 0|X = \vec{x})$  est très proche de 0,5, c'est-à-dire que l'on est très peu certain de l'étiquette de  $\vec{x}$ , rien n'empêche qu'une petite perturbation de  $\vec{x}$  puisse affecter cette probabilité. C'est pourquoi il est courant de modéliser une transformation logit de  $\mathbb{P}(Y = y|X = \vec{x})$  comme une combinaison linéaire des variables [27].

## Classifieur Bayésien Naïf

Le classifieur bayésien naïf est un classifieur probabiliste qui se base sur le théorème de Bayes. Il permet de classer des éléments en fonction de leurs caractéristiques en passant par une phase d'apprentissage. Les modèles sont dits naïfs car ils supposent que tous les attributs décrivant un élément à classer sont conditionnellement indépendants les uns des autres. Deux attributs  $A$  et  $B$  sont conditionnellement indépendants si  $\mathbb{P}(A|B, C) = \mathbb{P}(A|C)$ .

— **Première formule de Bayes** : Soient  $A$  et  $B$  deux événements [30].

$$P(B|A) = \frac{P(A|B)P(B)}{P(A)}$$

— **Deuxième formule de bayes** :  $A$  un événement et  $B$  un système complet d'événements [30].

$$P(B_i|A) = \frac{P(A|B_i)P(B_i)}{P(A|B_1)P(B_1) + \dots + P(A|B_n)P(B_n)}$$

### A.2.1.3 Processus de Machine Learning

la figure A.8 illustre les différentes phases du processus de Machine Learning.

Pour mieux comprendre le processus de Machine Learning, commençons par définir quelques concepts de base essentiels à ce domaine en constante évolution :



FIGURE A.8 – Le processus de Machine Learning [49].

1. **Dataset** : Un dataset (ensemble de données) est un jeu de données utilisé pour entraîner, évaluer et tester les modèles d'apprentissage automatique. Il se compose généralement de deux parties principales :
  - $X$  : Les caractéristiques ou les variables prédictives des données, parfois appelées prédicteurs.
  - $Y$  : Les étiquettes ou les valeurs cibles associées aux données, utilisées dans l'apprentissage supervisé pour entraîner le modèle à prédire.
 Dans l'apprentissage non supervisé, le dataset ne contient que les caractéristiques  $X$ , sans étiquettes  $Y$  préétablies.
2. **Modèle et Paramètres** : Un modèle en Machine Learning est une représentation mathématique ou statistique des données, utilisée pour faire des prédictions ou pour comprendre la structure des données. Le modèle est ajusté à partir du dataset d'entraînement pour capturer les relations entre les variables.
  - **Paramètres du Modèle** : Ce sont les variables ajustables du modèle qui sont apprises à partir des données d'entraînement. Par exemple, dans un modèle linéaire, les paramètres incluent les coefficients des variables.
3. **Hyperparamètres** : Les hyperparamètres sont des paramètres qui ne sont pas directement appris par le modèle à partir des données, mais qui influencent le processus d'apprentissage. Ils sont définis avant le démarrage du processus d'apprentissage et doivent être optimisés pour obtenir de bonnes performances du modèle [9].
  - Exemples d'hyperparamètres : Le taux d'apprentissage, le nombre d'itérations (epochs), la taille du lot (batch size), etc.
4. **Fonction Coût (ou Fonction Objectif)** : La fonction coût mesure la différence entre les prédictions du modèle et les valeurs réelles dans le dataset. Elle quantifie ainsi la qualité du modèle en termes d'erreurs de prédiction. L'objectif est de minimiser cette fonction coût lors de l'entraînement du modèle [9].
5. **Généralisation** : La généralisation fait référence à la capacité d'un modèle à bien perfor-

mer sur de nouvelles données qu'il n'a pas vues pendant l'entraînement. Cela signifie que le modèle doit être capable de capturer les motifs généraux des données et non pas simplement de mémoriser les données d'entraînement (phénomène de surapprentissage ou overfitting) [9].

#### • Phases du Processus de Machine Learning

Le processus de Machine Learning comprend généralement plusieurs étapes clés :

- **Acquisition et Préparation des Données** : Collecte et nettoyage du dataset, prétraitement des données pour les rendre appropriées à l'entraînement du modèle.
- **Choix du Modèle** : Sélection du type de modèle adapté au problème spécifique, en fonction des caractéristiques des données et des objectifs de prédiction.
- **Entraînement du Modèle** : Utilisation du dataset d'entraînement pour ajuster les paramètres du modèle en minimisant la fonction coût.
- **Évaluation du Modèle** : Utilisation d'un ensemble de validation ou de tests pour évaluer les performances du modèle sur des données non vues.
- **Optimisation des Hyperparamètres** : Ajustement des hyperparamètres pour améliorer les performances du modèle.
- **Utilisation et Déploiement** : Intégration du modèle dans des applications ou des systèmes pour effectuer des prédictions sur de nouvelles données en temps réel.

Chaque phase du processus de Machine Learning nécessite une compréhension approfondie des concepts fondamentaux discutés ci-dessus. L'objectif est de développer des modèles précis et robustes capables de généraliser efficacement à de nouvelles situations et de contribuer ainsi à des applications pratiques dans divers domaines.

### A.2.2 Apprentissage profond (Deep Learning)

Le deep learning, ou apprentissage profond en français, est une sous-catégorie de l'apprentissage automatique (machine learning) qui se distingue par l'utilisation de réseaux de neurones artificiels à plusieurs couches pour modéliser et analyser des données complexes. Cette approche s'inspire du fonctionnement du cerveau humain, où les neurones interconnectés travaillent ensemble pour traiter l'information voir la figure A.9 et A.10.

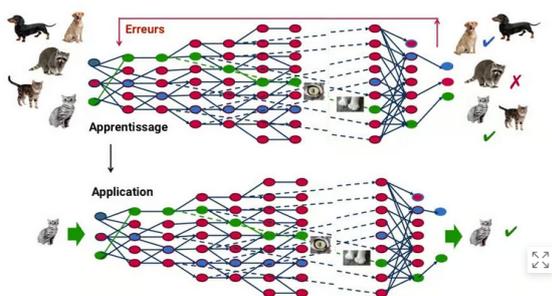


FIGURE A.9 – Apprentissage profond [50].

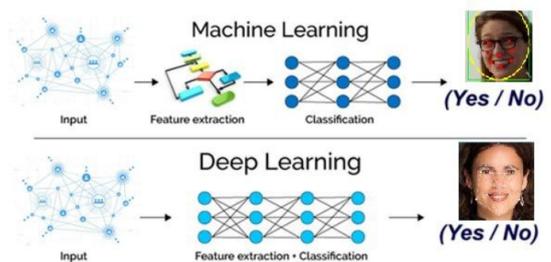


FIGURE A.10 – L'apprentissage profond de l'intelligence artificielle [53].

### A.2.2.1 Réseaux de neurones profonds

Les réseaux de neurones profonds sont des modèles qui comprennent plusieurs couches de neurones (couches cachées) entre les données d'entrée et les prédictions de sortie. Chaque couche traite l'information à un niveau d'abstraction différent, ce qui permet au modèle d'apprendre des représentations hiérarchiques des données voir la figure A.11.

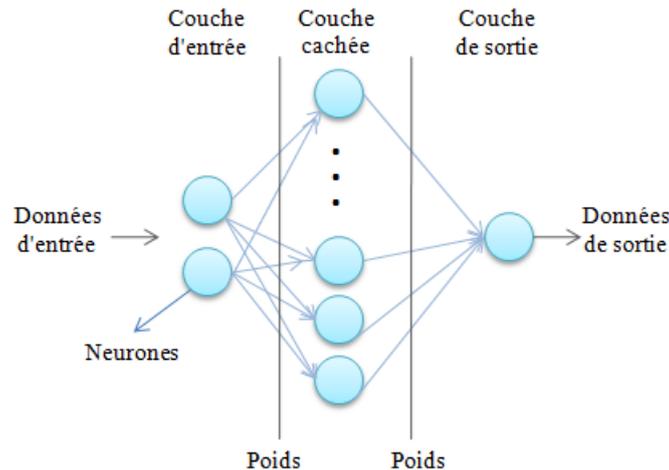


FIGURE A.11 – Structure de modèle de neurones artificiels.

Voici quelques points clés :

#### — Structure en couches

Les réseaux de neurones profonds sont organisés en plusieurs couches :

• **Couche d'entrée** : Cette couche reçoit les données d'entrée brutes, telles que des images, du texte ou d'autres formes de données. Chaque neurone dans cette couche représente une caractéristique spécifique de l'entrée.

• **Couches cachées** : Ces couches intermédiaires, souvent appelées couches cachées, sont responsables de l'extraction des caractéristiques à partir des données d'entrée. Chaque couche cachée est composée de plusieurs neurones qui appliquent des transformations non linéaires aux données qu'ils reçoivent de la couche précédente. Ces transformations permettent de capturer des motifs et des relations complexes entre les caractéristiques des données.

• **Couche de sortie** : Cette dernière couche génère les prédictions ou les résultats finaux du modèle, en fonction des caractéristiques extraites par les couches cachées. Par exemple, dans une tâche de classification d'images, la couche de sortie peut avoir des neurones correspondant à chaque classe possible, indiquant la probabilité que l'entrée appartienne à chacune de ces classes.

#### • Exemple

- Couche d'entrée : Les pixels de l'image sont les données d'entrée.
- Couches cachées :

Les premières couches cachées détectent des caractéristiques simples comme les bords et les couleurs.

Les couches intermédiaires combinent ces caractéristiques pour détecter des formes plus complexes comme des contours ou des textures.

Les couches supérieures reconnaissent des objets entiers en intégrant les caractéristiques extraites des couches précédentes.

- Couche de sortie : Cette couche génère la prédiction finale sur la classe de l'image, par exemple, si l'image montre un chat ou un chien.
- **Propagation avant** : La propagation avant (forward propagation) est le processus par lequel les données traversent le réseau de neurones de la couche d'entrée à la couche de sortie, en passant par les couches cachées. À chaque couche, les neurones reçoivent des signaux des neurones de la couche précédente, les pondèrent et les transforment à l'aide de fonctions d'activation non linéaires telles que ReLU (Rectified Linear Unit), sigmoïde ou tangente hyperbolique. Cette propagation permet au réseau de neurones d'effectuer des calculs complexes et de générer des prédictions basées sur les caractéristiques apprises.
- **Apprentissage des caractéristiques** : Chaque couche cachée dans un réseau de neurones profonds est spécialisée dans l'extraction de caractéristiques à différents niveaux d'abstraction :
  - Caractéristiques de bas niveau : Les premières couches cachées sont souvent responsables de l'extraction de caractéristiques de bas niveau, telles que les bords, les textures ou les couleurs simples dans le cas de la reconnaissance d'images.
  - Caractéristiques de haut niveau : À mesure que l'information progresse à travers les couches, les caractéristiques extraites deviennent de plus en plus abstraites et complexes. Par exemple, dans la reconnaissance d'images, les couches supérieures peuvent identifier des motifs plus complexes comme des formes, des objets ou des contextes plus larges.

#### A.2.2.2 Apprentissage hiérarchique des caractéristiques

Contrairement aux modèles traditionnels d'apprentissage machine qui nécessitent souvent une ingénierie manuelle des caractéristiques (features), le deep learning peut apprendre de manière automatique et hiérarchique les caractéristiques pertinentes à partir des données brutes. Voici comment cela fonctionne :

- **Automatisation de la feature engineering** : Les réseaux de neurones profonds apprennent des caractéristiques à partir des données en ajustant les poids des connexions neuronales lors de la phase d'entraînement, plutôt que de dépendre d'une ingénierie manuelle des caractéristiques.
- **Adaptabilité aux données** : Cette approche rend le processus d'apprentissage plus flexible et adaptatif, car le modèle peut ajuster ses représentations internes en fonction des caractéristiques discriminantes présentes dans les données.

### A.2.2.3 Architectures couramment utilisées

Les architectures de réseaux de neurones profonds sont adaptées à différents types de données et de tâches [22]. Voici quelques architectures couramment utilisées :

- **Réseaux de neurones convolutionnels (CNN)** : Utilisés principalement pour la vision par ordinateur, les CNN sont efficaces pour extraire des caractéristiques spatiales à partir d'images. Ils sont composés de couches de convolution, de pooling et de couches entièrement connectées pour la classification ou la détection d'objets.
- **Réseaux de neurones récurrents (RNN)** : Conçus pour traiter des données séquentielles comme le langage naturel et les séquences temporelles. Les RNN utilisent des boucles récurrentes qui permettent aux informations de persister à travers différentes étapes de la séquence, ce qui les rend efficaces pour la prédiction de texte, la traduction automatique, et la modélisation de séquences.
- **Réseaux de neurones profonds entièrement connectés** : Ces réseaux sont utilisés pour des tâches générales d'apprentissage supervisé où les données peuvent être représentées sous forme de vecteurs d'entrée fixes. Ils sont utilisés dans divers domaines pour des tâches telles que la classification, la régression et la génération de texte.

Chacune de ces architectures est optimisée pour des types spécifiques de données et de tâches, et elles peuvent être adaptées et combinées pour répondre aux besoins spécifiques d'une application.

## A.3 Applications de l'IA dans la gestion des stocks

### A.3.1 Prévisions de la demande

L'une des applications clés de l'intelligence artificielle dans la gestion des stocks est la prévision de la demande. L'IA utilise des algorithmes avancés pour analyser de grandes quantités de données historiques sur les ventes, les tendances saisonnières, les promotions, et même des facteurs externes comme les conditions météorologiques et économiques. Ces données sont utilisées pour générer des prévisions de demande plus précises et dynamiques que les méthodes traditionnelles.

Par exemple, les techniques de machine learning telles que les réseaux de neurones et les algorithmes d'apprentissage profond peuvent identifier des modèles complexes dans les données historiques et ajuster les prévisions en temps réel en fonction des nouvelles informations entrantes. Cela permet aux entreprises de réagir rapidement aux changements de demande et d'optimiser leurs niveaux de stock en conséquence [15].

### A.3.2 Optimisation des niveaux de stock

L'optimisation des niveaux de stock est une composante essentielle de la gestion des stocks, visant à trouver un équilibre optimal entre les coûts associés au stockage et les risques de rupture ou de surstockage. L'intégration de l'intelligence artificielle (IA) dans ce processus permet de développer et d'appliquer des modèles plus sophistiqués et adaptatifs, capables de prendre en compte une multitude de facteurs pour une prise de décision plus précise et efficace. Voici une explication détaillée des méthodes d'optimisation utilisées avec l'IA :

#### A.3.2.1 Méthodes d'optimisation utilisant l'IA

— **Algorithmes génétiques :**

•**Principe :** Les algorithmes génétiques sont inspirés par le processus biologique de l'évolution naturelle. Ils utilisent des opérations telles que la sélection, le croisement (crossover) et la mutation pour explorer un espace de solutions potentielles et trouver une solution optimale.

•**Application :** Dans l'optimisation des stocks, les algorithmes génétiques peuvent être utilisés pour déterminer les quantités de réapprovisionnement optimales en considérant simultanément plusieurs paramètres comme les coûts de stockage, les coûts de commande, et les prévisions de demande. Ils sont particulièrement efficaces pour les problèmes complexes où il y a une grande variabilité des données et des contraintes multiples à respecter.

— **Algorithmes de recherche heuristique :**

•**Principe :** Les algorithmes de recherche heuristique sont des méthodes de résolution de problèmes qui utilisent des règles empiriques ou des stratégies itératives pour trouver des solutions potentiellement optimales.

•**Application :** Ils sont utilisés dans la gestion des stocks pour explorer rapidement un grand espace de solutions et trouver des configurations de stockage qui minimisent les coûts tout en maximisant le niveau de service. Par exemple, des techniques comme la recherche tabou, la recherche locale, ou les algorithmes évolutionnaires peuvent être adaptées pour résoudre des problèmes spécifiques de gestion des stocks.

— **Méthodes d'optimisation par simulation :**

•**Principe :** Les méthodes d'optimisation par simulation utilisent des modèles informatiques pour simuler des scénarios et évaluer différentes stratégies d'optimisation des stocks.

•**Application :** Elles permettent de tester virtuellement différentes politiques de gestion des stocks en prenant en compte la variabilité de la demande, les délais de livraison des fournisseurs, et d'autres facteurs pertinents. Ces simulations aident à évaluer la robustesse des politiques proposées avant leur implémentation réelle, ce qui réduit les risques et améliore l'efficacité opérationnelle.

### **A.3.2.2 Avantages de l'utilisation de l'IA dans l'optimisation des stocks**

- Précision améliorée : Les modèles d'IA peuvent traiter des volumes importants de données historiques et en temps réel pour ajuster dynamiquement les niveaux de stock.
- Adaptabilité : Ils peuvent s'adapter aux changements rapides dans l'environnement opérationnel, tels que les fluctuations de la demande ou les délais de livraison des fournisseurs [45].
- Réduction des coûts : En minimisant les surstocks et les ruptures de stock, les modèles d'IA contribuent à réduire les coûts globaux de gestion des stocks.
- Optimisation continue : Ils permettent une optimisation continue des politiques de stockage grâce à des mises à jour régulières basées sur les données récentes et les performances passées.

### **A.3.2.3 Exemple d'application (Modèle d'optimisation de réapprovisionnement)**

- Données d'entrée : Historique des ventes, prévisions de demande, coûts de stockage, coûts de commande, délais de livraison des fournisseurs.
- Processus : Le modèle utilise des algorithmes génétiques pour explorer différentes combinaisons de quantités de réapprovisionnement en fonction des données d'entrée et des contraintes définies [15].
- Sortie : Détermine les niveaux de stock optimaux et les politiques de réapprovisionnement qui minimisent les coûts totaux tout en maintenant des niveaux de service satisfaisants.

## **A.4 Avantages et défis de l'IA dans la gestion des stocks chez SONATRACH**

### **A.4.0.1 Avantages**

- **Précision des prévisions** : L'IA permet des prévisions de la demande plus précises en analysant de grandes quantités de données historiques et en identifiant des modèles complexes.
- **Adaptabilité** : Les systèmes d'IA peuvent s'adapter aux changements dans l'environnement des affaires et ajuster les stratégies de gestion des stocks en temps réel.
- **Réactivité** : Grâce à des algorithmes d'apprentissage automatique, l'IA permet de réagir rapidement aux fluctuations de la demande et aux événements imprévus.
- **Réduction des coûts** : En optimisant les niveaux de stock et en évitant les surstocks et les ruptures de stock, l'IA contribue à réduire les coûts de stockage et d'obsolescence.
- **Amélioration de la satisfaction client** : Une gestion plus efficace des stocks grâce à l'IA conduit à une meilleure disponibilité des produits et à une satisfaction accrue des clients.

#### A.4.0.2 Défis

- **Intégration avec les systèmes existants** : Intégrer des systèmes d'IA complexes avec les infrastructures informatiques existantes peut être un défi technique majeur.
- **Coûts initiaux élevés** : Développer et mettre en œuvre des solutions d'IA nécessite des investissements initiaux significatifs en termes de technologies et de ressources humaines spécialisées.
- **Formation du personnel** : Utiliser efficacement les systèmes d'IA nécessite une formation approfondie du personnel pour comprendre et interpréter les résultats générés par les modèles d'IA.
- **Gestion des données** : L'IA dépend fortement de la qualité et de la disponibilité des données. La gestion des données historiques et en temps réel nécessite des processus robustes et des outils adaptés.

En adressant ces défis tout en capitalisant sur les avantages potentiels de l'IA dans la gestion des stocks, SONATRACH peut renforcer sa compétitivité, améliorer son efficacité opérationnelle et répondre de manière proactive aux demandes fluctuantes du marché pétrolier.

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné le potentiel de l'intelligence artificielle (IA) pour améliorer la gestion des stocks chez SONATRACH. Nous avons présenté les concepts et les techniques de base de l'IA, ainsi que ses applications pratiques dans la prévision de la demande et l'optimisation des niveaux de stock. Malgré les défis liés à son implémentation, l'IA offre des perspectives prometteuses pour augmenter la précision et l'adaptabilité de la gestion des stocks. Bien que l'application de l'IA soit encore en développement, elle représente une voie d'avenir prometteuse pour SONATRACH.

---

**Résumé :**

Dans ce travail, nous explorons la gestion des stocks d'articles d'instrumentation chez SONATRACH, cruciale pour éviter les interruptions dans le transport des produits pétroliers. Nous avons classé les articles en fonction de leur importance et de la variabilité de leur demande à l'aide de l'analyse ABC-XYZ.

Pour optimiser les niveaux de stock, nous avons appliqué deux modèles. Le modèle  $(Q, r)$  a été utilisé pour les articles à demande stable, assurant des réapprovisionnements constants dès que le stock atteint un certain seuil. Le modèle  $(R, T)$  a été choisi pour les articles à demande variable, permettant des ajustements de stock à des intervalles réguliers. Ces choix ont été faits en tenant compte des différents délais de réapprovisionnement.

Bien que nous ayons évalué les coûts associés à chaque modèle, notre priorité était de maintenir la disponibilité continue des articles pour prévenir les ruptures de stock. Enfin, le travail aborde l'utilisation de l'intelligence artificielle dans la gestion des stocks chez SONATRACH, ouvrant la voie à des méthodes plus précises et adaptables pour l'avenir.

---

**Mots clés :** *SONATRACH ; Gestion des stocks ; Analyse ABC-XYZ ; Stock de sécurité ; Rupture de stock ; Articles d'instrumentation ; Disponibilité des articles ; Intelligence artificielle.*

---

**Abstract :**

In this work, we explore the inventory management of instrumentation items at SONATRACH, crucial to avoid interruptions in the transport of petroleum products. We classified the items based on their importance and demand variability using the ABC-XYZ analysis.

To optimize stock levels, we applied two models. The  $(Q, r)$  model was used for items with stable demand, ensuring constant replenishment as soon as the stock reaches a certain threshold. The  $(R, T)$  model was selected for items with variable demand, allowing stock adjustments at regular intervals. These choices were made considering the different replenishment lead times.

Although we evaluated the costs associated with each model, our priority was to maintain the continuous availability of items to prevent stockouts. Finally, the work discusses the use of artificial intelligence in managing stock at SONATRACH, paving the way for more precise and adaptable methods in the future.

---

**Keywords :** *SONATRACH ; Stock management ; ABC-XYZ analysis ; Safety stock ; Stockout ; Instrumentation items ; Item availability ; Artificial intelligence.*

---