

**ECOLE NATIONALE DE L'INDUSTRIE MINERALE**



## **Mémoire de fin d'études**

Présenté en vue de l'obtention du titre :

**Ingénieur d'État**

Par

**Yassine ALLOUCHE & Mohamadi ELBOUYAHYAOU**

Département

**Management Industriel**

**Système de Production**

Sujet :

**Cartographie du processus gestion Métal,  
étude des gaps et réingénierie**

Jury :

<b>M. KHAOULANI</b>	Président	<b>(ENIM)</b>
<b>Mme. LEBBAR</b>	Rapporteur	<b>(ENIM)</b>
<b>Mme. BENMILOUD</b>	Encadrant	<b>(ENIM)</b>
<b>M. EL IRAKI</b>	Encadrant	<b>(ENIM)</b>
<b>M. RAZI</b>	Parrain	<b>(Vivo Energy Maroc)</b>

**Année universitaire 2011-2012**



ÉCOLE NATIONALE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE



## **Mémoire de fin d'études**

Présenté en vue de l'obtention du titre :

**Ingénieur d'État**

Par

**Yassine ALLOUCHE & Mohamadi EL BOUYAHYAOU**

Département

**Management Industriel**

**Système de Production**

Sujet :

**Cartographie du processus gestion Métal,  
étude des gaps et réingénierie**

Jury :

<b>M. KHAOULANI</b>	Président	<b>(ENIM)</b>
<b>Mme. LEBBAR</b>	Rapporteur	<b>(ENIM)</b>
<b>Mme. BENMILOUD</b>	Encadrant	<b>(ENIM)</b>
<b>M. EL IRAKI</b>	Encadrant	<b>(ENIM)</b>
<b>M. RAZI</b>	Parrain	<b>(Vivo Energy Maroc)</b>

**Année universitaire 2011-2012**

---

# *Dédicaces*

*À mes parents, les êtres qui me sont les plus chers,*

*À mes frères et sœurs*

*À mes chers amis avec qui j'ai partagé énormément de choses,*

*À tous mes professeurs,*

*À tous ceux qui m'ont aidé,*

*À tous ceux que j'aime,*

*Je dédie ce travail...*

*Yassine ALLOUCHE*

---

# *Dédicaces*

*À mes parents, les êtres qui me sont les plus chers,*

*À mes frères et sœurs*

*À mes chers amis avec qui j'ai partagé énormément de choses,*

*À tous mes professeurs,*

*À tous ceux qui m'ont aidé,*

*À tous ceux que j'aime,*

*Je dédie ce travail...*

*Mohamadi ELBOUYAHYAOU*

---

## Remerciements

C'est avec le plus grand plaisir que nous exprimons notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'accomplissement de ce travail.

Nous adressons nos sentiments de reconnaissance et de respect à notre parrain industriel à Vivo Energy Maroc, Monsieur Badreddine RAZI pour son aide et ses directives précieuses durant le déroulement du projet.

Nous remercions vivement nos encadrants de l'ENIM, Monsieur Abdelhamid EL IRAKI et Madame Ibtissam BENMILOUD pour leurs précieux conseils, leur aide et leur collaboration.

Nos remerciements s'adressent, également, à tout le personnel de Vivo Energy Maroc et à tous ceux qui ont contribué, de quelque manière que ce soit, à l'aboutissement de ce projet.

Que tous les membres du jury retrouvent ici l'expression de notre reconnaissance pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

---

# Résumé

Dans le cadre d'améliorer sa compétitivité et répondre à des contraintes de plus en plus fortes de ses clients, Vivo Energy Maroc doit utiliser plus efficacement son processus de gestion Métal (Gestion des bouteilles de gaz, Accessoires et consommables). En effet, par l'intégration des nouvelles méthodologies, Vivo Energy Maroc peut améliorer ses performances par la maîtrise du triangle Qualité-Coût-Délai.

C'est dans cette optique que s'inscrit le présent projet de fin d'étude, qui vise en particulier la qualification et l'amélioration du processus de la gestion Métal.

Afin de mener à bien cette mission, une analyse détaillée de l'existant est nécessaire en élaborant des cartographies des processus liés à la gestion Métal et une classification des processus selon des critères de maturité et de progrès.

À l'issue de cette étude, des actions d'améliorations ont été proposées et appliquées.

Ces actions portent essentiellement sur l'amélioration de la capacité de l'atelier de réparation des bouteilles ARB. D'une part, par une gestion par atelier qui se base essentiellement sur la réorganisation de l'ARB en atelier de production, et d'autre part par l'amélioration de la capacité du poste goulot ; la maîtrise de la gestion de stock matériel par l'adoption des politiques d'approvisionnement ; la planification de la gestion de transport des bouteilles à réparer par la minimisation des coûts engendrés lors des tournées des camions.

---

## Abstract

As part of improving its competitiveness and replying to the constraints of increasingly strong customers, Vivo Energy Morocco should more effectively use its management process metal. Indeed, by integrating new methodologies, Morocco Vivo Energy can improve performance by controlling the triangle Quality-Cost-Time.

It is against this background that fits this project, which aims in particular the characterization and improvement of process management Metal.

To carry out this mission, a detailed analysis of the existing is needed, by developing process maps related to the management Metal and classification processes in accordance with criteria of maturity and progress.

Following this study, improvement actions have been proposed and applied. These actions focus on improving the capacity of the repair shop by a management workshop, control of inventory management equipment through the adoption of procurement policies and management planning of transport bottles repair by minimizing the costs incurred during tours of the trucks.

---

## ملخص

في إطار الرفع من قدرتها التنافسية ومواجهة القيود المفروضة عليها من طرف الزبائن على نحو متزايد، ينبغي على فيفو إينيرجي المغرب أن تنهج سياسة على نحو أكثر فعالية في استخدام المعدات. في الواقع، إذا تم دمج منهجيات جديدة يمكن لفيفو إينيرجي المغرب أن تحسن أداءها من خلال التحكم في مثلث الجودة، التكلفة والوقت.

في هذا المنطلق يندرج هذا المشروع الذي يهدف إلى تحسين عملية تسيير المعدات.

من أجل تحليل تفصيلي للحاجة القائمة يجب وضع خرائط للعمليات المتعلقة بتسيير المعدات وفقا لمعايير النضج

والتقدم.

كنتيجة لهذه الدراسة، تم اقتراح عدة إجراءات وتطبيقاتها، هذه الإجراءات تمحورت حول الرفع من قدرة ورشة الإصلاح عن طريق سياسة العمل بالورشات، وكذلك التحكم في إدارة مخزون المعدات من خلال اعتماد سياسات التموين الملائمة، في الأخير إعداد خطط تسيير نقل قارورات الغاز عن طريق التقليل من التكاليف.

---

# Liste des abréviations

AP : Assurance Process

ARB : Atelier de Réparation des Bouteilles

CMP : Contract Management Process

CP : Contract Process

CSC : Service Client

IT : Informations Technologies

RH : Ressources Humaines

---

---

# Table de Matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Contexte général du Projet .....	3
Introduction .....	4
I. Présentation du groupe Vivo Energy .....	4
I.1. Historique et identité de Vivo Energy .....	4
I.2. Présentation de Vivo Energy Maroc [1] .....	5
I.2.1. Historique .....	5
I.2.2. Fiche signalétique .....	6
I.2.3. Mission de Vivo Energy Maroc .....	6
I.2.4. Structure organisationnelle .....	7
II. Généralités sur le GPL.....	10
II.1. Définition de GPL.....	10
II.2. Approvisionnement et Stockage du GPL.....	11
III. Cadre général du Projet .....	13
III.1. Présentation de la problématique .....	13
III.2. Mission et Objectifs .....	13
III.3. Planification du Projet .....	14
Conclusion.....	15
Chapitre II : Cartographie des processus, étude et analyse des gaps.....	16
Introduction .....	17
I. Description de l'usine Butagaz .....	17
I.1. Description de l'Atelier de Réparation des Bouteilles (ARB) .....	17
I.2. Description du processus d'emplissage des bouteilles (Gaz II) .....	19
II. Généralités sur l'approche processus .....	21
II.1. Définition de l'approche processus .....	21
II.2. Définition d'un processus.....	22
II.3. Types de processus .....	22

---

III.	Cartographie des processus .....	24
III.1.	Définition de la cartographie .....	24
III.2.	Objectifs de la cartographie .....	25
III.3.	Étapes de réalisation de la cartographie.....	25
III.4.	Élaboration de la cartographie des processus .....	26
IV.	Exploration des cartographies des processus.....	33
IV.1.	Analyse des cartographies des processus.....	33
IV.1.1.	Analyse de la cartographie du processus ARB.....	37
IV.1.2.	Analyse de la cartographie du processus d'emplissage des bouteilles .....	38
IV.1.3.	Diagnostic du processus logistique Métal .....	41
	Conclusion.....	43
	Chapitre III : Réingénierie du processus Métal .....	44
	Introduction .....	45
I.	Amélioration de la capacité de production de l'atelier ARB.....	45
I.1.	Étapes d'une étude d'amélioration.....	45
I.1.1.	Identification de la taille des lots dans chaque poste.....	46
I.1.2.	Énumération des tâches dans chaque poste de travail .....	47
I.1.3.	Chronométrage des tâches .....	47
I.1.4.	Étude des capacités des postes.....	48
I.2.	Les chantiers d'amélioration de la productivité de l'ARB.....	49
I.2.1.	Amélioration par la méthode gestion par atelier .....	49
I.2.2.	Amélioration de la capacité du Four.....	55
I.2.2.1.	Problématique de l'étude.....	55
I.2.2.2.	Objectifs de l'étude .....	55
I.2.2.3.	Méthodologie de l'étude .....	58
II.	Amélioration de la fonction stockage Métal.....	64
II.1.	Diagnostic de l'existant .....	64
II.2.	L'activité de stockage [5] .....	65
II.3.	Étude et classification des articles .....	66
II.3.1.	Introduction à l'analyse de données .....	66
II.3.2.	Choix des critères et saisie des données .....	66
II.3.3.	Démarche de l'analyse PARETO.....	67

---

II.3.4. Adoption des politiques d'approvisionnement.....	69
III. Amélioration de la logistique Métal .....	73
III.1. Contexte général du problème .....	73
III.2. Description du problème.....	73
III.3. Formulation mathématique du problème .....	74
III.4. Application de l'algorithme sous le logiciel LINGO .....	77
Conclusion.....	78
Conclusion générale .....	79
Bibliographie .....	81
Webographie.....	81
Annexes .....	82
Annexe 1.....	83
Annexe 2.....	86

---

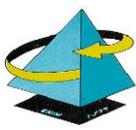
## Liste des figures

Figure I. 1 : Organigramme général de Vivo Energy Maroc .....	9
Figure I. 2 : Stockage et Transport de GPL (source : Vivo Energy Maroc).....	12
Figure I. 3 : Planning du Projet .....	15
Figure II. 1 : Processus de réparation des bouteilles .....	18
Figure II. 2 : Schématisation d'un processus .....	22
Figure II. 3 : Schématisation de l'approche processus d'un organisme [1].....	24
Figure II. 4 : Cartographie des macro-processus de l'entreprise .....	29
Figure II.5 : Cartographie du processus gestion Métal .....	30
Figure II. 6 : Cartographie du processus Réparation des bouteilles (ARB) .....	31
Figure II. 7 : Cartographie du processus d'Emplissage des bouteilles (Gaz II).....	32
Figure II. 8 : Graphe des Temps et Délai process par opération dans le processus ARB .....	38
Figure II. 9 : Graphe des Temps et Délai process par opération dans le processus emplissage.....	40
Figure II. 10 : Répartition des centres emplisseurs .....	42
Figure III. 1 : Chaîne de réparation des bouteilles actuelle .....	50
Figure III. 2 : La nouvelle décomposition de l'ARB .....	50
Figure III. 3 : Schématisation du Four .....	55
Figure III. 4 : Cycle de traitement thermique .....	56
Figure III. 5 : Cycle thermique d'un recuit .....	58
Figure III. 6 : échantillon prêt pour le polissage électrolytique .....	60
Figure III. 7 : Principe du polissage électrolytique .....	60
Figure III. 8 : Résultat de traitement d'image de l'échantillon E1 .....	62
Figure III. 9 : Résultat du logiciel Areas pour l'échantillon E1 .....	62
Figure III. 10 : Diagramme d'Ishikawa des problèmes liés à la gestion de stock.....	64
Figure III. 11 : Classification des articles selon le diagramme PARETO .....	68
Figure III. 12 : Diagramme des écarts-types de consommation des articles de stock .....	69
Figure III. 13 : Schématisation du problème de distribution des articles aux centres emplisseurs ..	74

---

## Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Caractéristiques du Butane et Propane.....	11
Tableau II. 1 : Progrès et maturité des processus (source : Approche processus version 2000).....	33
Tableau II. 2 : Le processus, son niveau de progrès et ses interrelations.....	35
Tableau II. 3 : les processus, leurs indicateurs de performance existants et manquants.....	36
Tableau II. 4 : Synthèse de temps et délai process pour l'ARB.....	37
Tableau II. 5 : Synthèse de temps et délai process pour le processus emplissage bouteilles.....	39
Tableau III. 1 : La taille des lots des postes de travail de l'ARB.....	46
Tableau III. 2 : Tableau des tâches effectuées dans chaque poste de travail de l'atelier ARB.....	47
Tableau III. 3 : Temps de cycle de chaque poste par Lot.....	48
Tableau III. 4 : Cadences des postes de l'atelier ARB.....	49
Tableau III. 5 : Les postes de travail contenus dans chaque atelier.....	50
Tableau III. 6 : Nombre d'opérateur par atelier ainsi que leur volume horaire de travail par jour...	52
Tableau III. 7 : Résultats obtenus.....	53
Tableau III. 8 : les images microscopiques de l'échantillon E1.....	61
Tableau III. 9 : Résultats de l'analyse métallographique des 3 échantillons.....	63
Tableau III. 10 : Les valeurs de $\alpha$ et de $\beta$ des articles de la famille 1.....	71
Tableau III. 11 : Les valeurs de $P_e$ , $N_e$ et le Plafond des articles de la famille 2.....	72
Tableau III. 12 : Les valeurs de $Q_e$ et $P_e$ des articles de la famille 3.....	72
Tableau III. 13 : Matrice des coûts.....	77



---

## Introduction générale

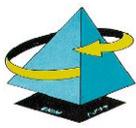
Le présent travail trouve son origine dans la politique générale de réduction des coûts mise en place par les multinationales à travers le monde. En effet, à l'heure actuelle, la concurrence et le défi de la mondialisation poussent l'ensemble des entreprises à rationaliser leurs activités et à satisfaire les besoins de leurs clients en offrant le bon produit au bon moment, avec un prix compétitif. Pour pouvoir conquérir de nouvelles parts de marché ou au moins garder les siennes, les grandes firmes sont obligées d'innover et de réévaluer toutes les composantes de leur chaîne de valeur pour pouvoir supprimer les pertes et les gaspillages, et ainsi avoir un rapport qualité-prix concurrentiel.

Dans le cadre de l'amélioration continue et pour survivre dans un environnement en perpétuelle évolution et régi par une concurrence acharnée, que Vivo Energy Maroc cherche quotidiennement des moyens pour améliorer sa productivité, maîtriser ses processus et réduire ses coûts.

Le projet *Cartographie des processus Métal, étude des gaps et réingénierie* s'inscrit dans ce contexte. Il consiste à apporter soutien à la réalisation des objectifs fixés, à identifier, à analyser et à éliminer toute forme de gaspillage ou de mauvaise utilisation des ressources dans la chaîne de valeur de l'entreprise, et ce, pour augmenter la productivité, l'efficacité et la performance du processus Métal.

Le présent rapport s'articule autour des trois chapitres suivants :

- Le premier chapitre sera consacré au contexte général du projet ; après avoir présenté l'organisme d'accueil dans un premier point, le cadre général du projet,



ainsi que la problématique traitée, la mission et les objectifs seront présentés dans un second point.

- Le deuxième chapitre délimitera une étude de l'existant, une analyse des données et les défaillances entravant le fonctionnement adéquat du processus Métal et du processus Emplissage des bouteilles, ainsi que les points sur lesquels il convient d'agir en priorité. Cette étude est faite par le biais de la cartographie des flux et l'évaluation du progrès et de la maturité des processus.
- Le troisième chapitre portera sur la réingénierie du processus Métal ; ce chapitre est consacré à la proposition des plans d'actions et des chantiers d'amélioration pour remédier aux problèmes relevés précédemment. Ces améliorations sont scindées en des solutions techniques et organisationnelles.

# **Chapitre I : Contexte général du Projet**



---

## Introduction

L'évolution de l'industrie marocaine, la croissance démographique et l'urbanisation sont tous des facteurs importants induisant l'augmentation de la demande en matière de GPL.

Pour répondre à cette demande excessive, plusieurs entreprises distributrices d'hydrocarbures et dérivés sont mises en place dans ce domaine.

Parmi les sociétés chefs de file dans le domaine d'Hydrocarbures et Lubrifiants se trouve Vivo Energy. Cette dernière intervient dans plusieurs secteurs (Gaz, Pétrole, Chimie et autres) et développe en parallèle d'autres sources d'énergie.

Vivo Energy est un acteur majeur sur le marché africain du GPL et répond aux besoins des grands clients commerciaux et des communautés locales, où le GPL est une alternative plus sûre et plus propre aux combustibles traditionnels.

En premier lieu, il est important, pour pouvoir situer le projet, de présenter la société et sa structure organisationnelle.

En seconde partie, il s'est avéré nécessaire de présenter des généralités sur le GPL.

Enfin, pour clôturer ce premier chapitre, nous allons situer le cadre général du projet.

## I. Présentation du groupe Vivo Energy

### I.1. Historique et identité de Vivo Energy

Vivo Energy est une société fruit d'un partenariat entre Shell, Vitol et Helios Investment Partners, afin de répondre aux besoins de la clientèle Shell en Afrique.

Shell est une des sociétés d'énergie les plus connues du monde et apporte au partenariat de Vivo Energy de l'expérience et une marque connue à l'échelle mondiale.



- Vitol, est l'un des plus importants négociants au monde en énergie, associant sa portée mondiale et son expertise locale pour identifier et optimiser les opportunités partout où il opère à l'échelle internationale. La réussite de Vitol vient de sa capacité à réfléchir rapidement, à agir de manière décisive et à faire avancer les choses.
- Helios Investment Partners est une entreprise spécialisée dans les investissements privés orientés sur l'Afrique. Fondée et dirigée par des Africains, Helios a contribué à créer et à développer de nombreuses entreprises prospères à travers le continent.

Actuellement, sept pays ont transité à la marque Vivo Energy : le Maroc, le Sénégal, le Cap-Vert, l'Ile Maurice, la Tunisie, Madagascar et le Mali.

## **I.2. Présentation de Vivo Energy Maroc [1]**

### **I.2.1. Historique**

Par ses transitions précédentes comme Société Shell du Maroc et, avant cela, la Compagnie pétrolière marocaine et asiatique, Vivo Energy Maroc a été actif et croissant au Maroc depuis 1922.

- En 1959, la Société Shell du Maroc absorba la compagnie des raffineries de beurre, après celle de Butagaz-Maroc. En 1964, elle absorba la compagnie des raffineries de « VERYLS ».
- En 1974, la SSDM a vu la promulgation du dahir concernant la marocanisation des capitaux des sociétés pétrolières, avec un capital détenu à 50% par la Société Nationale des Produits Pétroliers. En Décembre 1987, suite à son absorption de la



société Texaco-Maroc, Le capital de la SSDM est alors passé de 60 millions de dirhams à 90 millions de dirhams puis à 138 millions de dirhams en 1993.

- En 1994, la SSDM fut privatisée et redevint alors 100% propriété du Groupe Shell.
- Depuis 1<sup>er</sup> Décembre 2011, l'identité Shell du Maroc est changée officiellement en Vivo Energy Maroc.

Vitol et Helios détiennent chacune 40% de Vivo Energy, tandis que Shell en détient 20%.

### I.2.2. Fiche signalétique

La société Vivo Energy Maroc est une société anonyme (S.A) qui répond aux règles de la société anonyme dans le droit marocain, elle a un conseil d'administration, une assemblée générale. Son contrôle légal s'effectue par le biais d'un commissaire aux comptes.

Tableau I 1 : Fiche signalétique de Vivo Energy Maroc

Raison sociale	Société Anonyme des Carburants, Lubrifiants et GPL
Forme juridique	Société Anonyme
Date de constitution	1 <sup>er</sup> Décembre 2011
Actionnariat	Shell du Maroc (20 %), Vitol (40 %), Helios (40 %)
Chiffres d'affaires	7.980.207.000 DH (Exercice 2010)
Capital social	248.400.000 DH (Exercice 2010)
Effectif	5000 emplois au Maroc (directs et indirects)
Téléphone	+ 212 5 22 972727
Adresse (Siège)	Zenith II, lotissement Attaoufik, Route de Nouasser, Sidi Maarouf, Casablanca

### I.2.3. Mission de Vivo Energy Maroc



Vivo Energy Maroc est une société de revente, considérée comme un gros revendeur et distributeur des produits pétroliers et dérivés. Elle se charge de la production ainsi du conditionnement de certaines huiles et certains produits chimiques.

La vision de Vivo Energy Maroc est d'être, dans le secteur énergétique, l'entreprise de premier rang ; reconnu pour la qualité de ses produits et services et pour sa citoyenneté responsable. Elle a, comme objectif, d'assurer de manière durable une haute valeur ajoutée pour toutes les parties prenantes de l'entreprise : actionnaires, personnel, clients, fournisseurs et communauté civile.

Vivo Energy Maroc propose une large gamme de produits pétroliers et de services de qualité aux particuliers, aux entreprises et aux administrations en :

- S'appuyant sur une expertise mondiale en recherche et développement.
- Respectant son engagement en tant que société citoyenne reconnue pour ses principes d'hygiène, sécurité, santé et environnement.

L'activité de Vivo Energy Maroc est subdivisée en trois activités principales :

- La production des lubrifiants ;
- Le stockage et la distribution des carburants ;
- Le stockage, le conditionnement et la commercialisation du Gaz Pétrole Liquéfié (GPL), et des produits pétrochimiques.

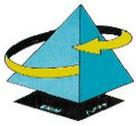
#### **I.2.4. Structure organisationnelle**

La structure de Vivo Energy Maroc se présente sous forme de divisions et de départements comme suit :



- Département Ressources Humaines (RH) : Ce département se charge de tout ce qui concerne la gestion du personnel, les recrutements, la formation, le volet administratif et les relations sociales.
- Unité Administration et Gestion : Cette unité établit les tarifs du gasoil pour les transmettre aux autres unités qui les diffusent à leur tour aux dépôts, stations et aux clients.
- Unité Engineering : Cette unité étudie les nouveaux projets d'installation ou de construction de dépôts ou stations-services.
- Département Réseaux : Ce département s'occupe de la vente et la distribution des produits aux points de vente (stations-services, revendeurs...).
- Département Supply & Distribution (S&D) : Le département S&D est subdivisé en trois sous départements pour gérer les différentes responsabilités du département, et qui sont :
  - Département de gestion des dépôts.
  - Département de gestion des moyens de transport.
  - Département de gestion et planification des approvisionnements.

La figure I.1 représente l'organigramme général de Vivo Energy Maroc. Ce dernier est composé de plusieurs directions parmi lesquelles il y a la direction des opérations où nous avons effectué notre Projet de Fin d'Études.



## Chapitre I : Contexte général du Projet

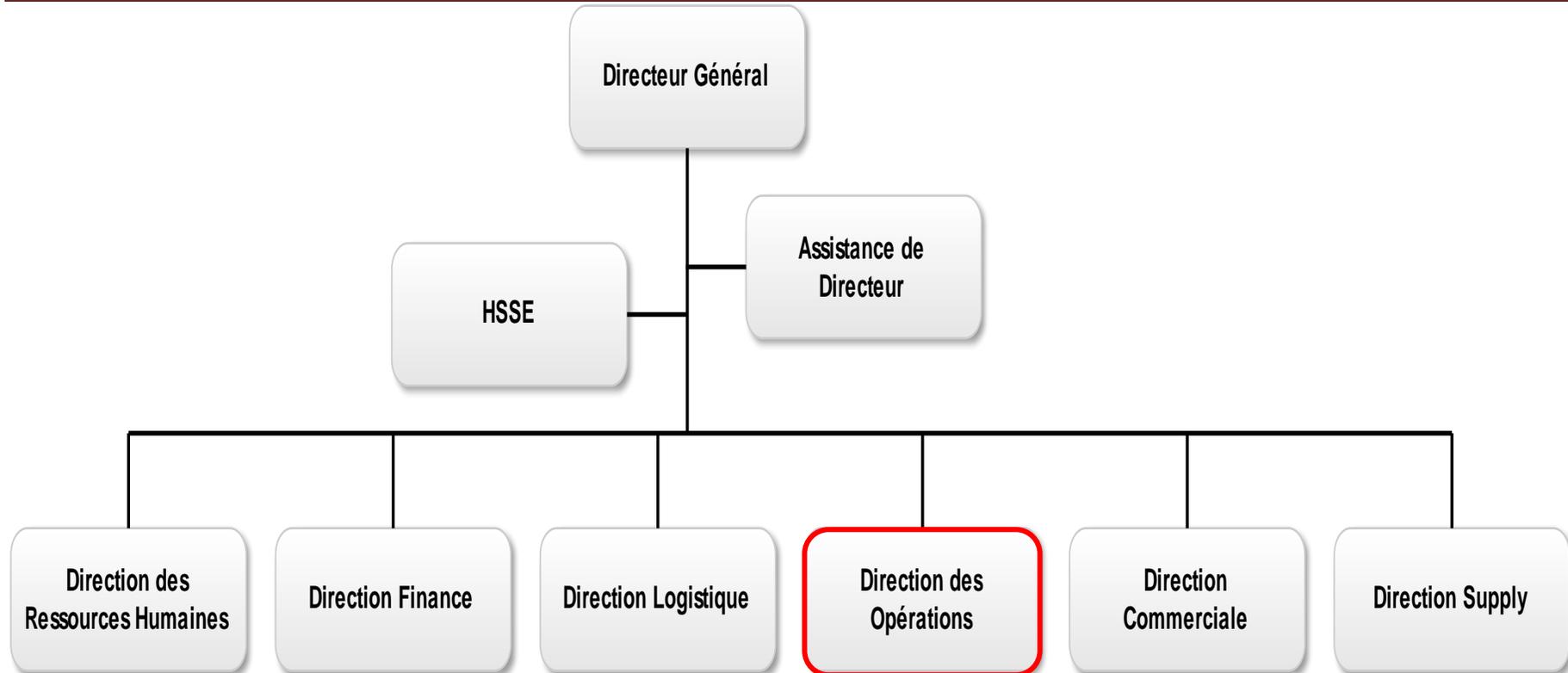
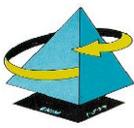


Figure I. 1 : Organigramme général de Vivo Energy Maroc



## II. Généralités sur le GPL

### II.1. Définition de GPL

Vivo Energy Maroc importe le butane et le propane dont le marché est libéralisé depuis 1995, tandis que le marché du butane est réglementé.

Le butane et le propane définis sous le terme général de Gaz Pétrole Liquéfiés, sont extraits soit du pétrole brut au cours des opérations de raffinage, soit du gaz naturel et des gaz associés dans les gisements du pétrole. À titre indicatif, le raffinage de 100 tonnes de pétrole brut fournit environ 4 tonnes de gaz de pétrole liquéfié. Le butane et le propane commercialisés ne sont pas des produits chimiquement purs mais des mélanges d'hydrocarbures répondant à des spécifications officielles bien définies.

Le « GPL », destiné à la carburation automobile, est un mélange spécial de butane et de propane défini par la norme NFEN589. Deux des caractéristiques qui différencient le butane et le propane, à la température ambiante sont :

- La température d'ébullition ;
- La tension de vapeur ou pression de gaz.

Les « GPL » ont la propriété d'être gazeux à la température ambiante et à la pression atmosphérique, mais ils se liquéfient dès qu'ils sont soumis à une pression relativement faible. Ils sont des hydrocarbures composés majoritairement d'environ 80% de butane  $C_4H_{10}$  et 20% de propane  $C_3H_8$ . Ces produits, gazeux dans les conditions normales de température et de pression, peuvent être facilement liquéfiés, rendant aussi leur manipulation et leur transport très aisés.

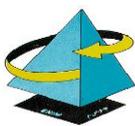


Tableau I. 1 : Caractéristiques du Butane et Propane

	Température d'ébullition (°C)	Masse volumique du liquide (Kg/m <sup>3</sup> ) à 15°C	Masse volumique du Gaz (Kg/m <sup>3</sup> ) à 15°C
<b>Butane</b>	<b>0</b>	<b>585</b>	<b>2,50</b>
<b>Propane</b>	<b>-42</b>	<b>515</b>	<b>1,80</b>

## II.2. Approvisionnement et Stockage du GPL

Vivo Energy Maroc s'approvisionne du produit GPL de plusieurs fournisseurs internationaux et nationaux. Les fournisseurs internationaux les plus importants de Vivo Energy Maroc sont la société française TOTAL et la société algérienne SONATRACH, et le plus important fournisseur national est la Société Anonyme Marocaine de l'Industrie de Raffinage (SAMIR).

Après l'approvisionnement du GPL, celui-ci est stocké dans des mines de sel ou dans des sphères, ensuite il est transporté par des conduites vers le centre d'emplissage (Gaz II), ou par des camions vers les centres filiaux de Vivo Energy Maroc (à savoir le centre de Kenitra et le centre de Safi), ou directement vers les clients. Le transport de GPL de Vivo Energy Maroc est constitué de trois types :

- Le transport primaire ; appelé aussi transport « inter-centre » : se fait de la société de stockage vers le centre emplisseur. Il est assuré par de gros porteurs de 20 tonnes.
- Le transport secondaire : se fait du centre emplisseurs vers les dépôts distributeurs et les clients finaux.
- Le transport tertiaire : se fait des dépositaires vers les points de ventes.

La figure I.2 représente une synthèse pour stocker et transporter le GPL :

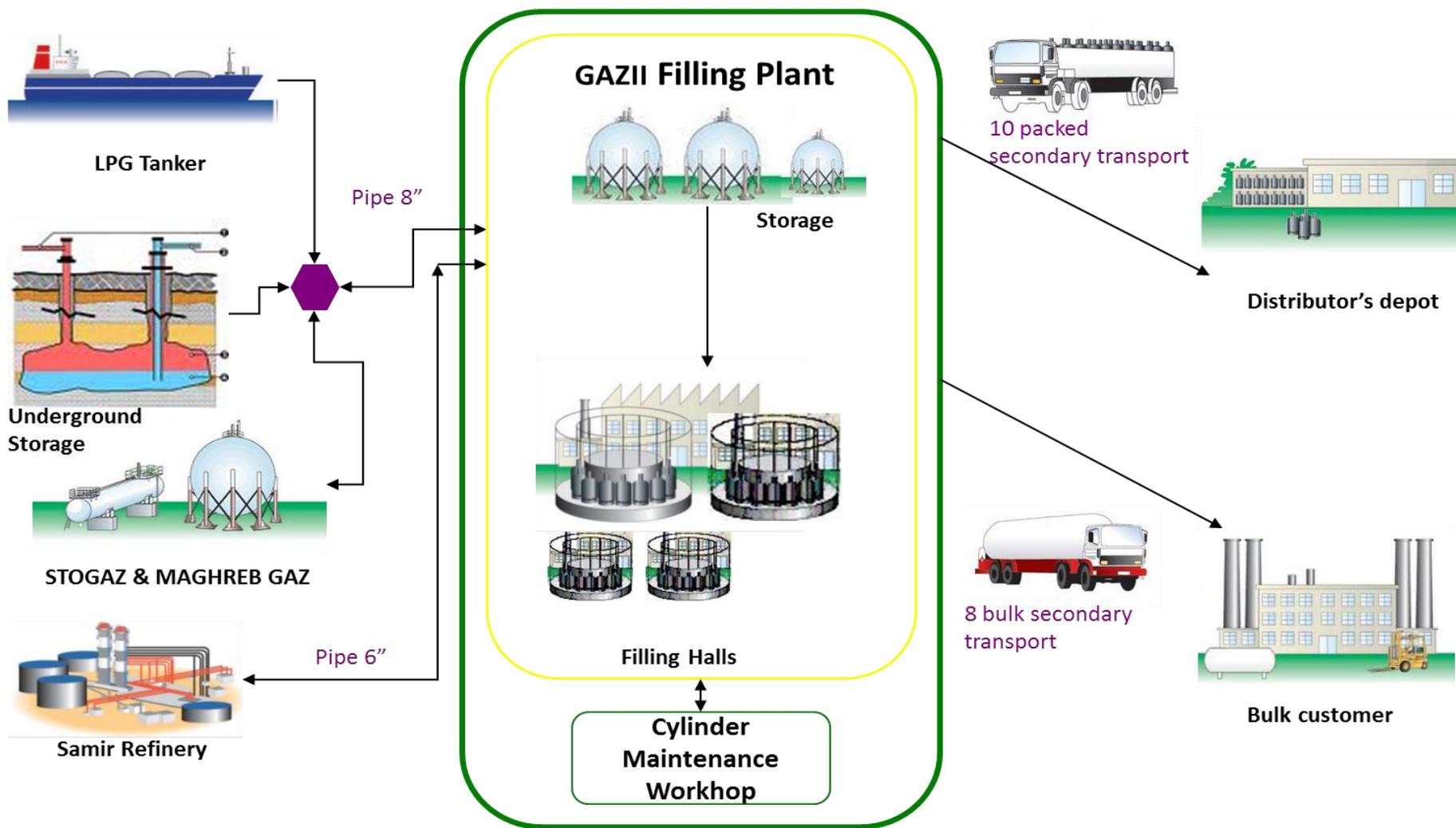


Figure I. 2 : Stockage et Transport de GPL (source : Vivo Energy Maroc)



---

### **III. Cadre général du Projet**

#### **III.1. Présentation de la problématique**

Dans un environnement en perpétuelle évolution, où le contexte concurrentiel accentue la pression sur les coûts et les exigences du service, les décisions stratégiques et tactiques rendent nécessaire une organisation capable de gérer les flux de l'entreprise.

Par conséquent, la logistique, gestion des flux tant internes qu'externes à l'organisation, revêt aujourd'hui une importance capitale. C'est le maillon opérationnel de la flexibilité et de la réactivité recherchée.

La situation que nous traitons fait appel à la gestion des processus depuis l'arrivée de la commande du client jusqu'au processus de réparation et la livraison des bouteilles réparées que ce soit pour l'emplissage à Gaz II ou aux autres centres filiaux.

Nous avons deux types de bouteilles destinées à être réparées et en suite à être remplies. Chaque type de bouteilles se caractérise par un délai de traitement et une quantité à réparer. Pour accomplir cette tâche, Vivo Energy Maroc dispose d'un Atelier de Réparation des Bouteilles (ARB) qui se compose de plusieurs postes de travail. Étant donné que la capacité de ces postes est limitée, une gestion bien structurée et organisée est nécessaire.

L'objectif visé est d'améliorer la performance du processus gestion Métal, il ne s'agit pas uniquement de piloter un flux physique, mais de synchroniser l'aboutissement de tous les flux tout en assurant une bonne qualité de bouteilles au client et dans les meilleurs délais.

#### **III.2. Mission et Objectifs**

L'objectif principal du Projet est de mettre à niveau la plate-forme de gestion Métal conformément à la vision et standards Shell.



La mission qui nous a été confiée à Vivo Energy Maroc est d'assurer une meilleure gestion des flux et d'augmenter la performance du processus gestion Métal en vue d'améliorer la productivité. Cette mission s'est étalée sur trois mois durant lesquels nous travaillions en collaboration avec les différents départements concernés et qui ont une influence directe sur le processus gestion Métal.

Afin d'accomplir notre mission, nous avons opté pour la démarche suivante :

- Dans un premier temps, nous avons procédé par une étude de l'existant afin de ressortir toutes les données dont nous aurions besoin ;
- Dans un second temps, nous avons élaboré des cartographies des flux. Ces cartographies permettent de visualiser les flux et d'analyser les résultats afin d'atteindre les objectifs recherchés ;
- Ensuite, nous avons proposé des solutions pour éliminer ou réduire les différents gaspillages dans le but de simplifier et faciliter la circulation des flux.

### **III.3. Planification du Projet**

Le projet de fin d'études a débuté le 12 Mars 2012 et a duré 3 mois. La figure I.3 présente le diagramme de GANTT représentant le planning qui a été suivi pour mener à bien le projet.



## **Chapitre II : Cartographie des processus, étude et analyse des gaps**



## Introduction

Toute entreprise ne vit pas toute seule, elle interagit avec son environnement (marché, fournisseurs, clients, concurrence, etc.), cet environnement évolue continuellement et oblige les entreprises à s'adapter au progrès et à améliorer ses performances d'une manière continue pour qu'elle reste compétitive sur le marché. Cette amélioration se fait par l'apport des idées créatives et par l'amélioration continue de l'existant.

Dans le cadre de l'amélioration de la performance globale de l'Atelier de Réparation des Bouteilles (ARB) et dans le but d'augmenter la productivité, nous étions amenés à faire une étude des flux circulant à l'Atelier de Réparation des Bouteilles pour en assurer une meilleure gestion et une meilleure organisation et contribuer ainsi à l'amélioration de la productivité.

Pour ce faire, nous avons adopté la démarche suivante :

- Nous avons commencé par présenter la division Butagaz et ses différents ateliers ;
- Une étude de l'existant a été menée en se basant sur la cartographie des flux et de l'analyse des temps et des délais des opérations.

## I. Description de l'usine Butagaz

L'usine Butagaz est subdivisée en deux ateliers principaux : Atelier de Réparation des Bouteilles (ARB) et Atelier d'emplissage des bouteilles (Gaz II). Dans la suite, nous ferons une analyse détaillée des différents ateliers.

### I.1. Description de l'Atelier de Réparation des Bouteilles (ARB)

Après avoir reçu des bouteilles triées selon des paramètres bien définis (à savoir la corrosion, la forme de la bouteille, etc.), les bouteilles sont triées une seconde fois selon leurs âges, leurs



gonflages. Pour ces deux derniers critères, les bouteilles sont renvoyées pour la réforme. Les autres bouteilles sont renvoyées à l'Atelier de Réparation des Bouteilles (ARB) pour être réparées.

Le processus de réparation des bouteilles est défini comme suivant :

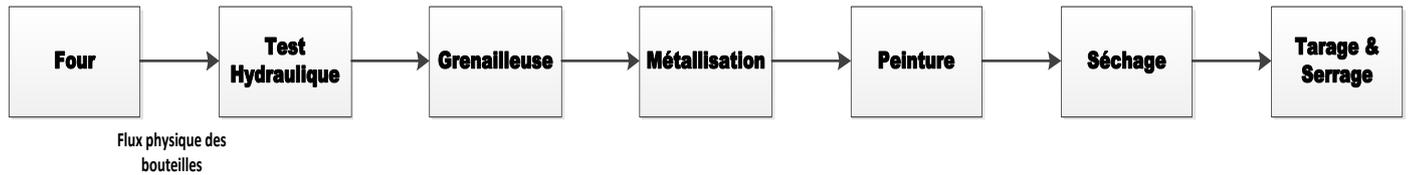


Figure II. 1 : Processus de réparation des bouteilles

- **Recuit de normalisation**

Les bouteilles subissent après débosselage, un traitement de normalisation pendant lequel elles sont portées et maintenues à une température de 920 ° C, puis refroidies à l'air ambiant. La durée du maintien d'un lot de bouteilles à cette température est de 21 minutes ; le contrôle de la température du four se fait au moyen d'un pyromètre enregistreur.

- **Épreuve Hydraulique**

Après recuit et refroidissement complet, toutes les bouteilles sont soumises à une épreuve hydraulique conformément à la réglementation des appareils à pression de gaz.

Elles sont remplies d'eau et subissent une augmentation de pression grâce à un multiplicateur hydraulique air-eau, progressivement jusqu'à 30 bars. Cette pression est maintenue le temps nécessaire pour que le contrôleur puisse constater l'absence d'éventuelles fuites. Puis elles sont vidées par une propulsion d'air jusqu'à séchage.

Cette épreuve hydraulique est réalisée sous le contrôle de l'expert mandaté par le service des Mines.

- **Grenailage**



Les bouteilles sont décapées extérieurement à sec par un jet de grenaille, afin d'éliminer toute trace d'oxyde ou d'enduit quelconque. Ce décapage est suffisamment efficace pour assurer une parfaite adhérence de la couche de métallisation.

- **Métallisation**

Aussitôt après grenailage, les bouteilles sont métallisées par projection, avec un dispositif de métallisation, d'une couche de zinc à une épaisseur de 40 microns réparties uniformément sur le corps de la bouteille.

- **Peinture**

Après la métallisation, il est appliqué sur les bouteilles deux couches de peinture, une couche d'impression et une couche de finition ; l'épaisseur totale de la peinture est de 40 microns. La peinture subit ensuite une étuve de polymérisation.

- **Montage des boîtes à clapets et robinets**

Après les opérations de peinture une boîte à clapet ou bien robinet est montée sur la collerette de la bouteille avec une machine à visser.

- **Tarage**

La bouteille finie avec robinet ou boîte à clapet, est pesée avec précaution, au moyen d'une balance et la tare est inscrite sur la bouteille.

### **I.2. Description du processus d'emplissage des bouteilles (Gaz II)**

Les bouteilles provenant de chez les dépositaires constituent l'entrée du processus d'emplissage, ce dernier est composé de plusieurs postes de travail assurant l'emplissage des différents types de bouteilles. Ce processus peut être défini de la manière suivante :



- **Déchargement et Déchapeautage**

Les bouteilles vides venant des dépositaires sont déchargées dans un convoyeur, ce dernier transmet les bouteilles vers le poste de déchapeautage. L'opération de déchapeautage est assurée par deux opérateurs et ayant un délai process de 4,4 min.

- **Poste Tri**

Dans ce poste les bouteilles sont triées selon des critères définis dans les standards Shell à savoir le critère de corrosion et la gravité des bosses dans les bouteilles. Le poste de tri des bouteilles est considéré comme un poste critique dans le processus d'emplissage des bouteilles pour deux raisons. D'une part, le tri se fait d'une manière subjective et selon l'expérience de l'opérateur qui fait le tri ; ce qui mène à se poser la question sur l'efficacité du tri des bouteilles et d'autre part, le poste de tri représente le fournisseur des bouteilles pour le processus de réparation des bouteilles ce qui revient aussi à se poser la question sur le coût élevé de réparation des bouteilles.

- **Manège**

C'est dans ce poste que les bouteilles sont remplies de gaz butane. Pour l'emplissage des bouteilles, il y a deux lignes, SIRAGA et PAM de cadences respectivement 1200 bouteilles par heures et 1000 bouteilles par heures. Le temps d'emplissage d'une bouteille dans la ligne SIRAGA est 1min 6s.

- **Poste Plonge**

Après l'emplissage des bouteilles, ces dernières sont plongées dans un réservoir d'eau afin de détecter s'il y a des fuites de gaz au niveau de la bouteille. Le temps process du poste Plonge est de 1min 38s.

- **Poste Capsulage**



Dans ce poste, on met des capsules au niveau du robinet de la bouteille pour éviter les fuites de gaz.

Le temps process du poste Capsulage est de 22s.

- **Poste Contrôle fuite**

Dans ce poste le contrôle de fuite de gaz se fait par un détecteur de fuite au niveau du robinet de la bouteille.

- **Poste de Chapeautage et Chargement**

C'est le dernier poste du processus d'emplissage des bouteilles, dans ce poste les bouteilles sont chapeautées et chargées dans des casiers de 35 bouteilles. Le temps de process de ce poste est 5 min.

## **II. Généralités sur l'approche processus**

### **II.1. Définition de l'approche processus**

*L'approche processus désigne l'application d'un système de processus au sein d'un organisme, ainsi que l'identification, les interactions et le management de ces processus en vue d'obtenir le résultat souhaité. Elle est transversale et centrée sur la finalité et la cible. [2]*

L'un des avantages de l'approche processus est la maîtrise permanente qu'elle permet sur les relations entre les processus individuels au sein du système de processus, ainsi que sur leurs combinaisons et interactions.

Lorsqu'elle est utilisée dans un système de management de la qualité, cette approche souligne l'importance :

- De comprendre et de remplir les exigences ;
- De considérer les processus en termes de valeur ajoutée ;
- De mesurer la performance et l'efficacité des processus ;
- D'améliorer en permanence les processus sur la base de mesures objectives.



## II.2. Définition d'un processus

*Un processus est un système d'activité qui utilise des ressources (personnels, équipements, informations, matériels) pour transformer des éléments entrants en élément sortants. [2]*

Un processus présuppose :

- Des éléments entrants mesurables ;
- Une valeur ajoutée ;
- Des éléments de sortie mesurables, conformes à des critères d'acceptation.

La figure suivante représente un processus avec ses principaux composants :

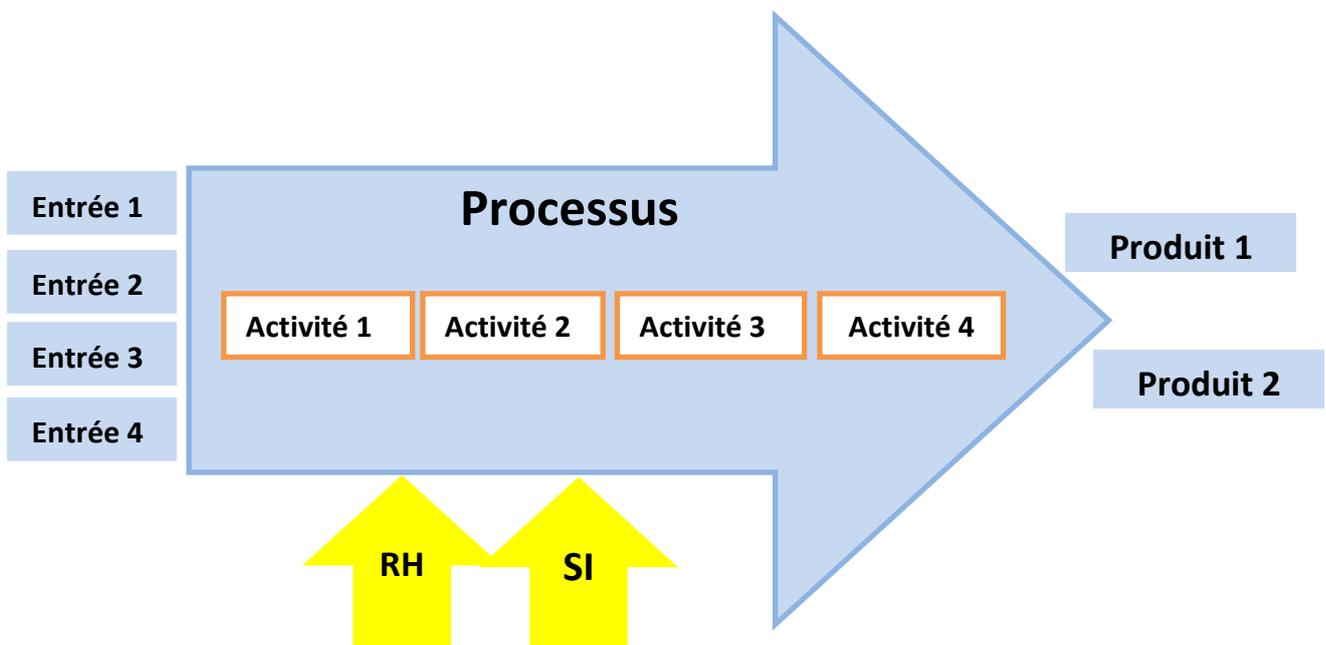


Figure II. 2 : Schématisation d'un processus

## II.3. Types de processus

Les processus peuvent être classés en trois grandes familles :

- Les processus de réalisation – opérationnels ;
- Les processus de support – de soutien ;



- Les processus de pilotage – de management.

### **a. Processus de support – de soutien**

Bien qu'ils ne créent pas de valeurs directement perceptibles par le client, ils sont nécessaires au fonctionnement permanent de l'organisme et sa pérennité, ils contribuent au bon déroulement des processus de réalisation en leur apportant les ressources nécessaires.

Les processus de support recouvrent :

- Les ressources humaines ;
- Les ressources financières ;
- Les installations et leur entretien (locaux, équipements, matériels, logiciels)
- L'information et le savoir-faire.

### **b. Processus de réalisation – opérationnels**

Ils contribuent directement à la réalisation du produit, de la détection du besoin du client à sa satisfaction.

Ils regroupent les activités liées au cycle de vie d'un produit : recherche et développement des nouveaux produits, commercial et gestion des contrats, conception, achats et approvisionnements, logistique, production et maîtrise des relations avec le client.

### **c. Processus de pilotage – de management**

Ils contribuent à la détermination de la politique et au déploiement des objectifs dans l'organisme. Sous la responsabilité totale de l'équipe dirigeante, ils permettent d'orienter et d'assurer la cohérence des processus de réalisation et de support.

Les processus de pilotage recouvrent :



- Élaboration de la stratégie de l'organisme ;
- Management de la qualité de l'organisme ;
- Communication interne et mobilisation du personnel.

Le schéma suivant représente l'application de l'approche processus sur un organisme :



Figure II. 3 : Schématisation de l'approche processus d'un organisme [2]

### III. Cartographie des processus

#### III.1. Définition de la cartographie

*La cartographie des processus est la fondation du management des processus qui est une des composantes du management général des organisations. La cartographie des flux de valeur, appelée*



*aussi cartographie de la chaîne de valeur est une représentation schématique des différents flux logistiques d'une entreprise ou d'une unité de production. Elle permet de visualiser aussi bien les flux physiques que les flux d'informations. [3]*

Une cartographie est donc un plan qui identifie les processus (les rouages de la mécanique) et les interfaces (les points de contact entre les rouages) afin de montrer les liens opérationnels entre les données d'entrée et les données de sortie.

### **III.2. Objectifs de la cartographie**

Comprendre et formaliser le mécanisme interne d'une entreprise à travers l'identification des processus et de leurs interrelations. La maîtrise des processus est basée sur la mise en œuvre de bonnes pratiques de travail, sur la connaissance des finalités de chaque processus et sur l'établissement de contrats d'interfaces.

Le management des processus s'appuie sur cette maîtrise mais aussi sur l'attribution de la responsabilité d'atteindre les finalités à des personnes et sur la mesure et l'amélioration des performances.

### **III.3. Étapes de réalisation de la cartographie**

La réalisation et l'exploitation de la cartographie des flux nécessitent le suivi des phases suivantes :

- **Phase 1** : Cartographier l'état actuel afin de visualiser et de comprendre l'état présent des activités, ceci se fait à travers :
  - L'identification des différents processus qui sont en relation avec la gestion Métal, et ceci grâce à une cartographie macroscopique ;
  - La focalisation sur les processus qui ont une forte incidence sur la gestion Métal ;



- L'identification des clients et des fournisseurs, ainsi que les liens entre eux à chaque étape ;
- L'identification de la nature des flux échangés, à savoir les flux physique ou les flux de matières et les flux d'informations ;
- La mesure des performances et des finalités des processus.
- **Phase 2** : Faire une analyse critique de chaque flux, afin de ;
  - Repérer toute forme de gaspillage ;
  - Retracer les processus optimisés en prenant le soin d'éliminer dans chaque flux, les activités sans valeur ajoutée ;
  - Cartographier la situation future.
- **Phase 3** : Proposer des actions correctives ;
  - Détailler dans un planning leur ordre, délai et coût d'exécution ;
  - Concevoir les outils de contrôle en désignant les responsables et la périodicité de mis à jour de chaque rapport ;
  - Suivre l'avancée des améliorations jusqu'à l'atteinte des objectifs.

### III.4. Élaboration de la cartographie des processus

Comme cité ci-dessus, nous avons élaboré différentes cartographies des processus, visualisant les flux de matières et d'informations depuis l'arrivée des commandes clients, en passant par les étapes de fabrication, jusqu'à la livraison des produits finis aux dépositaires.

Puisque le processus macroscopique de gestion Métal n'est pas suffisant pour nous donner une image et une mesure des performances des autres processus, nous avons décidé de représenter des cartes représentant les différents processus :

- Une carte macroscopique pour l'activité d'entreprise (Figure II.3) ;



- Une carte focalisée sur la gestion Métal (Figure II.4) ;
- Une carte pour le processus de réparation des bouteilles (Figure II.5) ;
- Une carte pour le processus d'emplissage des bouteilles (Figure II.6).

Après avoir représenté les cartographies des flux, nous avons collecté les données correspondant au temps et à la nature des flux, ce qui nous a permis de déterminer :

**Des flux d'informations :** ce sont des documents qui circulent durant le processus de production et qui servent à identifier les produits. Par exemple l'ordre de fabrication sur lequel on trouve toutes les données nécessaires, les opérations à effectuer, les planifications soit pour la production ou pour la logistique, les consignations ou déconsignations, les projets d'investissement.

**Des flux physiques :** ce sont les bouteilles circulant le long du processus de fabrication et de livraison soient vides ou pleines. La circulation de ces flux est assurée par les chariots, les convoyeurs et les camions.

**Des temps de processus :** ce sont des durées obtenues à partir du chronométrage. Il faut signaler qu'ici nous n'avons pris en considération que les temps machines, qui sont des temps nécessaires pour apporter une valeur ajoutée aux produits.

**Des délais de processus :** ce sont les durées des tâches qui accompagnent la réalisation du processus, ces délais représentent les durées écoulées entre le début d'une opération jusqu'à sa fin, ils comprennent les temps suivants :

- Temps de processus ;
- Temps de transport ;
- Temps d'attente ;
- Temps de réglage ;
- Temps d'indisponibilité de l'opérateur ou de la machine ;



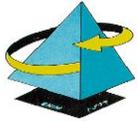
- Temps de transfert.

**Nombre d'opérateurs :** c'est le nombre d'opérateurs qui interviennent au niveau d'une opération du processus de production.

**Taille du lot :** c'est la quantité pour laquelle on a calculé le temps et délais du processus.

Après avoir effectué des séances de brainstorming avec les responsables de tous les services de l'entreprise Vivo Energy Maroc – Division Butagaz -, nous avons pu déterminer les flux physique et les flux d'information de chaque processus ainsi que les interrelations existant entre les processus. Ceci nous a permis, dans un premier lieu, d'élaborer la cartographie des macro-processus de l'entreprise (Figure II.3) ainsi que la cartographie du processus gestion Métal (Figure II.4).

En se focalisant sur le flux physique des bouteilles au sein de l'atelier de réparation des bouteilles ARB et au sein du centre d'emplissage des bouteilles (Gaz II), et grâce aussi à des séances de brainstorming avec les opérateurs, les chefs de production et les chefs de maintenance, nous avons pu déterminer et le flux des bouteilles entre les postes de travail au sein des deux ateliers et le temps de cycle de chaque poste, pour aboutir à la fin à la cartographie du processus réparation des bouteilles ARB (Figure II.5) et la cartographie du processus emplissage des bouteilles Gaz II (Figure II.6), (Symboles utilisés dans la cartographie, Annexe1).



## Chapitre II : Cartographie des processus, étude et analyse des gaps

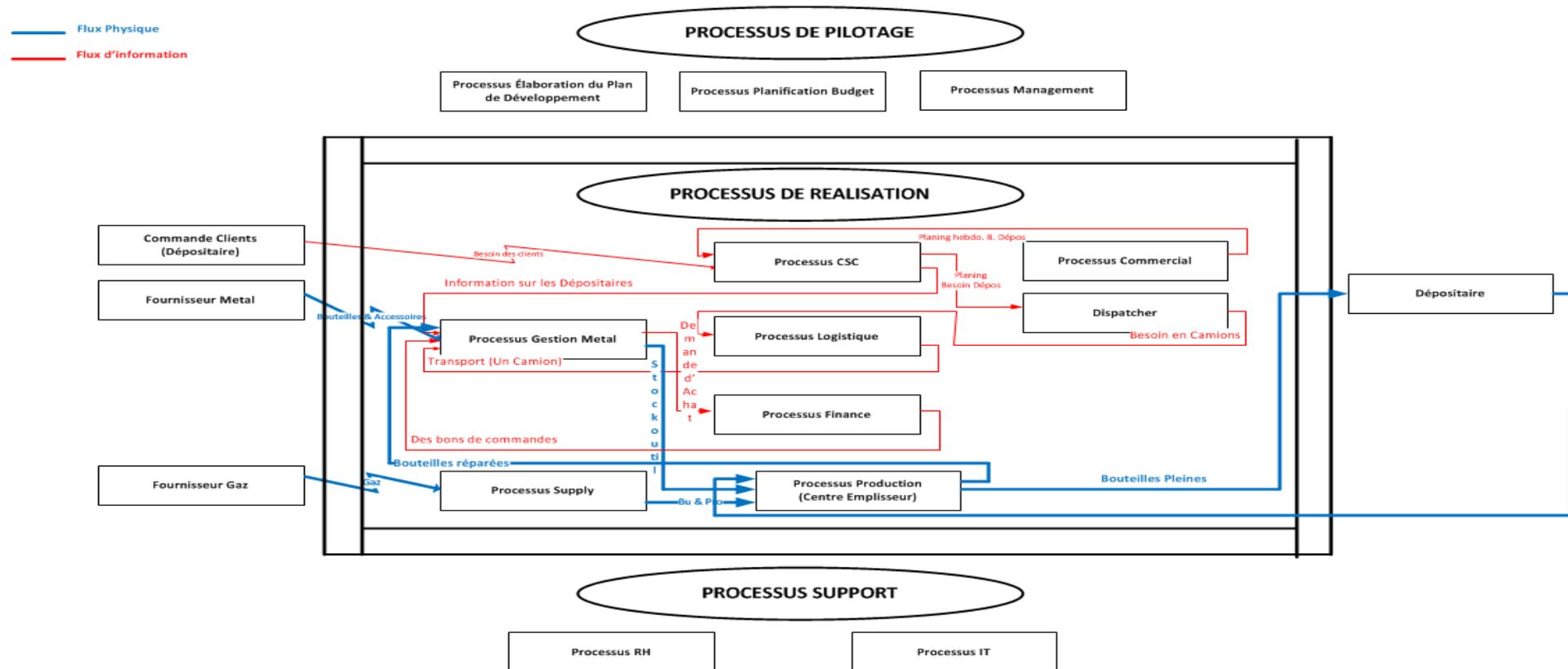
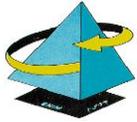


Figure II. 4 : Cartographie des macro-processus de l'entreprise



## Chapitre II : Cartographie des processus, étude et analyse des gaps

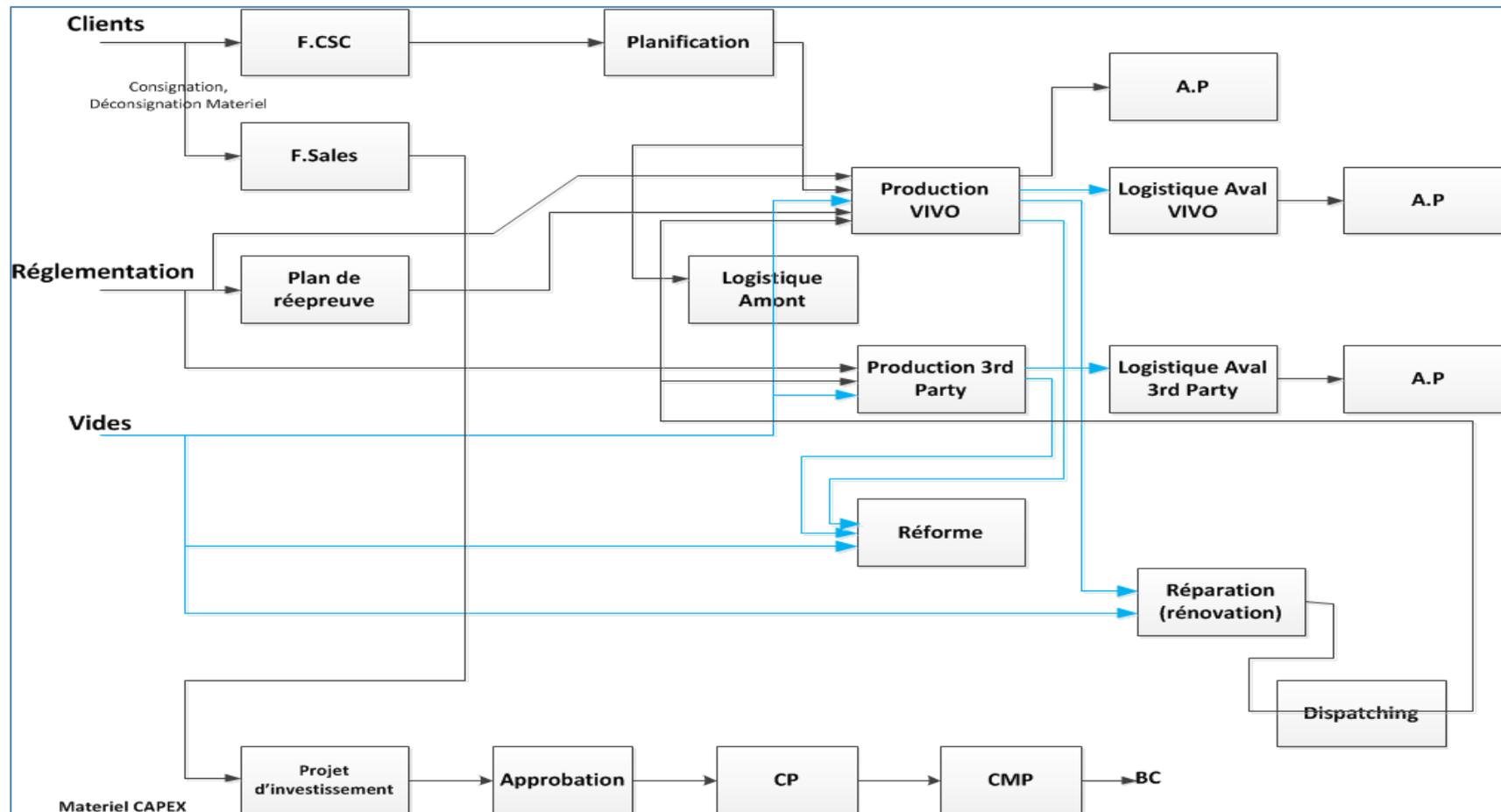
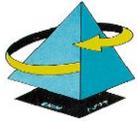


Figure II.5 : Cartographie du processus gestion Métal



## Chapitre II : Cartographie des processus, étude et analyse des gaps

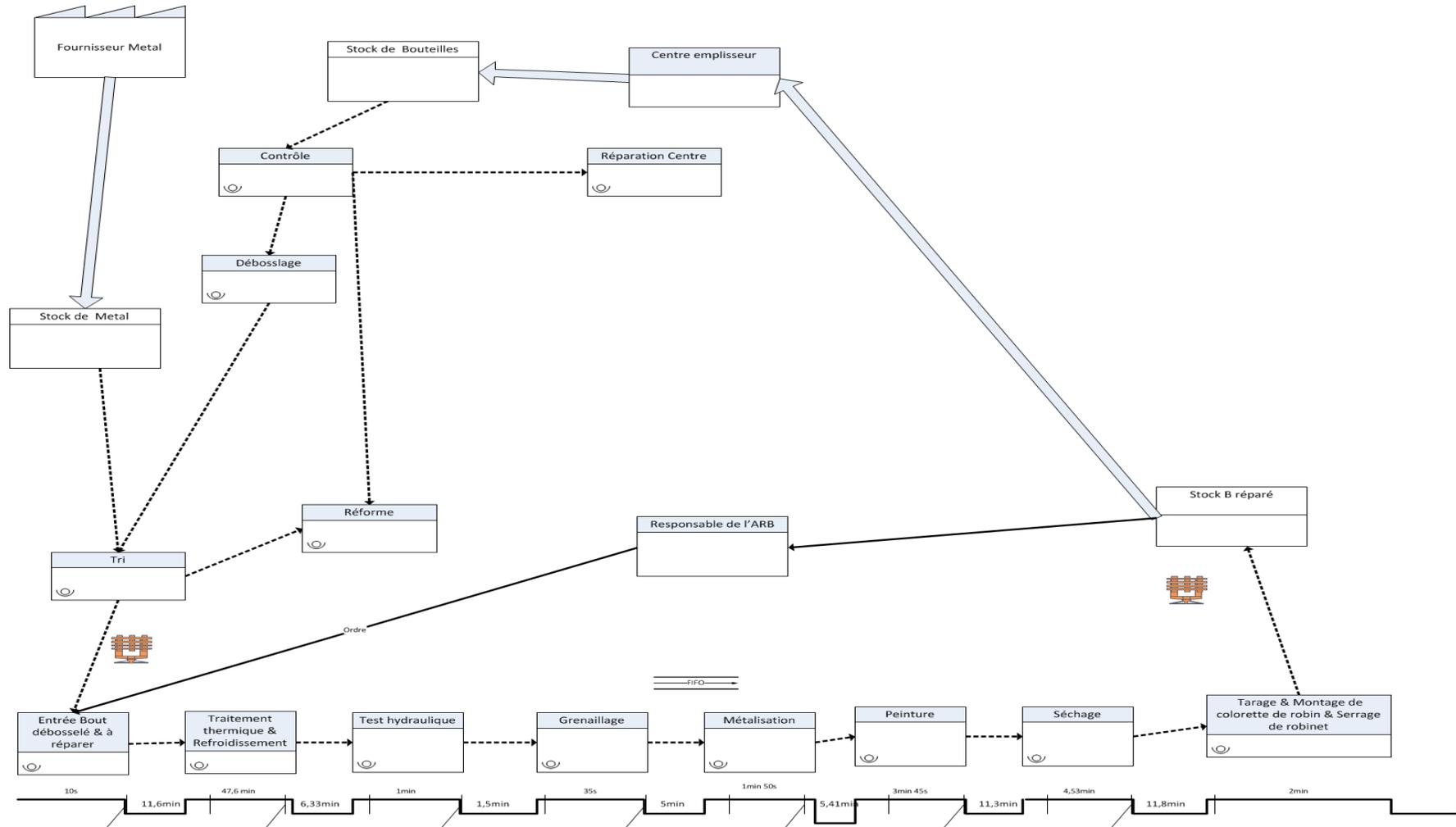
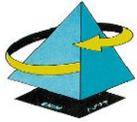


Figure II. 6 : Cartographie du processus Réparation des bouteilles (ARB)



## Chapitre II : Cartographie des processus, étude et analyse des gaps

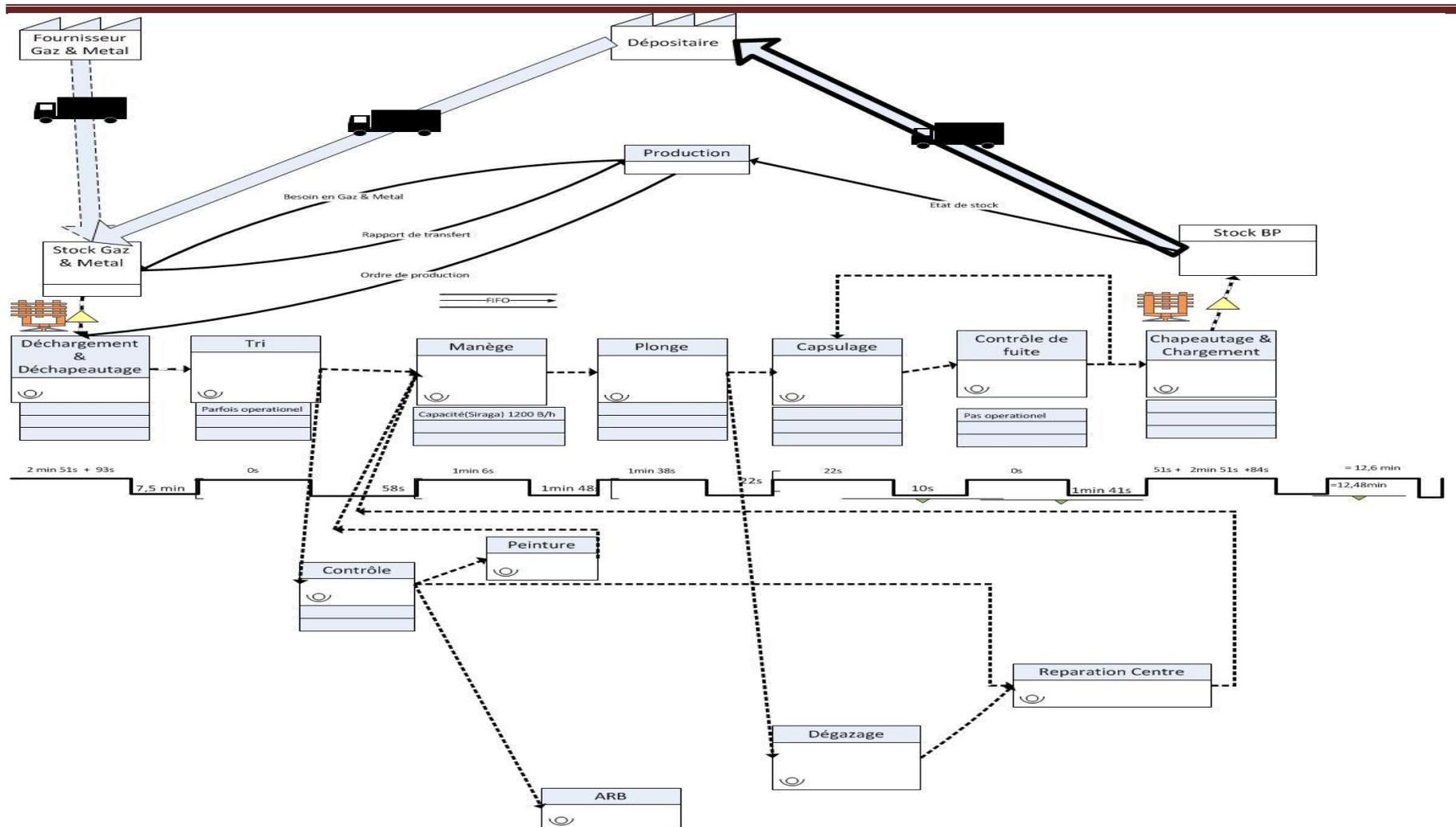
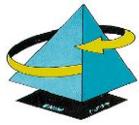


Figure II. 7 : Cartographie du processus d'Emplissage des bouteilles (Gaz II)



## IV. Exploration des cartographies des processus

### IV.1. Analyse des cartographies des processus

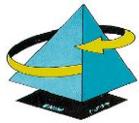
L'objectif de la cartographie des processus ne se limite pas seulement à la représentation de l'état actuel des différents processus et des étapes de la production, mais elle permet aussi l'exploitation des données relatives à chaque niveau de la cartographie, pour pouvoir ainsi proposer des améliorations.

Pour cela, nous présentons tout d'abord une image et une étude critique des différents processus, d'où il est recommandé selon l'approche processus version 2000 d'avoir une échelle de maturité des processus pour éviter les évaluations "bon/mauvais".

Le tableau suivant résume les différents critères de maturité et de progrès des processus :

Tableau II. 1 : Progrès et maturité des processus (source : Approche processus version 2000)

Niveau de progrès	Performance du système	Maturité du processus	Définition et justification
1 : fonctionnement de base	Aléatoire	Instable	<ul style="list-style-type: none"><li>- Produit existant</li><li>- Les écarts constatés ont des conséquences directes</li></ul>
2 : défini, planifié, suivi	Conforme	Stabilisé	<ul style="list-style-type: none"><li>- Conforme aux exigences exprimées par le client</li></ul>
3 : maîtrisé	Efficace	Adapté	<ul style="list-style-type: none"><li>- Conforme aux exigences spécifiées (Client, réglementation, organisme)</li><li>- Insuffisance de formalisme pouvant entraîner des écarts mineurs.</li></ul>
4 : optimisé	Efficient	Prévisible	<ul style="list-style-type: none"><li>- Bonne maîtrise du processus</li><li>- Conforme aux besoins et aux tendances du marché</li></ul>
5 : amélioration permanente	Excellent	Agile, réactif	<ul style="list-style-type: none"><li>- Processus flexible, innovant et leader sur le marché</li></ul>

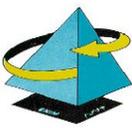


En appliquant la méthode SIPOC (Annexe 1) à chaque processus, nous avons extrait toutes les données nécessaires pour mettre les processus sous les critères cités dans le tableau ci-dessus.

On classifie donc chaque processus selon ces descriptions suivantes :

- **Décrire les données de sortie du processus :**
  - Qui est le client interne-externe et que veut-il ? (Quels sont ses critères de satisfaction, ses spécifications.)
  - Quels est le résultat du processus ? (le produit, le service, les documents...)
  - Quand considère-t-on que le cycle du processus est terminé ?
  
- **Décrire les données d'entrée du processus :**
  - Les ressources d'entrée du processus (ressource : matérielles, humaines et informatives nécessaires)
  - Qui est le fournisseur interne-externe et que nous doit-il ? (Quels sont mes critères de satisfaction, mes spécifications.)
  
- **Décrire l'activité du processus :**
  - Que fait le processus ;
  - Qui est acteur dans le processus et quelles sont les compétences requises ;
  - Qu'elles sont les contrôles, mesures, indicateurs et revues pendant et à la fin du processus ;
  - Quels sont les ressources matérielles associées au processus ;
  - Quel est l'environnement de fonctionnement optimal du processus.

D'après les critères de progrès et de maturation des processus et selon les justifications au niveau des données et donc le niveau de maturation pour chaque processus, nous avons établi les tableaux suivants représentant chaque processus, ses interrelations et son niveau de progrès ainsi que les indicateurs de performances existants et les indicateurs manquants.



## Chapitre II : Cartographie des processus, étude et analyse des gaps

Tableau II. 2 : Le processus, son niveau de progrès et ses interrelations

Processus	Processus en interaction	Éléments fournis	Éléments reçus	Commentaires	Niveau de Progrès
<b>Processus Commercial</b>	- CSC	- Planning annuel des besoins dépositaires	- Consignation, Déconsignation des bouteilles	- Existence des écarts au niveau des prévisions	3
<b>Processus Production</b>	- CSC - Réforme - Réparation - Logistique	- Bouteilles pleines - Bouteilles à réparer ou à réformer	- Bouteilles vides, réparées - Accessoires bouteilles, Gaz - Besoins clients, - Réglementation - Plan de répreuve - Planification	- Taux de rendement, que ce soit pour les machines ou M.O, n'est pas atteint - Manque d'effectif - Manque de stock bouteilles vides - Opérateurs non qualifiés - Pas d'indicateurs de suivis	1
<b>Processus Logistique</b>	- CSC - Production - Réparation	- Camions - Livraisons selon planning	- Besoins des clients (CSC) - Planning	- Existence des écarts mineurs dus à l'attente des camions - Livraisons ratées	3
<b>Processus Réparation</b>	- Production - Logistique - Réforme	- Bouteilles réparées, à réformer - Accessoires Bouteilles	- Bouteilles à réparer - Accessoires bouteilles - Réglementation	- Taux de rendement n'est pas atteint - % des bouteilles à réparer provenant de chaque centre avec un taux d'erreur (tri) - Goulot au niveau du four	2
<b>Processus Réforme</b>	- Production - Réparation	- Bouteilles réformées (écraser)	- Bouteilles à réformer - Réglementation	- Grande quantité des bouteilles réformées - Pas de suivi des bouteilles réformées provenant de chaque centre ou par dépositaire - Taux Réforme par nature (âge, gonflage...)	3
<b>Processus CSC</b>	- P. Metal - Production - Logistique - Commercial	- Besoins clients	- Besoins clients - Planning hebdo des besoins dépositaires - Situations des livraisons - Réclamations clients...	- Taux de livraisons non atteints (90%) - Il ne faut pas dépasser 3% des réclamations	4



Tableau II. 3 : les processus, leurs indicateurs de performance existants et manquants

Processus	Indicateurs existants	Indicateurs manquants
<b>Processus Production</b>	- Indicateur de rendement	- Indicateur d'allure - Indicateur de disponibilité
<b>Processus Logistique</b>	- Indicateur de suivi journalier des camions	-----
<b>Processus Réparation</b>	- Aucun indicateur	- Indicateur d'allure - Indicateur de disponibilité
<b>Processus Réforme</b>	- Aucun indicateur	- Indicateur d'allure - Indicateur de disponibilité
<b>Processus CSC</b>	- OTIF - Pourcentage des réclamations par rapport aux appels	-----

Comme cité auparavant, l'objectif de la cartographie des processus ne se limite pas à la représentation des processus et leurs interrelations, mais elle permet aussi l'exploitation des données en se basant sur des indicateurs de performance.

Pour cela, nous présentons tout d'abord une synthèse des temps des différentes opérations, puis nous passons au calcul du temps total du process ( $T_P$ ), et du délai total du process ( $D_P$ ), afin de calculer le ratio qui représente le pourcentage du temps à valeur ajoutée par rapport au délai total de la fabrication. Ce ratio est calculé par la formule suivante :

$$Ratio(T_P / T_D) = \frac{\sum T_P}{\sum D_P}$$

Équation II. 1 : Calcul du ratio entre temps et délai process



### IV.1.1. Analyse de la cartographie du processus ARB

Le tableau suivant présente les temps et les délais du process de réparation des bouteilles :

Tableau II. 4 : Synthèse de temps et délai process pour l'ARB

Opération	Temps Process $T_P$ (min)	Délai Process $D_P$ (min)
Entrée bouteilles	0,16	0,16
Four	47,6	59,2
Test Hydraulique	1	7,33
Grenailleuse	0,58	2,08
Métallisation	1,83	6,83
Peinture	3,75	9,16
Séchage	4,53	15,83
Tarage & Serrage	2	13,8
<b>Temps Total (min)</b>	<b>61,45</b>	<b>114,39</b>
	<b>Ratio (<math>T_P / D_P</math>)</b>	<b>54%</b>

Comme on peut le constater sur le tableau ci-dessus, pour certaines opérations il y a des écarts importants entre le délai et le temps process, cet écart est la conséquence directe d'un ensemble de tâches sans valeur ajoutée, c'est ce qui justifie le faible ratio qui ne dépasse pas 54%.

Le graphe suivant représente les temps et les délais par opération du process de réparation des bouteilles (ARB).

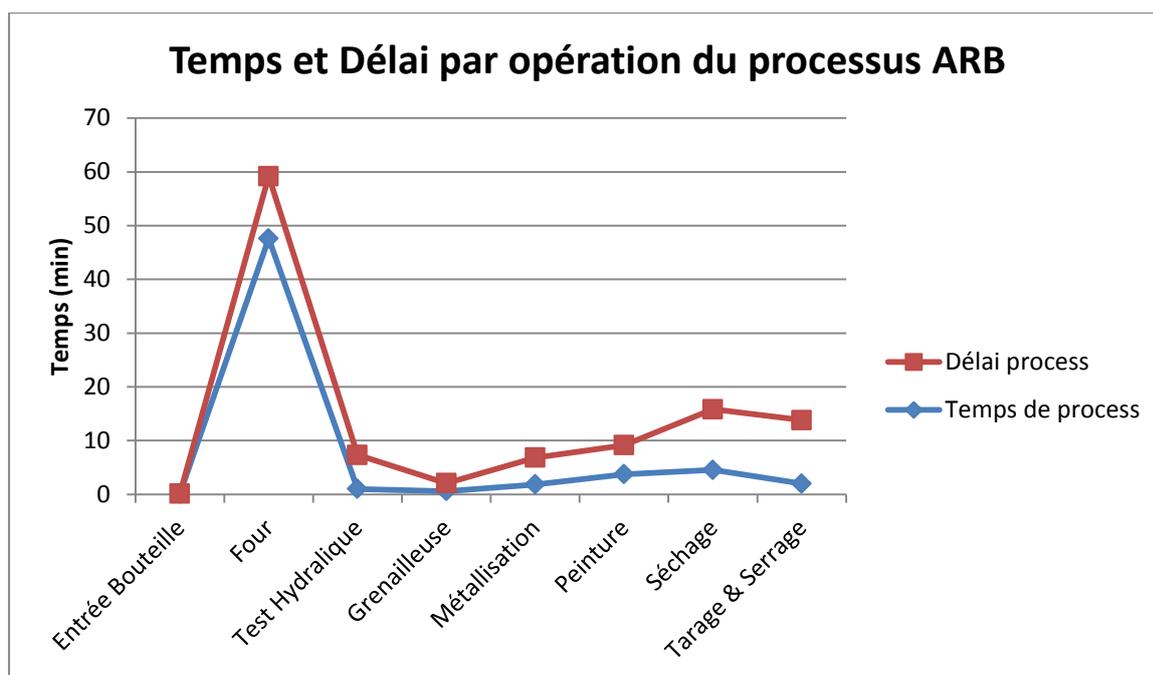
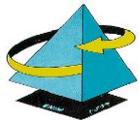


Figure II. 8 : Graphe des Temps et Délai process par opération dans le processus ARB

Le graphe montre l'écart important entre les temps et les délais du process surtout au niveau de l'opération Four (Traitement thermique), au niveau de l'opération Séchage et au niveau de l'opération Tarage et Serrage, et ceci peut être expliqué comme suit :

- Le temps de séjour des bouteilles dans le Four est assez long ;
- Le Four représente un goulot d'étranglement par rapport aux autres postes ;
- Au niveau du poste Tarage & Serrage des robinets, la tâche est manuelle, ce qui augmente le délai process de cette tâche.

#### IV.1.2. Analyse de la cartographie du processus d'emplissage des bouteilles

Le tableau suivant présente les temps et les délais process du processus emplissage des bouteilles :



Tableau II. 5 : Synthèse de temps et délai process pour le processus emplissage bouteilles

Opération	Temps Process $T_P$ (min)	Délai Process $D_P$ (min)
Déchargement & Déchapeutage	4,4	4,4
Tri	0,05	7,55
Manège	1,1	2,06
Plonge	1,63	4,43
Capsulage	0,36	0,72
Contrôle fuite	0	0,16
Chargement	5,1	6,78
<b>Temps Total (min)</b>	<b>12,64</b>	<b>26,1</b>
	<b>Ratio (<math>T_P / D_P</math>)</b>	<b>48%</b>

Comme ce qui a été constaté dans le tableau d'emplissage des bouteilles, on observe l'existence d'un écart important entre les temps et délais process.

Le graphe ci-dessous présente les temps et délais process par opération.

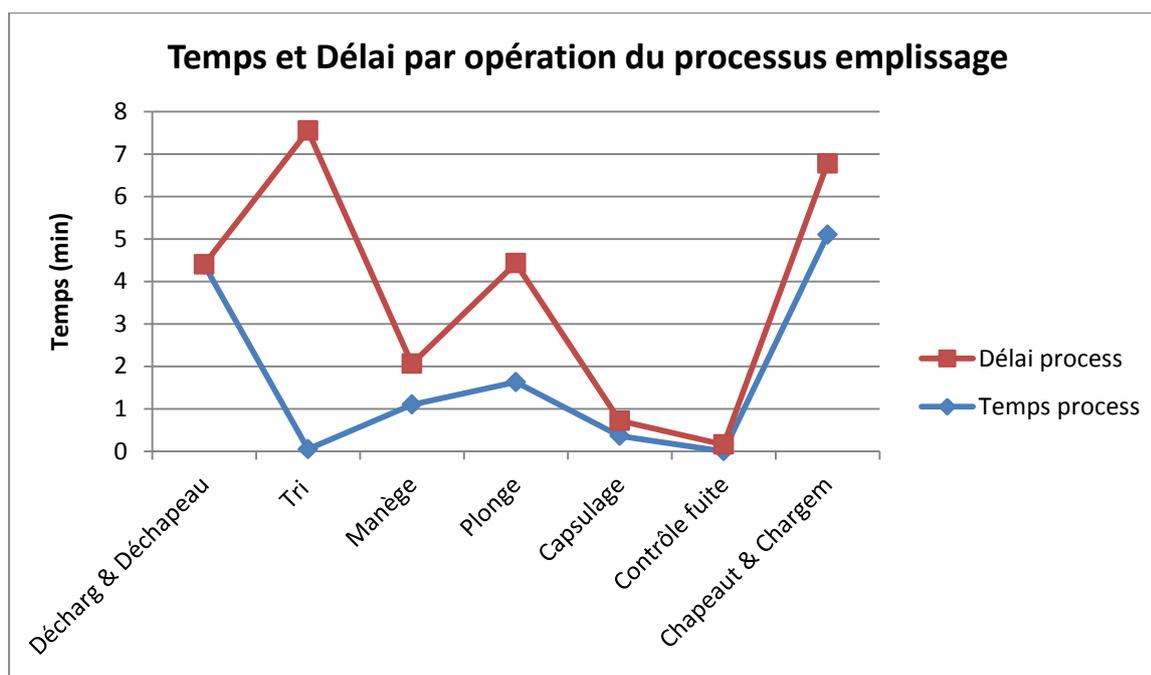
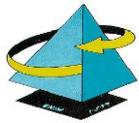


Figure II. 9 : Graphe des Temps et Délai process par opération dans le processus emplissage

Sur ce graphe, on peut constater un écart important ainsi que des postes non opérationnel surtout au niveau du Tri, au niveau du poste Plonge et au niveau du poste Contrôle fuite, ceci peut être interprété comme suit :

- L'opérateur exécute deux tâches en parallèles (trier les bouteilles et libérer les bouteilles coincées au niveau du contrôle poids) ;
- Le tri se fait le long de la chaîne, ce qui qui augmente le temps d'attente du poste tri ;
- Pas de contrôle en amont et en aval de la chaîne ;
- Pertes dues aux micro-arrêts et à la marche à vide ;
- Problèmes liés à la main d'œuvre (parfois des postes de travail ne sont pas opérationnels à cause de manque du personnel) ;
- Problèmes liés au stock des bouteilles vides ;
- Problèmes liés à l'opérateur du manège qui arrête son poste et s'occupe de trier les bouteilles pour libérer le poste de contrôle poids, cette opération cause des pertes de temps ce qui bloque le reste de la chaîne et cause des pertes en production.



### **IV.1.3. Diagnostic du processus logistique Métal**

Afin de pouvoir couvrir tout le territoire marocain, assurer la proximité au client, respecter les délais et éviter toute pénurie au niveau du stock des bouteilles vides ainsi que les consommables et accessoires des bouteilles, l'organisation des circuits de distribution, la programmation des départs de livraison et des quantités demandées, l'alternance des livreurs sur les différentes zones et le suivi de la bonne maintenance du matériel est une chose essentielle pour mener à bien la mission du processus gestion Métal qui doit assurer l'approvisionnement des centres emplisseurs de Vivo Energy Maroc ainsi que les centres emplisseurs confrères en matière de Métal, ces centres sont répartis presque dans tout le territoire du Maroc et représentent 18 centres emplisseurs à approvisionner, la figure II.9 schématise la répartition de ces centres les plus importants dans le territoire marocain.

La logistique Métal peut être subdivisée en deux grandes parties :

#### **A. Gestion du Transport**

Pour alimenter les stocks des dix-huit centres emplisseurs en bouteilles vides et accessoires bouteilles, le processus gestion Métal dispose en maximum deux camions, ce qui revient à dire une complexité de la planification des tournées et de minimisation des coûts de transport.

#### **B. Gestion de stock**

Avant d'approvisionner un centre emplisseur, il faut tout d'abord savoir quelle est la quantité qu'on doit transporter, et ceci n'est valable que si on arrive à bien gérer les stocks que ce soit pour les consommables et accessoires des bouteilles ou bien évidemment le stock des bouteilles vides disponible et dans le stock du processus Métal et dans le stock chez les autres centres emplisseurs.

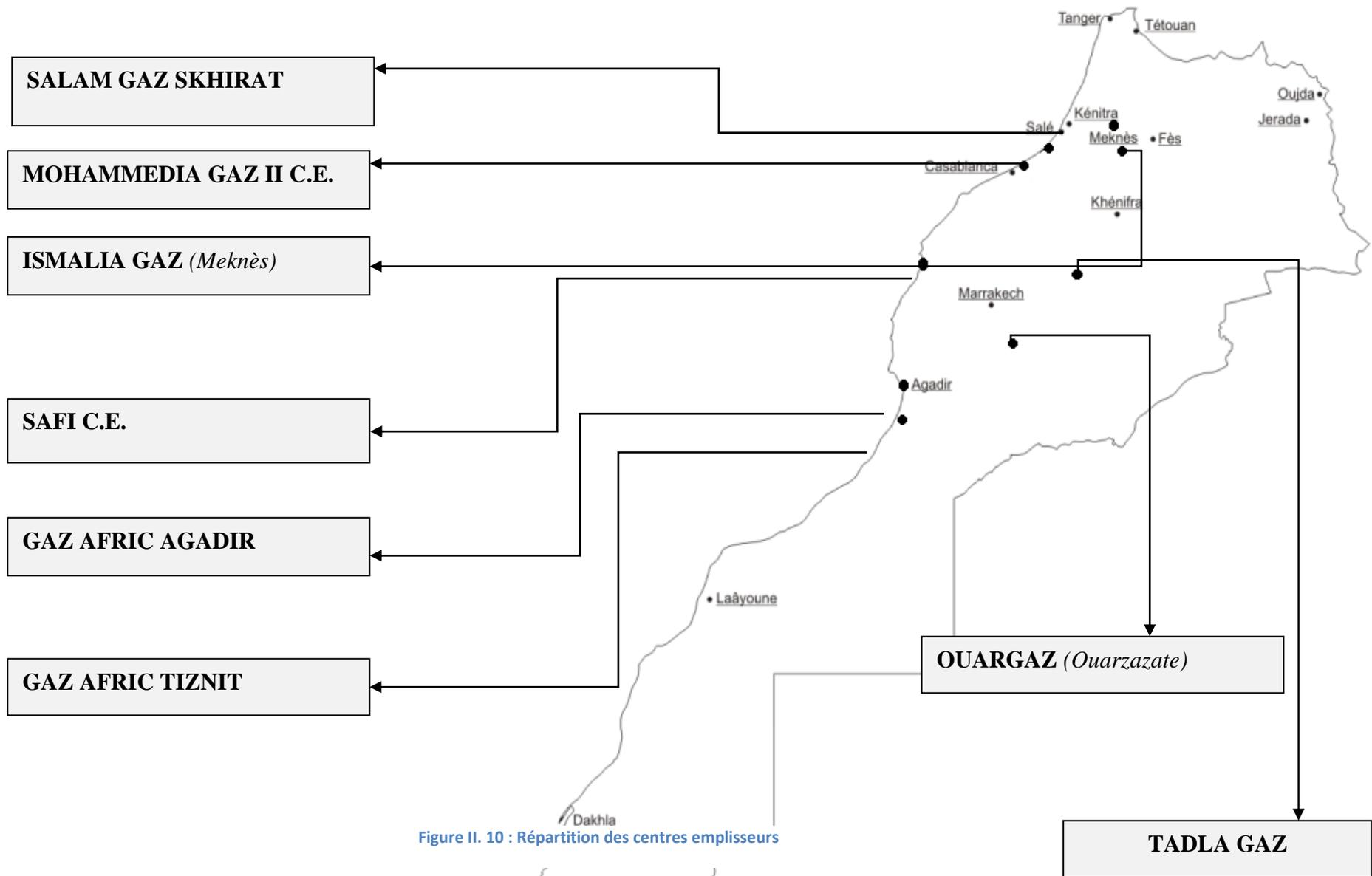
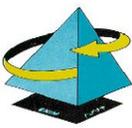


Figure II. 10 : Répartition des centres emplisseurs

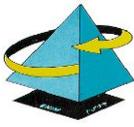


---

## Conclusion

L'étude des flux que nous avons menée par le biais de la représentation schématique en cartographies des flux et des processus a été fructueuse vu qu'elle nous a permis d'identifier les principaux problèmes et de donner une évaluation de la maturité et de progrès des processus, et ceci pour préparer le chantier d'amélioration et de la réingénierie des processus qui sera traité dans le chapitre suivant.

## **Chapitre III : Réingénierie du processus Métal**



---

## Introduction

Avant d'entamer les chantiers d'amélioration du processus gestion Métal, nous avons eu recours tout d'abord à une analyse et une étude de la capacité de production actuelle de l'ARB, dans le but d'identifier le poste goulot parmi tous les postes de l'atelier ARB. Ensuite des solutions d'amélioration de la productivité de l'ARB ont été proposées.

Notre projet concerne aussi l'aspect gestion de stock des consommables et accessoires des bouteilles. L'objectif est la détermination de la politique d'approvisionnement convenable pour chaque article ou pour chaque classe d'articles.

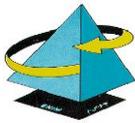
La dernière partie propose une étude pour résoudre le problème de tournée de véhicule tout en restant dans les limites d'optimisation des coûts de transport et éviter les ruptures de stock.

## I. Amélioration de la capacité de production de l'atelier ARB

### I.1. Étapes d'une étude d'amélioration

L'étude et l'analyse des capacités de production de chaque poste de travail de l'atelier ARB s'avèrent nécessaires dans la mesure où elles nous permettent de déterminer la capacité de production actuelle et les activités à valeur ajoutée. Ainsi, nous avons eu recours à la démarche suivante :

- Identification de la taille des lots dans chaque poste ;
- Énumération des tâches dans chaque poste de travail ;
- Chronométrage des tâches.



### I.1.1. Identification de la taille des lots dans chaque poste

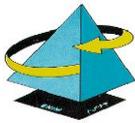
La réparation des bouteilles dans l'atelier ARB se fait suivant les étapes présentées dans la cartographie du processus réparation des bouteilles (Chapitre 2, Figure II.6). Dans cet atelier, il y a deux types de bouteilles qui sont réparées : les bouteilles 12 Kg et les bouteilles 3 Kg.

La taille des lots se diffère selon le type de bouteilles réparées et selon les postes de travail. En parcourant la chaîne de réparation des bouteilles depuis le poste de chargement des bouteilles dans le convoyeur d'admission jusqu'à la fin de la chaîne, nous avons déterminé la taille des lots dans chaque poste de travail.

Le tableau suivant représente les différents postes de travail ainsi que la taille des lots :

Tableau III. 1 : La taille des lots des postes de travail de l'ARB

Poste de travail	Taille des lots
<b>Four</b>	- Lot = 5 Bouteilles 12 Kg - Lot = 12 Bouteilles 3 Kg
<b>Test Hydraulique</b>	- Lot = 5 Bouteilles 12 Kg - Lot = 10 Bouteilles 3 Kg
<b>Grenailleuse</b>	- Lot = 1 Bouteille 12 Kg - Lot = 2 Bouteilles 3 Kg
<b>Métallisation</b>	- Lot = 1 Bouteille 12 Kg - Lot = 1 Bouteille 3 Kg
<b>Peinture</b>	- Lot = 1 Bouteille 12Kg - Lot = 1 Bouteille 3 Kg
<b>Séchage</b>	- Lot = 1 Bouteille 12 Kg - Lot = 1 Bouteille 3 Kg
<b>Tarage &amp; Serrage</b>	- Lot = 1 Bouteille 12Kg - Lot = 1 Bouteille 3 Kg



### I.1.2. Énumération des tâches dans chaque poste de travail

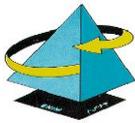
La réparation des bouteilles dans l'atelier ARB s'effectue par une seule équipe pendant une seule shift de huit heures. Les principales tâches dans chaque poste sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau III. 2 : Tableau des tâches effectuées dans chaque poste de travail de l'atelier ARB

Poste de travail	Tâches effectuées
<b>Four</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- suspendre les bouteilles dans des barres pour le traitement thermique</li><li>- décrocher les bouteilles et les charger dans un convoyeur</li></ul>
<b>Test Hydraulique</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- chargement des bouteilles dans la machine de test hydraulique</li><li>- déchargement des bouteilles dans un convoyeur</li></ul>
<b>Grenailleuse</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- chargement des bouteilles dans la grenailleuse</li><li>- déchargement des bouteilles dans le convoyeur</li></ul>
<b>Métallisation</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- accrochage des bouteilles</li><li>- surveillance de la métallisation des bouteilles</li></ul>
<b>Peinture</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- surveillance de l'opération de peinture</li></ul>
<b>Séchage</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- pas d'intervention</li></ul>
<b>Tarage &amp; Serrage</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- contrôler le poids des bouteilles</li><li>- serrer le robinet ou la boîte à clapet</li></ul>

### I.1.3. Chronométrage des tâches

Après la détermination des étapes élémentaires dans chaque poste du processus de réparation des bouteilles l'ARB, nous avons commencé le chronométrage de chaque étape ayant une valeur ajoutée afin de déterminer le temps de cycle de chaque opération.



Le tableau suivant représente les temps de cycle de chaque poste de travail y inclus les tâches citées auparavant :

Tableau III. 3 : Temps de cycle de chaque poste par Lot

Poste de travail	Temps de cycle (min)
<b>Four</b>	47,6
<b>Test Hydraulique</b>	1
<b>Grenailleuse</b>	0,58
<b>Métallisation</b>	1,83
<b>Peinture</b>	3,75
<b>Séchage</b>	4,53
<b>Tarage &amp; Serrage</b>	2
<b>Temps Total (min)</b>	61,29

On voit clairement que le temps de cycle du Four représente  $78\% = \frac{47,6}{61,29}$  du temps global. Par conséquent le Four représente le poste de travail qui nécessite le plus d'interventions, car sa productivité est liée directement à la productivité totale de l'Atelier ARB.

### I.1.4. Étude des capacités des postes

Le chronométrage que nous avons effectué dans chaque poste de travail ainsi que la détermination de la taille des lots nous a permis de déterminer la cadence de chaque poste. Le tableau III.3 illustre les résultats obtenus pour chaque poste de travail :



Tableau III. 4 : Cadences des postes de l'atelier ARB

Poste de travail	Cadence (Bouteilles 12 Kg / h)
<b>Four</b>	69
<b>Test Hydraulique</b>	300
<b>Grenailleuse</b>	308
<b>Métallisation</b>	229
<b>Peinture</b>	192
<b>Séchage</b>	197
<b>Tarage &amp; Serrage</b>	300

D'après les deux tableaux III.3 et III.4, il apparaît clairement que le Four est un poste goulot, vu qu'il représente une cadence minimale et un temps de cycle maximal par rapport aux autres postes. Pour remédier à ce problème, nous avons proposé deux plans d'action pour augmenter la productivité de l'atelier ARB.

## **I.2. Les chantiers d'amélioration de la productivité de l'ARB**

Augmenter la productivité de l'atelier ARB revient à améliorer la productivité de chaque poste de travail et principalement le poste goulot. Ainsi, nous avons proposé deux plans d'amélioration qui peuvent remédier à ce problème. Un plan d'action concerne l'ensemble de l'atelier ARB et un autre se focalisant principalement sur le poste goulot.

### **I.2.1. Amélioration par la méthode gestion par atelier**

Comme il a été cité auparavant, la capacité de production actuelle de l'Atelier ARB est de 600 bouteilles par jour. La réparation des bouteilles au sein de l'atelier ARB se fait sous forme d'une chaîne où les bouteilles ne peuvent accéder au poste aval que si elles ont terminé leurs



### Chapitre III : Réingénierie du processus Métal

traitements au poste amont. Le schéma suivant représente la chaîne de réparation des bouteilles au sein de l'atelier ARB.

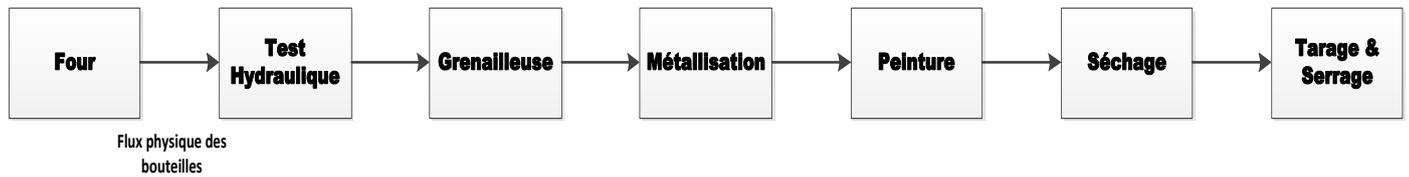


Figure III. 1 : Chaîne de réparation des bouteilles actuelle

La nouvelle organisation proposée s'appelle la gestion par atelier; elle se base principalement sur le fait de décomposer l'atelier ARB en petits ateliers en prenant en compte la possibilité d'avoir des stocks tampons entre ces petits ateliers, pour satisfaire, au moment opportun, la disponibilité des bouteilles au poste suivant. Chaque petit atelier contient un ou plusieurs postes de travail de l'atelier ARB.

La figure III.2 représente la nouvelle organisation de l'Atelier de Réparation des Bouteilles ARB :

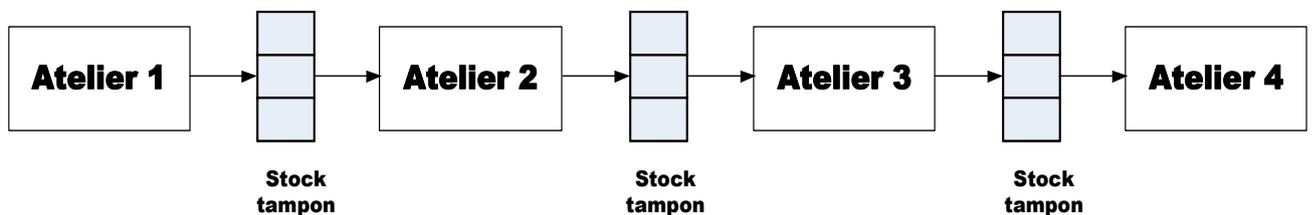


Figure III. 2 : La nouvelle décomposition de l'ARB

Le tableau suivant représente les différents postes de travail contenus dans chaque atelier :

Tableau III. 5 : Les postes de travail contenus dans chaque atelier

Atelier	Poste de travail
Atelier 1	- Four
Atelier 2	- Test Hydraulique – Grenailleuse
Atelier 3	- Métallisation - Peinture – Séchage
Atelier 4	- Tarage & Serrage



En se basant sur le calcul de la cadence dans chaque poste de travail de l'ARB présenté dans le tableau III.3, et grâce à la nouvelle décomposition de l'ARB en quatre ateliers, nous avons pu calculer une nouvelle capacité de production au sein de l'atelier de réparation des bouteilles. Pour cela, nous avons fait la formulation mathématique du problème comme suivant :

### a. Formulation mathématique

- **Fonction objectif**

La fonction objectif que nous avons établie doit prendre en considération les ressources disponibles de l'entreprise, à savoir la disponibilité de la main d'œuvre et la disponibilité des postes de travail.

D'où la fonction objective suivante : Maximiser la capacité de production de l'Atelier de Réparation des Bouteilles tout en respectant le volume horaire de travail de la main d'œuvre qui ne doit pas dépasser 8 heures par jour.

Soit donc la formulation mathématique de la fonction objective :

$$Max(Z) = Min(C_1 \cdot X_1, C_2 \cdot X_2, C_3 \cdot X_3, C_4 \cdot X_4)$$

Équation III. 1 : Fonction objectif

Avec :

$C_i$  La cadence minimale de l'Atelier concernant les bouteilles 12 Kg  $A_i$  où  $i \in \{1, \dots, 4\}$ ;

$X_i$  Le temps de fonctionnement d'un poste de travail par jour.

- **Les contraintes du problème**



Comme il a été cité auparavant, la nouvelle décomposition de l'ARB suppose avoir des stocks tampons entre l'atelier  $A_i$  et l'atelier  $A_{i+1}$ . D'où la nécessité d'équilibrer la capacité de production de l'atelier  $A_i$  et  $A_{i+1}$ .

Soit les contraintes suivantes :

$$\begin{cases} C_1 \cdot X_1 - C_2 \cdot X_2 \geq 0 \\ C_2 \cdot X_2 - C_3 \cdot X_3 \geq 0 \\ C_3 \cdot X_3 - C_4 \cdot X_4 \geq 0 \end{cases}$$

Équation III. 2 : Contraintes d'équilibrage des capacités

La contrainte d'équilibrage de la main d'œuvre doit être inférieure ou égale au nombre d'opérateurs disponibles dans l'atelier ARB multiplié par un jour de travail (8 heures).

Le tableau suivant représente le nombre d'opérateurs disponibles dans chaque atelier ainsi que le volume horaires de travail des opérateurs par jour.

Tableau III. 6 : Nombre d'opérateur par atelier ainsi que leur volume horaire de travail par jour

Poste de travail	Nombre d'opérateurs	Volume horaire / jour
Atelier 1	3	8
Atelier 2	5	8
Atelier 3	2	8
Atelier 4	3	8
<b>Nombre Total d'opérateurs</b>	13	

D'où la contrainte d'équilibrage de la main d'œuvre s'écrit sous la forme suivante :

$$3 \cdot X_1 + 5 \cdot X_2 + 2 \cdot X_3 + 3 \cdot X_4 \leq 104 = 13 \times 8$$

Équation III. 3 : Équilibrage de la main d'œuvre

D'où la formulation mathématique de l'ensemble du problème :



$$\text{Max}(Z) = \text{Min}(C_1 \cdot X_1, C_2 \cdot X_2, C_3 \cdot X_3, C_4 \cdot X_4)$$

$$\begin{cases} C_1 \cdot X_1 - C_2 \cdot X_2 \geq 0 \\ C_2 \cdot X_2 - C_3 \cdot X_3 \geq 0 \\ C_3 \cdot X_3 - C_4 \cdot X_4 \geq 0 \\ 3 \cdot X_1 + 5 \cdot X_2 + 2 \cdot X_3 + 3 \cdot X_4 \leq 104 \\ X_i \geq 0, i \in \{1, \dots, 4\} \end{cases}$$

Équation III. 4 : Formulation mathématique du problème de maximisation de la capacité de l'ARB

**b. Résolution du problème et interprétation des résultats**

La résolution de l'équation III.4 s'est effectuée sous Excel avec le module Solveur donne les résultats présentés dans le tableau suivant :

Tableau III. 7 : Résultats obtenus

Z (Bouteille)	X <sub>1</sub> (heure)	X <sub>2</sub> (heure)	X <sub>3</sub> (heure)	X <sub>4</sub> (heure)	S <sub>t12</sub> (Bouteille)	S <sub>t23</sub> (Bouteille)	S <sub>t34</sub> (Bouteille)
1267	19	4	6,5	4	44	0	0

Les résultats obtenus indiquent la possibilité d'atteindre une capacité de réparation des bouteilles de 1267 bouteilles par jour au sein de l'ARB sous les conditions suivantes :

- L'atelier A<sub>1</sub> {Four} doit fonctionner 19 heures par jour ;
- L'atelier A<sub>2</sub> {Test Hydraulique, Grenailleuse} doit fonctionner 4 heures par jour ;
- L'atelier A<sub>3</sub> {Métallisation, Peinture, Séchage} doit fonctionner 6,5 heures par jour ;
- L'atelier A<sub>4</sub> {Tarage & Serrage} doit fonctionner 4 heures par jour ;
- Un stock tampon (S<sub>t12</sub>) de 44 bouteilles entre l'atelier A<sub>1</sub> et l'atelier A<sub>2</sub>.

**c. Benchmark entre la nouvelle solution et la situation existante**

L'objectif de ce Benchmark est de comparer l'apport de la méthode de gestion par atelier par rapport à la situation existante.



Comme nous avons cité auparavant, la capacité de réparation des bouteilles actuelle au sein de l'atelier ARB est de 600 bouteilles par jour, alors que la nouvelle organisation donne la possibilité d'atteindre une capacité de réparation de 1267 bouteilles par jour, c'est à dire une augmentation de deux fois la production actuelle.

Le temps de fonctionnement des ateliers  $A_2$  et  $A_4$  est réduit de 8 heures à 4 heures par jour, c'est-à-dire une réduction de **50%** de temps de fonctionnement par jour. Pour l'atelier  $A_3$ , le temps de fonctionnement est réduit de 8 heures à 6,5 heures par jour, c'est-à-dire une réduction de **18,75%** du temps de fonctionnement par jour. L'augmentation du temps de fonctionnement de l'atelier  $A_1$  (Four) n'est pas une perte, car pour atteindre la température souhaitée (920°C), il faut attendre 45 minutes. En effet si le Four travail en continu pendant 19 heures permettra de gagner 45 minutes de consommation de l'énergie.

#### **d. Productivité de l'atelier ARB**

Pour les industries, le gain en productivité est utilisé pour évaluer la performance future du process, il est calculé par la formule ci-dessous :

$$\text{Gain en Productivité} = \frac{\text{Productivité actuelle}}{\text{Productivité future}} \quad [4]$$

Pour l'atelier ARB, le gain en productivité est égale à :

$$\text{Gain en Productivité (ARB)} = \frac{600}{1267} = 47\% .$$

La méthode gestion par atelier a permis d'avoir un gain en productivité de **47%** pour l'ensemble de l'atelier de réparation des bouteilles ARB.

Notre étude d'amélioration de la productivité ne se limite pas seulement à l'atelier ARB, mais elle s'élargit aussi sur le poste goulot de l'atelier ARB.



## I.2.2. Amélioration de la capacité du Four

### I.2.2.1. Problématique de l'étude

À l'époque, le traitement thermique des bouteilles de gaz au sein de Vivo Energy Maroc – Butagaz – se faisait dans un Four de 3 zones dont la température est de 920°C et un temps de séjour des bouteilles dans chaque zone est de 260 secondes. Dans le but d'augmenter la cadence du Four, une décision d'extension du Four par l'ajout de 2 autres zones a été prise.

Actuellement, ce traitement thermique se fait dans ce nouveau Four dont la température est de 920°C. Ce Four est subdivisé en 5 zones dont le temps de séjour des bouteilles dans chaque zone est de 260 secondes. La figure suivante représente la schématisation du Four :

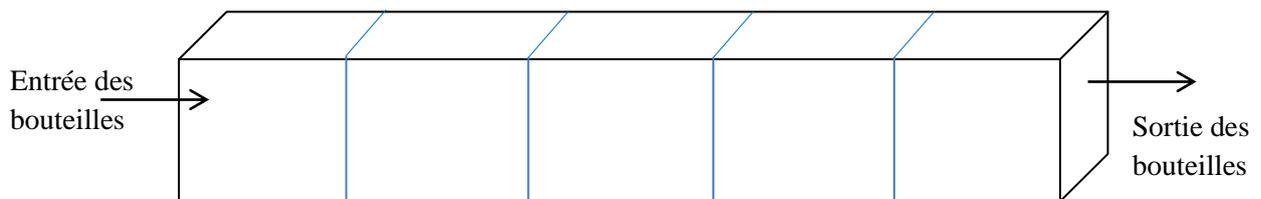


Figure III. 3 : Schématisation du Four

Malgré cette extension du Four, nous avons remarqué que le temps de séjour des bouteilles dans chaque zone est resté le même 260 secondes, et la cadence n'a pas changée avant et après l'extension du Four.

### I.2.2.2. Objectifs de l'étude

L'objectif de ce travail est de mener une étude métallographique préliminaire sur la bouteille de gaz dans le but de prouver qu'il est possible de diminuer le temps de séjour des bouteilles dans chaque zone du Four.

Avant d'entamer cette étude, il apparaît nécessaire de faire une étude bibliographique de quelques concepts en science des matériaux.

### a. Procédé du traitement thermique

Effectuer un traitement thermique sur une pièce, c'est faire subir à celle-ci une variation de la température en fonction du temps. La figure suivante représente le cycle de traitement thermique.

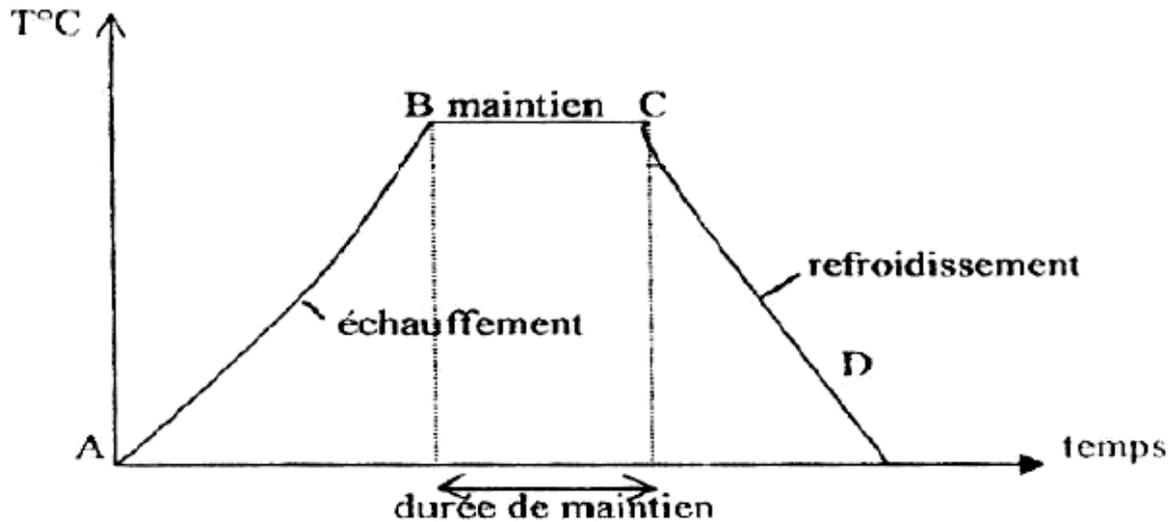


Figure III. 4 : Cycle de traitement thermique

Le procédé de traitement thermique se compose de :

AB : l'échauffement à la température adéquate ;

BC : Maintien à une température définie ;

CD : Refroidissement avec une vitesse donnée :

- Lente (à l'air) ;
- Assez rapide (dans l'huile) ;
- Très rapide (dans l'eau).

Les traitements thermiques sont constitués par un certain nombre d'opérations combinés de chauffage et de refroidissement ayant pour but :



- D'améliorer les caractéristiques des matériaux et rendre ceux-ci plus favorables à un emploi donné.
- De régénérer un métal qui présente un grain grossier (affiner les grains, homogénéiser la structure).
- De supprimer les tensions internes des matériaux ayant subi une déformation plastique.

### **b. Recuit**

Le recuit d'un matériau est un procédé correspondant à un cycle de chauffage, maintien en température adéquate puis refroidissement permettant de modifier les caractéristiques d'un métal. Il existe plusieurs types de recuit parmi lesquels on trouve le recuit de normalisation dont on est intéressé.

Le recuit de normalisation sert à affiner les grains pour les pièces qui ont subi un grossissement de grains parce qu'ils étaient exposés à une température élevée (c'est le cas de notre étude lors de l'opération de débosselage des bouteilles). Le traitement de normalisation s'effectue pour une durée de quelques minutes.

Le cycle thermique d'un recuit comprend :

- Un chauffage jusqu'à une température dite de recuit ;
- Un maintien isotherme à la température de recuit ou des oscillations autour de cette température ;
- Un refroidissement à l'air ambiant.

La figure suivante représente le cycle thermique d'un recuit :

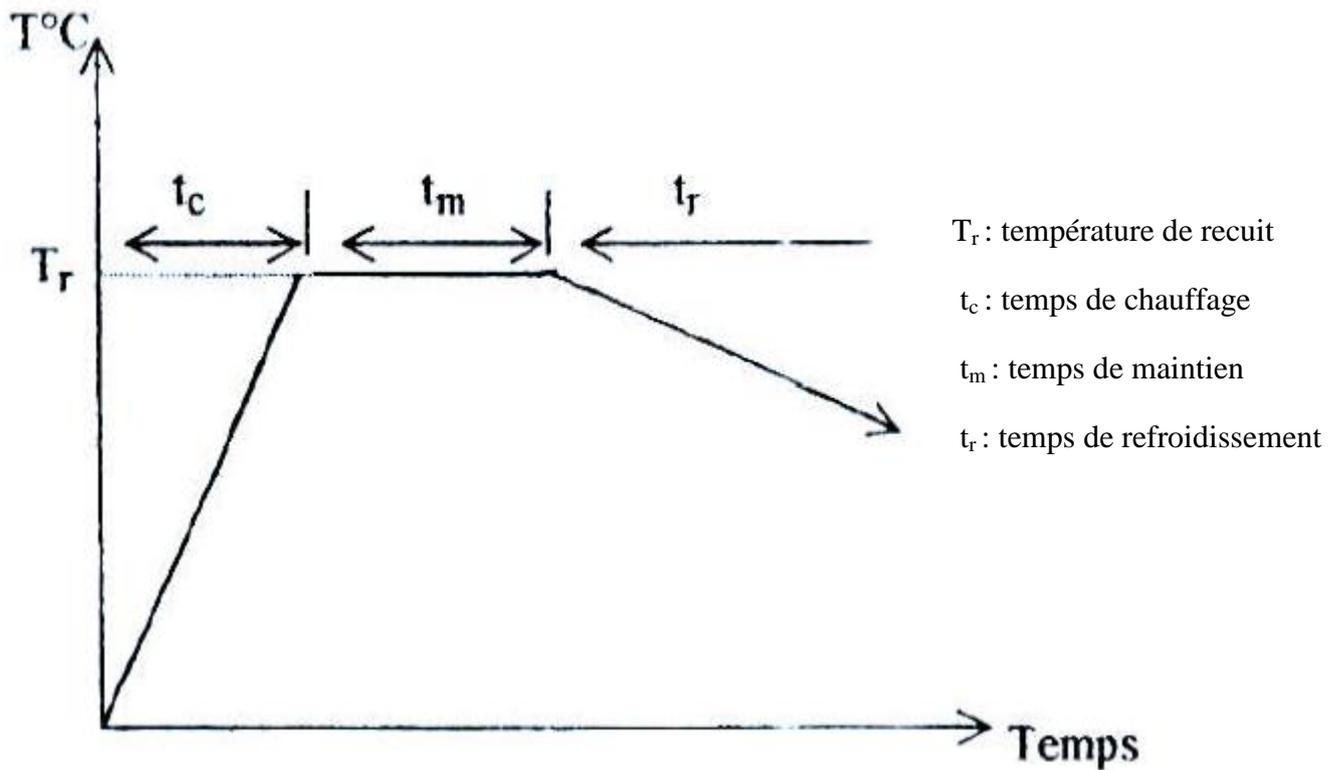


Figure III. 5 : Cycle thermique d'un recuit

### I.2.2.3. Méthodologie de l'étude

L'amélioration de la capacité de production du Four consiste à faire une étude métallographique sur une bouteille de gaz. Pour mener à bien cette étude nous avons suivi la méthodologie suivante :

- Préparation des échantillons pour le recuit de normalisation ;
- Analyse métallographique.

#### a. Préparation des échantillons pour le recuit de normalisation

L'étude consiste à choisir 3 échantillons  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$  d'une bouteille de gaz. L'échantillon  $E_1$  a déjà subi traitement de recuit de normalisation pendant un temps de maintien de 21 minutes au sein de Vivo Energy – Butagaz - .



Les échantillons  $E_2$  et  $E_3$  vont par la suite subir un traitement de recuit de normalisation pendant un temps de maintien de 18 minutes et 16 minutes respectivement ; l'étude est faite au sein du Département Matériaux à l'ENIM.

L'objectif du choix de 3 échantillons  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$  et de les faire subir à un recuit de normalisation dans différents temps 21 minutes, 18 minutes et 16 minutes respectivement, est de comparer la structure métallographique de ces 3 échantillons dans le but de faciliter la prise de décision de réduire le temps de séjour des bouteilles dans le Four.

### **b. Analyse métallographique**

Après avoir réalisé le traitement thermique des deux échantillons  $E_2$  et  $E_3$  pendant les temps 18 minutes et 16 minutes respectivement et dans la température de recuit  $T_r = 920^\circ\text{C}$ . Pour tirer profit du procédé de recuit de normalisation, nous avons suivi la démarche d'une analyse métallographique :

- **Le polissage des échantillons**

La préparation des échantillons est une étape essentielle, et comporte le découpage (latérale et longitudinale), l'enrobage et le polissage mécanique et électrolytique, afin d'avoir des vues microscopiques bien claires. Pour ce faire, il convient de procéder à un dégrossissage au moyen de papiers abrasifs de plus en plus fins.

L'image suivante montre un échantillon prêt pour le polissage électrolytique :

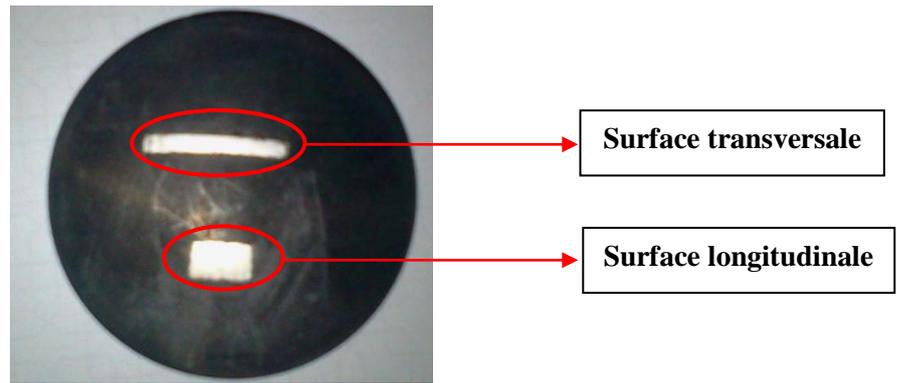


Figure III. 6 : échantillon prêt pour le polissage électrolytique

Le polissage électrolytique est un procédé de traitement de surface élaboré qui permet d'avoir une qualité de surface incomparable. Il consiste à imposer une différence de potentiel entre l'échantillon constituant l'anode (le pôle positif) et une contre-électrode métallique constituant la cathode (le pôle négatif).

La figure suivante représente le principe du polissage électrolytique :

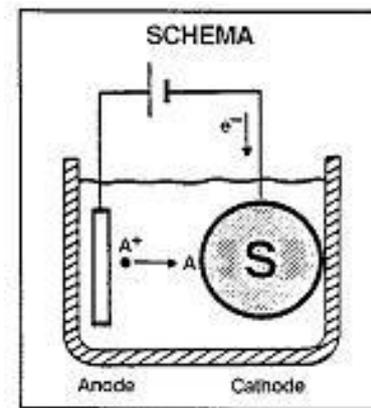


Figure III. 7 : Principe du polissage électrolytique

- **Analyse microscopique des échantillons**

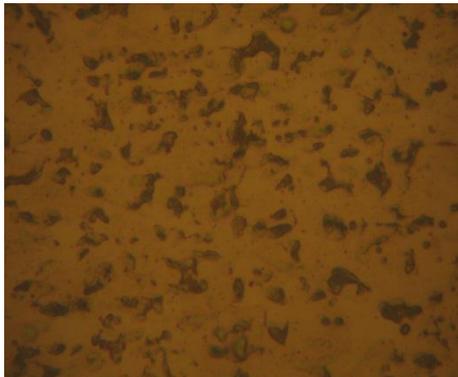
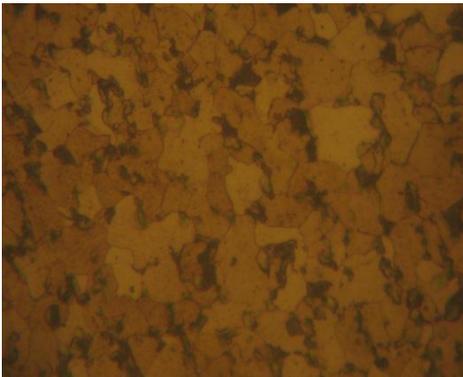
Nous avons pris pour chaque échantillon  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$  2 photos, une photo de la surface transversale et une autre de la surface longitudinale avec un grossissement de x300. Les photos prises des différents échantillons seront la base de notre étude, donc, les critères de



qualité, de signification d'image, sont pris en compte de manière méticuleuse, dans le but de mettre en évidence la différence microstructurale de ces 3 échantillons.

Le tableau suivant montre les images prises pour l'échantillon  $E_1$  (les images des 3 échantillons sont reportées sur **Tableau 1, Annexe 2**) :

**Tableau III. 8 : les images microscopiques de l'échantillon E1**

Échantillon	surface transversale	surface longitudinale
$E_1$ (échantillon Vivo)		

L'observation de ces images par l'œil nu montre l'existence des grains noirs répartis sur l'ensemble d'une surface jaune foncée ; ces grains noirs représentent la perlite et la surface jaune foncée représente la ferrite (**Annexe 2, p 87**).

Dans la suite de l'étude, on va s'intéresser au pourcentage de la phase perlitique par rapport à la phase ferritique. Pour cela une étude de traitement d'images apparaît nécessaire.

- **Traitement d'images des échantillons et Analyse des résultats**

Le traitement d'images des échantillons est nécessaire dans la mesure où il permet de déterminer le pourcentage de la perlite par rapport à la ferrite. Pour cela, nous nous sommes basés sur le logiciel *Archimed*, permettant le seuillage, le filtrage et l'élimination du bruit des images, pour le traitement d'images des échantillons.

La figure suivante représente le résultat de traitement d'images de l'échantillon  $E_1$  :

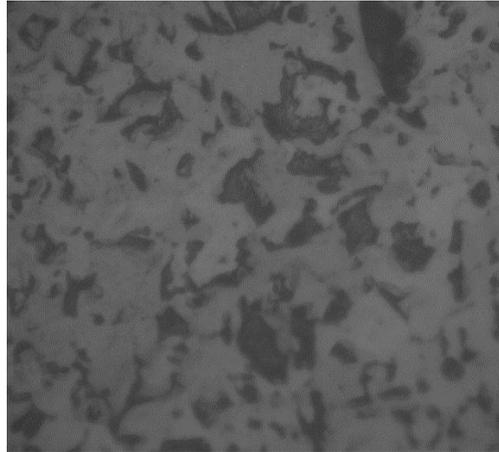


Figure III. 8 : Résultat de traitement d'image de l'échantillon E1

Ainsi pour déterminer le pourcentage de la perlite par rapport à la ferrite, nous nous sommes basés sur le logiciel *Areas* permettant le calcul de la surface occupée par la perlite (en bleu). La figure suivante représente les résultats de l'échantillon E<sub>1</sub> obtenus par le logiciel *Areas* (les résultats obtenus sont reportés au **Tableau 2, Annexe 2**) :

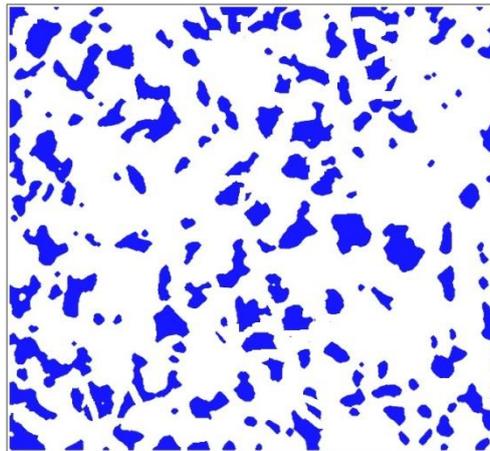


Figure III. 9 : Résultat du logiciel *Areas* pour l'échantillon E1

Les résultats obtenus par le logiciel *Areas* pour l'échantillon E<sub>1</sub> donne un pourcentage de 24,176% de la perlite et 75,824% de ferrite.

L'analyse de 3 échantillons E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> et E<sub>3</sub> par le logiciel *Areas* donne les résultats représentés dans le tableau suivant :



Tableau III. 9 : Résultats de l'analyse métallographique des 3 échantillons

Échantillon	Temps de recuit $T_r$ (min)	% Perlite	% Ferrite
E <sub>1</sub>	21	24,176	75,824
E <sub>2</sub>	18	24,215	75,785
E <sub>3</sub>	16	26,346	73,654

D'après cette analyse, on voit clairement que la structure métallographique de l'échantillon E<sub>1</sub> qui a subi un traitement de recuit de normalisation pendant un temps  $T_r = 21$  minutes au Four de Vivo Energy – Butagaz -, est la même que celle de l'échantillon E<sub>2</sub> qui a subi le même traitement thermique pendant un temps  $T_r = 18$  minutes.

Ainsi cette étude métallographique menée sur 3 échantillons d'une bouteille de gaz a prouvé que la structure métallographique de la bouteille soumise à un temps de recuit  $T_r = 21$  minutes est la même structure lorsque la bouteille est soumise à un temps de recuit  $T_r = 18$  minutes ; d'où la nécessité de réduire le temps de traitement thermique des bouteilles de **21 minutes** à **18 minutes**. Cette réduction de temps permet une augmentation de la cadence du Four de **69 bouteilles** par heure à **88 bouteilles** par heure, soit un gain en productivité du Four de **78%**.

L'étude menée dans ce premier chantier d'amélioration a permis, dans un premier lieu, de réorganiser l'atelier ARB par la méthode gestion par atelier, cette méthode se base sur le fait de décomposer l'ARB en atelier de production, elle a permis de doubler la capacité de production de l'ARB. Dans un second lieu, l'étude menée sur le poste goulot (Four) a permis de diminuer le temps de séjour des bouteilles dans le Four de 21 minutes à 18 minutes.

Dans la suite nous abordons l'amélioration de la gestion de stock Métal dans le but de déterminer une politique d'approvisionnement fiable.

## II. Amélioration de la fonction stockage Métal

### II.1. Diagnostic de l'existant

La politique de la gestion de stock actuelle présente plusieurs restrictions :

- Ruptures de stock fréquentes ;
- Les estimations de stock optimal et de stock maximal ne sont pas basées sur des calculs fiables ni sur les historiques ;
- Délais de livraison non maîtrisés ; pour un même article, le délai de livraison peut varier selon le fournisseur, la saison et les procédures administratives ;
- Adoption d'une même politique d'approvisionnement pour tous les articles du magasin ;
- Quantité économique de stock, non calculée et non utilisée dans la politique actuelle.

Pour bien situer les causes de cette mauvaise gestion nous avons élaborés le diagramme cause-à-effet (Diagramme d'Ishikawa) pour illustrer la répartition des causes selon les 5 M :

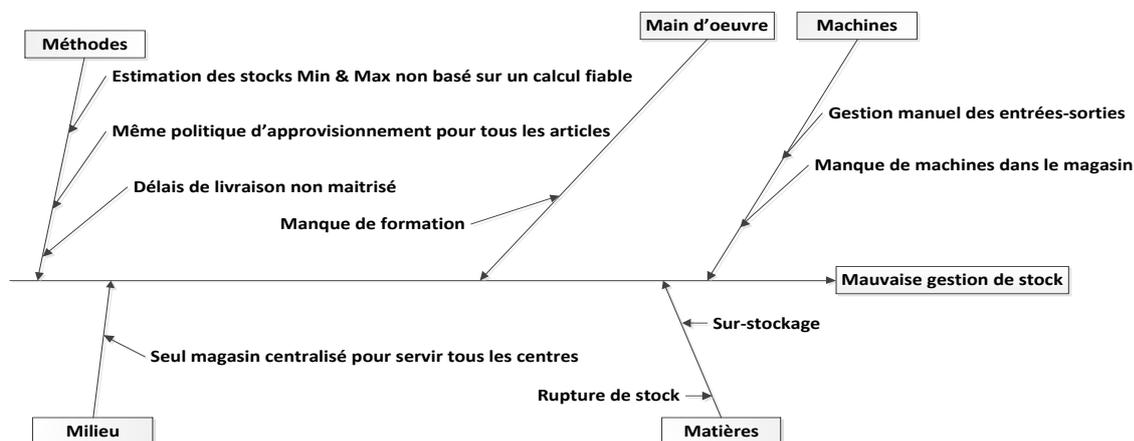


Figure III. 10 : Diagramme d'Ishikawa des problèmes liés à la gestion de stock

- **L'objectif de l'étude de la gestion du stock Métal**

L'étude d'une gestion de stock présente plusieurs objectifs dans la mesure où elle permet :



- La détermination des articles les plus critiques ;
- L'adoption des politiques d'approvisionnements fiables pour les articles étudiés.

## **II.2. L'activité de stockage [5]**

L'activité de stockage est la création d'un stade intermédiaire permettant de rendre le flux de la demande indépendant de celui de l'approvisionnement. Quelle que soit l'activité de l'entreprise, sa taille et son organisation, les stocks existent.

Si les stocks sont souvent source de problèmes et de dépenses, ils n'en restent pas moins indispensables. En effet, la compétitivité de l'entreprise peut être particulièrement affectée par sa gestion de stock, raison suffisante pour y porter une grande attention.

C'est pourquoi le principal objectif de la constitution d'un stock est d'assurer la disponibilité des matières, ceci permet à l'entreprise de :

- Éviter ou minimiser les pénuries ;
- Maximiser le niveau de service ;
- Réalisation des programmes prévus ;
- Assurer le fonctionnement du système de production ;
- Remédier aux problèmes liés à la hausse inattendue des prix des articles ;
- Remédier aux problèmes liés à la pénalisation associée aux mécontentements des clients ;
- Éviter les coûts des commandes urgentes.

Malgré tous ces avantages que présente un stock ; ceci n'empêche pas d'avoir des inconvénients liés à la possession des stocks. Ces inconvénients peuvent être explicités comme suivant :

- Réserve d'articles inemployés momentanément ;
- Réserve d'articles improductifs ;
- Réserve onéreuse ;



- Coût pour stocker les articles ;
- Coût de possession ;
- Coût de dépréciation.

## **II.3. Étude et classification des articles**

### **II.3.1. Introduction à l'analyse de données**

L'analyse de données est l'ensemble des processus permettant de transformer une masse d'informations en informations structurées permettant la prise de décision, elle permet donc l'approche de plusieurs domaines.

Parmi les méthodes d'analyse de données les plus utilisées en gestion, on retrouve :

- **L'Analyse en Composantes Principales (ACP) [6]**

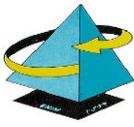
C'est l'une des méthodes d'analyse de données multi-variées les plus courantes. On a recourt à ces méthodes lorsqu'il est impossible d'appréhender la structure des données et la proximité entre les observations en se contentant d'analyser des statistiques descriptives uni-variées dès lors que l'on dispose d'un tableau de données quantitatives (continues ou discrètes) dans lequel  $n$  observations sont décrites par  $p$  variables.

### **II.3.2. Choix des critères et saisie des données**

La première étape consiste à élaborer un tableau de données (Tableau 3, Annexe 2) brutes contenant les valeurs des divers critères retenus pour l'analyse en composantes principales.

En effet, les critères choisis constituent des indicateurs relatifs aux politiques d'approvisionnement et à leurs conditions d'application. Ainsi nous avons opté pour les critères suivants :

- Valeur de consommation mensuelle ;
- Écart-type de la consommation mensuelle ;



- Délais de livraison ;
- Écart-type sur la livraison.

En deuxième lieu, nous avons appliqué la méthode d'Analyse en Composantes Principales (ACP) sous le logiciel TANAGRA à tous les critères choisis ceci en fonction des différents articles, ce qui nous a donné le deuxième tableau ( Figure 1 , Annexe 2) qui indique la corrélation et le  $Cos^2$  (Cosinus carré) en % et % cumulé des variables avec les deux premiers axes factoriels, ces axes restituent le maximum d'information disponible (Figure 1 , Annexe 2).

$Cos^2$  : représente la répartition de la variable sur les différents axes propres.

Donc d'après la Figure 1 (Annexe 2), On remarque que :

- Les critères écart-type et valeur de consommation mensuelle s'avèrent déterminants dans le regroupement des éléments et dans l'affectation des politiques d'approvisionnements puisqu'ils ont les grands  $Cos^2$ .

Après cette étude sur les critères, nous avons tracé une courbe ABC sur le critère Valeur de consommation mensuelle et une autre courbe des écarts-type des consommations mensuelles, et ceci pour classifier les articles en trois familles selon la valeur de consommation mensuelle et la fluctuation de la consommation mensuelle.

### **II.3.3. Démarche de l'analyse PARETO**

Les articles les plus importants présentent souvent des problèmes graves de sur-stockage ou de pénurie, ces articles demandent donc une attention très fréquente et plus soutenue pour les gérer le plus finement possible.

Afin de dégager les articles les plus critiques et d'adopter la meilleure méthode de gestion, on a opté pour une analyse PARETO.



### a. Détermination des classes du diagramme PARETO

L'utilisation de la démarche ABC sur les données (Tableau 4, Annexe 2) a permis de tracer le diagramme de PARETO suivant :

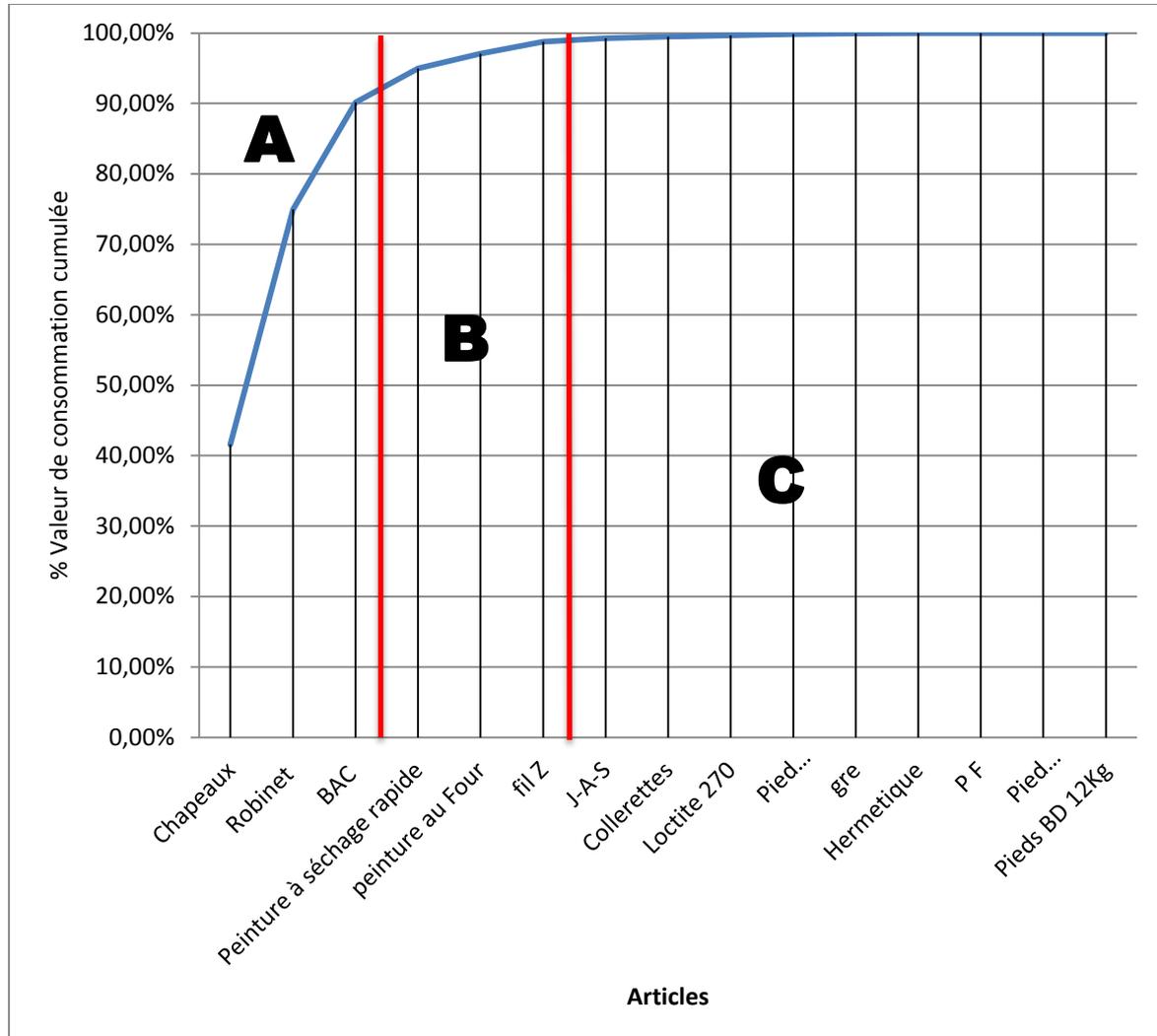


Figure III. 11 : Classification des articles selon le diagramme PARETO

**La classe A** : Il s'agit de la classe la plus importante, elle contient 20% des éléments classés qui sont responsables de 90% des effets (valeur de la consommation mensuelle). En effet, elle correspond à 3 articles sur lesquels il faut intervenir pour maîtriser la partie essentielle du problème.

**La classe B** : Contient 20% des éléments classés qui sont responsables de 9% des effets. Elle contient 3 articles.



**La classe C** : Contient 60% des éléments classés qui ne sont responsables que de 1% des effets. Elle contient 9 articles.

**a. Calcul de l'écart-type des consommations des articles**

En calculant l'écart type des consommations des articles de stock on trace la courbe suivante :

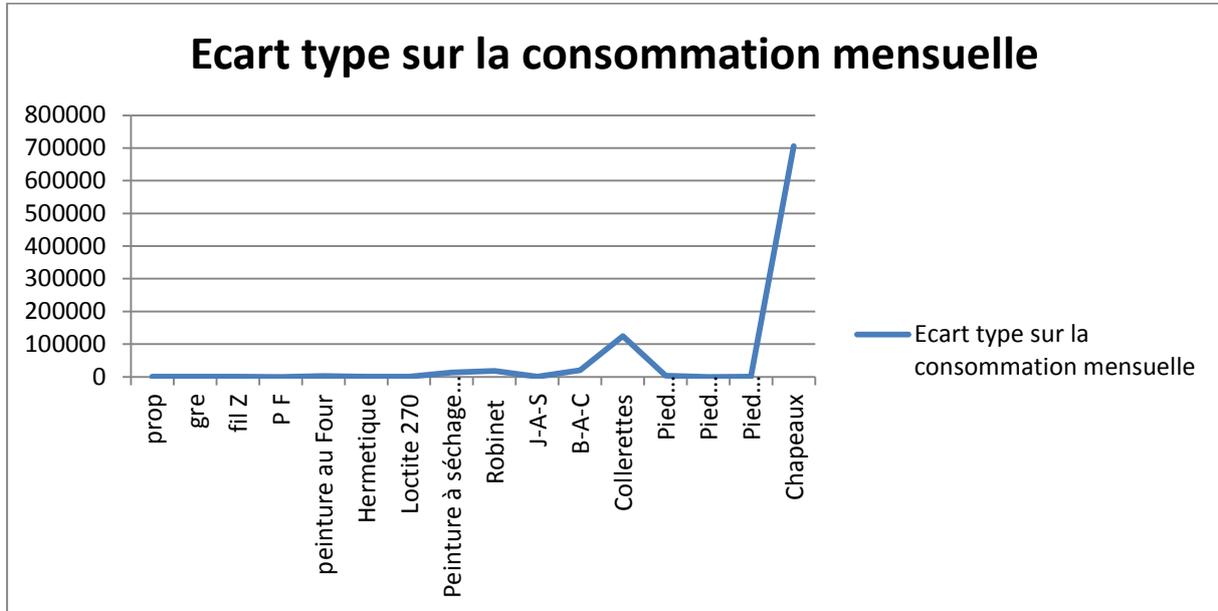


Figure III. 12 : Diagramme des écarts-types de consommation des articles de stock

On déduit de cette courbe qu'il y a des fluctuations dans la consommation pour les articles suivants : Chapeaux, Collettere, B-A-C et Robinet.

**II.3.4. Adoption des politiques d'approvisionnement**

En se basant sur les définitions des méthodes d'approvisionnements cités dans l'annexe 2 on affecte à chaque famille d'articles une méthode d'approvisionnement adéquate.

On divise donc les articles d'après les deux courbes précédentes selon les critères de valeur de consommation mensuelle et l'écart-type de consommation sous 3 familles d'articles :

- **Famille 1** : Les éléments de cette famille sont caractérisés par une consommation mensuelle forte et des fluctuations importantes dans la consommation mensuelle, cette famille est composée des éléments suivants : Chapeaux, BAC, Robinet



Donc, les articles appartenant à cette famille répondent aux critères d'application de la politique « Point de Commande ».

- **Famille 2** : Les éléments de cette famille sont caractérisés par une consommation mensuelle moyenne et une consommation mensuelle régulière, cette famille est composée des éléments suivants : peinture au Four, peinture à séchage rapide, Fil Z et Colletterie

Donc, les articles appartenant à cette famille répondent aux critères d'application de la politique « Plan d'Approvisionnement ».

- **Famille 3** : Les éléments de cette famille sont caractérisés par une consommation mensuelle faible et une consommation mensuelle régulière, cette famille est composée des huit éléments résiduels des articles.

Donc, les articles appartenant à cette famille répondent aux critères d'application de la politique « Programme d'Approvisionnement ».

Pour chaque famille, il convient de déterminer les paramètres de la politique d'approvisionnement correspondante et c'est l'objet des points suivants.

### a. Politique du Point de Commande pour la famille 1

Pour chaque article, nous avons collecté les valeurs des paramètres suivants :

- A : Consommation annuelle.
- U : Coût unitaire en Dirhams.
- C : Coût administratif de passation de commande en Dirhams ;
- D : Délai de livraison en mois ;
- T : Taux de possession de stock (%).

Sachant qu'on a les relations suivantes :

- $Q_e = \sqrt{\frac{2 \times A \times C}{U \times T}}$  où  $Q_e$  est la quantité économique qu'il faut approvisionner ;



- $P_C = \left(\frac{A}{12}\right) \times (D + D_{SP})$  où  $P_C$  est le point de commande,  $D_{SP}$  est la période assurée par le stock de protection.

On calcule les paramètres de cette politique à la famille 1, Le tableau suivant donne les valeurs de  $Q_e$  et de  $P_C$ , pour chaque article :

Tableau III. 10 : Les valeurs de  $Q_e$  et de  $P_C$  des articles de la famille 1

Articles	A (Article/an)	U (DH)	C (DH)	D (mois)	T (%)	$Q_e$ (Article)	$P_C$ (Article)
<b>Chapeaux</b>	970661	10,60	12	0,70	0,09	<b>4942</b>	<b>137510</b>
<b>Robinet</b>	122815	33,60	12	1,67	0,09	<b>987</b>	<b>27292</b>
<b>BAC</b>	184500	10,19	12	1,67	0,09	<b>2197</b>	<b>41000</b>

Pour les articles de la famille 1, il faut approvisionner les quantités économiques **4942 Chapeaux, 987 Robinet et 2197 BAC.**

### b. Politique du Plan d'Approvisionnement

En se basant sur les relations suivantes :

- $P_e = 12 \times \sqrt{\frac{2 \times C}{U \times A \times T}}$  où  $P_e$  est la période économique.
- $N_e = \frac{12}{P_e}$  où  $N_e$  est le nombre économique de commande par an.
- $Plafond = \left(\frac{A}{12}\right) \times (P_e + D + D_{SP})$ .

On calcule les paramètres de cette politique à la famille 2, Le tableau suivant donne les valeurs de  $P_e$ ,  $N_e$  et le *Plafond* pour chaque article :



Tableau III. 11 : Les valeurs de  $P_e$ ,  $N_e$  et le Plafond des articles de la famille 2

Articles	A (Article/an)	U (DH)	C (DH)	D (mois)	T (%)	$P_e$ (mois)	$N_e$	Plafond (Article)
Peinture à séchage rapide	909	54,50	12	0,50	0,09	<b>0,88</b>	<b>13</b>	<b>180</b>
Peinture au Four	21415	56,95	12	0,50	0,09	<b>0,18</b>	<b>67</b>	<b>2994</b>
Fil Zinc	13680	30,91	12	3,47	0,09	<b>0,30</b>	<b>39</b>	<b>5435</b>
Collerettes	316832	0,19	12	1,03	0,09	<b>0,80</b>	<b>15</b>	<b>74773</b>

### c. Politique du Programme d'Approvisionnement

Sachant qu'on a les relations suivantes :

- $Q_e = \sqrt{\frac{2 \times A \times C}{U \times T}}$  où  $Q_e$  est la quantité économique qu'il faut approvisionner ;
- $P_e = \frac{12 \times Q_e}{A}$  .

On calcule les paramètres de cette politique à la famille 3, Le tableau suivant donne les valeurs de  $Q_e$ ,  $P_e$  pour chaque article :

Tableau III. 12 : Les valeurs de  $Q_e$  et  $P_e$  des articles de la famille 3

Articles	A (Article/an)	U (DH)	C (DH)	D (mois)	T (%)	$Q_e$ (Article)	$P_e$ (mois)
J-A-S	1280	93,5	12	0,23	0,09	<b>60</b>	<b>0,56</b>
Loctite 270	241	185	12	1,50	0,09	<b>19</b>	<b>0,92</b>
Pied P34 kg	2366	15,5	12	0,70	0,09	<b>202</b>	<b>1,02</b>
gre	2150	10,5	12	1,50	0,09	<b>234</b>	<b>1,30</b>
Hermetique	121	123	12	1,50	0,09	<b>16</b>	<b>1,60</b>
P F	110	25,76	12	0,50	0,09	<b>34</b>	<b>3,68</b>
Pied BB 03 kg	36	7,5	12	1	0,09	<b>36</b>	<b>11,92</b>
Pieds BD 12Kg	0	16	12	1	0,09	<b>0</b>	<b>0</b>



L'étude menée dans cette partie a permis tout d'abord de déterminer les critères de classification des articles en se basant sur l'Analyse en Composantes principales ACP, ensuite une classification de ces articles a été faite par la méthode PARETO dans le but de déterminer les classes et familles d'articles. Après avoir déterminé les familles des articles, une étude a été faite dans le but de déterminer la politique d'approvisionnement adéquate pour chaque famille 1, 2 et 3.

### **III. Amélioration de la logistique Métal**

#### **III.1. Contexte général du problème**

Afin de répondre aux besoins de tous les centres d'emplissage, le service Logistique se préoccupe de la gestion du transport pour livrer ces centres qui se situent dans tous les régions du Maroc, ce qui rend difficile de planifier les tournées des camions avec les différentes contraintes de capacité de camion ou de besoin des centres tous en minimisant les coûts de transport, cependant avec toutes ces contraintes, cette gestion n'est pas basée sur une étude fiable, d'où il y a risque des pertes au niveau du temps ainsi au niveau du coût de transport.

L'objectif de cette étude est de :

- Minimiser le coût total de transport ;
- Faciliter l'utilisation de planification des tournées des camions ;
- Maîtriser la gestion de transport.

#### **III.2. Description du problème**

Il s'agit d'un des problèmes d'optimisation combinatoire les plus connus ; avec une flotte de véhicules partant de l'ARB, il faut trouver un chemin de coût totale minimale qui passe exactement par chaque centre et revienne à l'ARB. La figure suivante représente une schématisation du problème de tournée de camions :

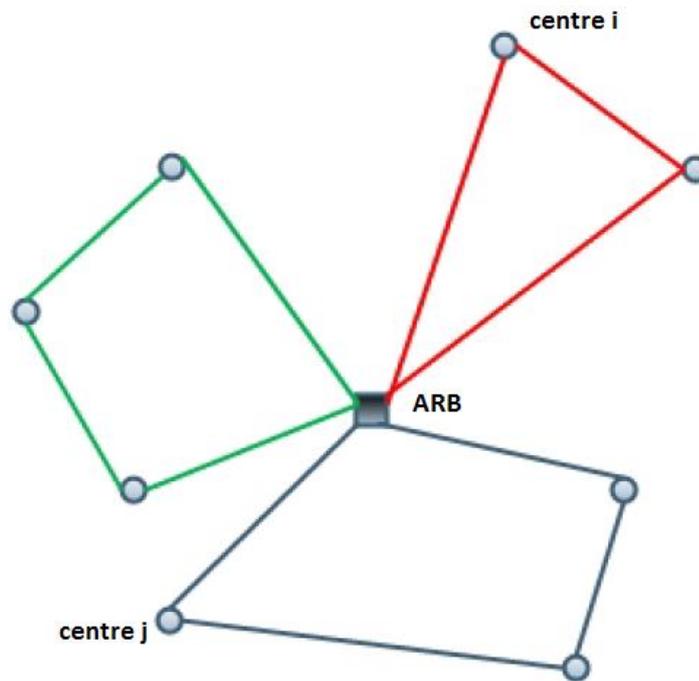


Figure III. 13 : Schématisation du problème de distribution des articles aux centres emplisseurs

Dans le problème de tournée des véhicules, une flotte de véhicules de même capacité est disponible pour servir un ensemble de 17 centres. Chaque centre peut être visité plusieurs fois, contrairement à ce qui est généralement supposé dans le problème de tournées de véhicules, et la demande de chaque centre peut être supérieure à la capacité de véhicule. Chaque véhicule doit démarrer et terminer son tour au centre ARB. Le problème consiste à trouver un ensemble de routes-véhicules qui servent tous les centres, telle que la somme des quantités livrées dans chaque tour n'excède pas la capacité d'un véhicule avec un coût total minimal.

### III.3. Formulation mathématique du problème

Chaque véhicule doit démarrer et terminer son tour au centre ARB. Les demandes des centres doivent être satisfaites, et la quantité livrée dans chaque visite ne peut pas dépasser  $Q$ . L'objectif est de réduire le coût total engendré lors du voyage des véhicules.



**a. Données du problème**

Soient les variables suivantes :

- $x_{ij}$  est une variable binaire qui prend la valeur 1 si le véhicule  $k$  voyage directement à partir du centre  $i$  vers le centre  $j$  et 0 sinon ;
- $a_{ik}$  est la quantité de la demande du centre  $i$  livrée par le véhicule  $k$  ;
- $y_{ik}$  est une variable binaire qui prend la valeur 1 si le véhicule  $k$  visite le centre  $i$ , et 0 sinon ;
- L'ensemble des centres est  $V = \{1,2,\dots,18\}$  où le centre 1 désigne le centre ARB et les autres sommets représentent les autres centres d'emplissage ;
- $C_{ij}$  représente le coût de transport – le coût de rotation des bouteilles immobilisées entre le centre  $i$  et le centre  $j$  ;
  - Coût de transport =  $7,6 \text{ Dh/Km} \times \text{la distance parcourue}$  ;
  - Coût de rotation =  $(\text{Quantité des bouteilles en stock} \times \text{Taux de rotation d'une bouteille par an}) / \text{Marge}$ .
- $d_i$  la demande du centre  $i$  ;
- $M$  le nombre de véhicules nécessaires pour servir les centres d'emplissage ;
- $Q$  la capacité d'un véhicule.

**b. Modèle mathématique [7]**

$$\min P = \sum_{i,j}^N \sum_k^M C_{ij} x_{ijk}$$

Sous les contraintes suivantes :

$$\sum_j^N x_{0jk} = \sum_j x_{j0k} = 1 \quad \forall k, \quad (1)$$



$$\sum_j^N x_{ijk} = \sum_j^N x_{jik} = y_{ik} \quad \forall i \neq 0, \forall k \quad (2)$$

$$a_{ik} \leq d_i \cdot y_{ik} \quad \forall i \neq 0, \forall k \quad (3)$$

$$\sum_i^N a_{ik} \leq Q \quad \forall k \quad (4)$$

$$\sum_i^N a_{ik} \geq \sum_i^N d_i - (M-1)Q \quad \forall k \quad (5)$$

$$\sum_k^M a_{ik} = d_i \quad \forall i \quad (6)$$

$$u_{ik} - u_{jk} + (N+1)x_{ijk} \leq N \quad \forall i \neq 0, \forall j \neq 0, \forall k \quad (7)$$

$$x_{ijk}, y_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, k$$

$$a_{ik} \geq 0, u_{ik} \geq 0 \quad \forall i \neq 0, \forall k. \quad (8)$$

La première contrainte assure que chaque véhicule démarre et termine son tour à l'ARB. Dans la deuxième contrainte,  $x_{ijk} = 1$  indique que le véhicule  $k$  visite le centre  $j$  après le centre  $i$  et  $y_{ik} = 1$  indique que le véhicule  $k$  visite le centre  $i$ .

À chaque demande du centre  $i$ , la quantité de livraison  $a_{ik}$  ne doit pas dépasser la demande, ce qui est assurée par la troisième contrainte. Les deux contraintes suivantes assurent que la livraison totale ne doit pas dépasser la capacité de véhicule mais doit être au moins

$$\sum_i^N d_i - (M-1) \cdot Q.$$

La sixième contrainte garantie que la demande est satisfaite pour tous les centres. Enfin, on trouve les contraintes d'élimination des sous-tours.



### III.4. Application de l'algorithmme sous le logiciel LINGO

On prend comme exemple de données sous Excel ou sous l'application développée en Visual Basic en interaction avec LINGO, un camion avec 5 centres cités dans le tableau suivant (Algorithmme, Annexe 2, p 93) :

Tableau III. 13 : Matrice des coûts

Coût	Mohammedia	Safi	Agadir	Marrakech	Ouarzazate
Mohammedia	0	2044,96	3711,87	1994,27	3521,54
Safi	2067,2	0	2283,07	1378,67	2731,14
Agadir	3724	2272,96	0	1880,27	2761,54
Marrakech	2006,4	1368,56	1880,27	0	1545,54
Ouarzazate	3526,4	2713,76	2754,27	1 538,27	0

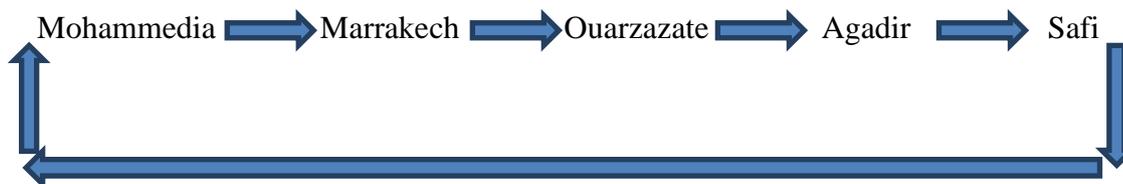
Avec :

- La capacité du camion = 910 Bouteilles ;
- La demande des centres est :

	Mohammedia	Safi	Agadir	Marrakech	Ouarzazate
Demande	0	220	120	120	48

On obtient sous le logiciel LINGO les résultats suivants :

- Coût minimal = 10634 DH
- Le chemin parcouru par le camion est le suivant (Tableau 5, Annexe 2) :





L'étude que nous avons entamée dans cette partie nous a permis dans un premier lieu de proposer un modèle mathématique pour le problème de tournée de camions, après résolution de ce modèle mathématique sous le logiciel LINGO, nous avons déterminé le chemin parcouru par le camion, ce chemin représente le chemin optimal vu qu'il a un coût minimal.

### **Conclusion**

À l'issue de cette étude, nous avons d'abord présenté l'état des lieux, à savoir l'atelier de réparation des bouteilles ARB et les données techniques de chaque poste de travail de cet atelier.

D'autre part, nous avons mené une étude d'amélioration qui touche les différents aspects, à savoir l'amélioration de la productivité de l'atelier ARB par la méthode de gestion par ateliers en se basant sur la capacité du poste goulot (Four), la détermination de la politique d'approvisionnement appropriée pour la gestion de stock des consommables et accessoires des bouteilles en commençant par une analyse en composantes principales pour choisir les critères adéquats et une classification par l'analyse PARETO dans le but déterminer les familles d'articles. Enfin, une étude d'optimisation du coût de la logistique des bouteilles réparées a été entamée pour déterminer les tournées des camions.



---

## Conclusion générale

Dans le but d'atteindre la représentation schématique des flux physiques et d'informations sous forme de cartographies des flux et les analyser par la suite, il était judicieux de nous familiariser avec les différents concepts d'analyse des processus, d'évaluer leurs progrès et maturité, d'analyser des écarts en termes de temps et délai process et d'amélioration de la productivité, il s'agissait d'étudier les capacités de production des postes de travail dans le but de déterminer les facteurs agissant sur la productivité de l'atelier de réparation des bouteilles.

Ensuite nous avons proposé deux plans d'amélioration de la productivité de l'ARB; le premier plan d'action était la méthode de gestion par atelier, cette méthode utilisant les ressources disponibles en matière de la main d'œuvre et en matière du volume horaire de travail qui ne doit pas dépasser 8 heures de travail par jour pour les opérateurs, nous a permis d'avoir un gain en productivité de **47%**. Le deuxième plan d'amélioration, c'est une étude préliminaire se focalisant sur l'amélioration de la capacité de production du Four par une étude métallographique de la bouteille de gaz. Cette étude nous a permis de diminuer le temps de séjour des bouteilles dans le Four de **21 minutes** à **18 minutes**, ce qui revient à dire une augmentation de la cadence du Four de **69 bouteilles** par heure à **88 bouteilles** par heure, c'est-à-dire une augmentation de **27,5%** de la cadence du Four.

Puis, pour rationaliser la gestion de stock des consommables et accessoires des bouteilles, nous avons mené une étude de classification des articles en trois familles A, B et C en se basant sur l'Analyse en Composantes Principales ACP, dans le but de choisir le critère de classification convenable, d'une part. D'autre part, l'analyse PARETO a permis de déterminer les articles de chaque famille A, B ou C. Cette étude nous a aidé à établir la politique d'approvisionnement convenable pour chaque famille d'articles.



## Conclusion générale

---

Finalement, et dans le même cadre de la rationalisation des coûts, nous avons entamé le problème de tournée des camions entre les centres emplisseurs; l'étude de cette thématique liée à la logistique Métal nous a permis de déterminer un algorithme minimisant le coût de transport des bouteilles vides réparées devant être transportées du centre ARB à Mohammedia et livrées à tous les centres emplisseurs du Maroc.



---

## Bibliographie

[2] [My Ahmed CHERKAOUI], Management des organisations, cours de l'option Management Industriel, École Nationale de l'Industrie Minérale, 2011-2012.

[3] [Yvon Mougín], Management par les processus, CAP Entreprise.

[4] [M. Abdelhafid EL AZAMI EL IDRISSE et Mlle Farah ZEMMOURI], Diagnostic logistique et amélioration de la productivité du module 2, EMI, 2009/2010

[5] [Samir LAMOURE et André THOMAS], Gestion des stocks dans un contexte de demandes indépendantes, Techniques de l'Ingénieur.

[6] [A.LAZRAG], DATA MINING, cours de l'option Systèmes de Production, École Nationale de l'Industrie Minérale, 2011-2012.

[7] [NGUYEN Thanh Tuan], Problème de tournées de véhicules avec livraisons divisibles, Institut de la Francophonie pour l'Informatique.

[8] [Bernard Clément], Comment faire un diagramme SIPOC, janvier 2006.

## Webographie

[1] <http://www.vivoenergy.com/en/morocco>

# Annexes

# Annexe 1



---

## Diagramme SIPOC [8]

### Définition

Un diagramme **SIPOC** est un outil de visualisation pour identifier tous les éléments pertinents associés à un processus **P (Process)** : son périmètre (frontières, début et fin), les sorties **O (Output)** les entrées **I (Input)**, les fournisseurs **S (Suppliers)** et les clients **C (Customers)**. Il est recommandé d'employer le SIPOC dans la phase initiale d'un projet d'amélioration d'un processus. Il fournit plus d'information qu'une cartographie «mapping » qui se concentre sur la description sommaire des étapes. Il oblige à définir qui sont les fournisseurs et les clients.

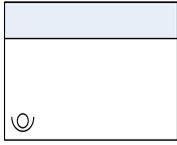
Il permet aussi de faire apparaître les flux de matières et les flux d'informations sur un même graphe.

### Les étapes pour construire un diagramme SIPOC

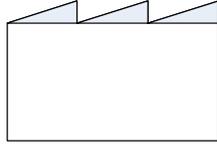
1. Commencer par identifier le processus **P** et lui donner un nom descriptif ;
2. Identifier les étapes principales (haut niveau) qui le définit (cartographie) ;
3. Identifier les sorties **O** du processus ;
4. Identifier les clients **C** qui reçoivent les sorties du processus ;
5. Identifier les entrées **I** qui sont requises par le processus ;
6. Identifier les fournisseurs **S** requises par les entrées du processus ;
7. Valider toutes les informations précédentes par les intervenants impliqués dans le processus.



## Symboles utilisés dans la cartographie



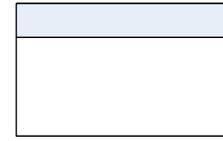
Processus



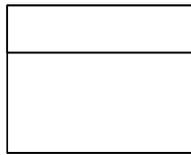
Client / Fournisseur



Expédition par camion



Control processus



Dépôt de Stockage



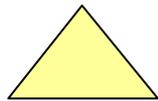
Informations sur le processus



Information manuel



Flux physique



Point d'inventaire



Écoulement : premier partie, premier sortie

# **Annexe 2**

**Quelques notions dans les sciences des matériaux**



---

**Ferrite** : C'est une solution solide (dans la structure cubique centrée) d'un ou de plusieurs éléments dans le fer  $\alpha$ . C'est du fer pratiquement pur qui ne contient que des traces de carbone (0.008%) à température ambiante. Sa solubilité maximale est de 0.02% en masse à 727°C. Après attaque au Nital, elle se présente sous forme de polyèdres blancs dont les joints de grains apparaissent en foncé. Elle n'est pas très dure, peu tenace, mais elle est très ductile.

**Fer  $\alpha$**  : Etat stable du fer pur en dessous de 960°C. Il a une structure cristalline cubique centrée. Il ne dissout pratiquement pas le carbone, il est doux, très malléable et très magnétique.

**Perlite** : C'est un mélange hétérogène de ferrite et de cémentite à 0.85% en masse de carbone qui peut avoir deux aspects. Elle est très dure, tenace et assez ductile, facile à usiner et offre une assez bonne résistance aux efforts statiques et à l'usure par frottements.

**Cémentite** : C'est un composé interstitiel à maille orthorhombique à 6.67% de carbone qui accompagne la ferrite ou la perlite. À l'état de phase, elle fait partie de la perlite. Elle apparaît en blanc après attaque au Nital sans que l'on puisse distinguer les joints de grains. Elle est colorée en rouge brun par le picrate de sodium. C'est une combinaison très dure mais très fragile. Elle donne une très bonne tenue à l'abrasion et à l'érosion.

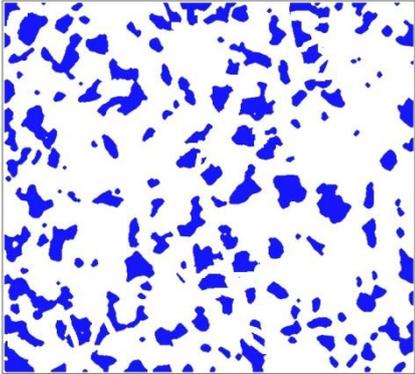
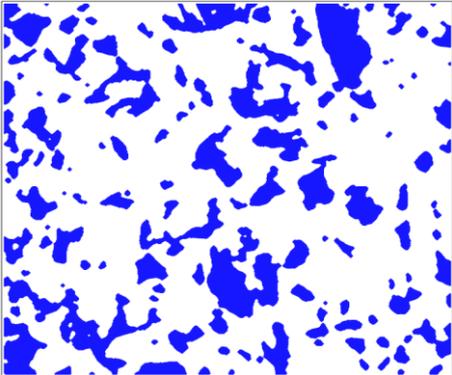
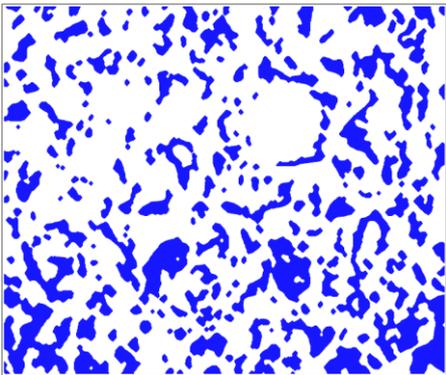
Tableau 1



Échantillon	surface transversale	surface longitudinale
<b>E<sub>1</sub></b> <b>(échantillon Vivo)</b>		
<b>E<sub>2</sub> (18 min)</b>		
<b>E<sub>3</sub> (16 min)</b>		



Tableau 2

Échantillon	Image traitée par Areas	% Perlite obtenu par Areas
<b>E<sub>1</sub></b> (échantillon Vivo)		24,176
<b>E<sub>2</sub></b> (18 min)		24,215
<b>E<sub>3</sub></b> (16 min)		26,346

### Diagramme PARETO



---

## Définition

Le diagramme de Pareto, appelé également méthode "ABC" ou règle des 80/20, est le résultat des recherches de l'économiste italien « Vilfredo Frédéric Damaso » surnommé par ses étudiants : "Marquis de Pareto". Il observa au début du *XXème siècle*, que 20% des voies ferrées occupent 80% du trafic (d'où le nom de la loi 80-20 ou 20-80), d'où la nécessité de ne s'intéresser qu'aux voies qui sont les plus rentables pour l'entreprise.

Le diagramme de Pareto est un graphique à colonnes qui présente les informations par ordre décroissant et fait ainsi ressortir le ou les éléments les plus importants qui expliquent un phénomène ou une situation. Autrement dit, le diagramme de Pareto fait apparaître les causes les plus importantes qui sont à l'origine du plus grand nombre d'effets.

La popularité du diagramme de Pareto provient d'une part du fait que de nombreux phénomènes observés obéissent à la loi des 20/80, et que d'autre part si 20% des causes produisent 80% des effets, il suffit de travailler sur ces 20% là pour influencer fortement le phénomène. En ce sens, la loi de Pareto est un outil efficace de prise de décision.

Dans un environnement industriel, les points d'amélioration potentiels sont quasi innombrables. On pourrait même améliorer indéfiniment, tout et n'importe quoi. Les illustrations de l'utilisation de la loi de Pareto sont aussi nombreuses que variées, citons à titre d'exemples :

- pour aider à la décision et déterminer les priorités dans des actions.
- classer les articles à stocker et en déterminer le mode de gestion (il est courant de s'apercevoir que seuls 20% des articles contribuent à 80% du chiffre d'affaires).
- le suivi de la qualité ; 20% des causes représentent 80% de l'ensemble des défauts.
- analyse d'un processus : seules 20% des opérations accumulent 80% de la valeur ajoutée....



---

## **Méthode de réalisation**

Les éléments seront classés par ordre d'importance en indiquant les pourcentages pour un critère déterminé. Cette étude nécessite une approche en trois étapes.

- Définir la nature des éléments à classer :

Les éléments à classer dépendent de l'objectifs de l'étude, ils peuvent être : du matériels, des causes de pannes, des bons de travail, des articles en stocks, des temps d'arrêt... etc.

- Choisir le critère de classement :

Les critères les plus fréquents sont les coûts et les temps. Cependant selon l'étude, d'autres critères peuvent être retenus.

- Définir les limites de l'étude et classer les éléments.

## **Résultat sous LINGO**



Tableau 5

<b>X(i,j,k)</b>	<b>Valeur :0 ou 1</b>
X( 1, 1, 1)	0
X( 1, 2, 1)	0
X( 1, 3, 1)	0
X( 1, 4, 1)	1
X( 1, 5, 1)	0
X( 2, 1, 1)	1
X( 2, 2, 1)	0
X( 2, 3, 1)	0
X( 2, 4, 1)	0
X( 2, 5, 1)	0
X( 3, 1, 1)	0
X( 3, 2, 1)	1
X( 3, 3, 1)	0
X( 3, 4, 1)	0
X( 3, 5, 1)	0
X( 4, 1, 1)	0
X( 4, 2, 1)	0
X( 4, 3, 1)	0
X( 4, 4, 1)	0
X( 4, 5, 1)	1
X( 5, 1, 1)	0



X( 5, 2, 1)	0
X( 5, 3, 1)	1
X( 5, 4, 1)	0
X( 5, 5, 1)	0

### L'algorithme du problème de tournée des camions sous Lingo :

MODEL:

SETS:

CITY/1..5/: Q, U;

VEHICULE: VCAP;

LINKS(CITY,VEHICULE): Y,E;

CXC( CITY, CITY): COST, X;

ENDSETS

```
[OBJECTIVE] MIN = @SUM(VEHICULE:@SUM( CXC: COST * X));
X(1,1)=0;
@SUM( CITY( J):X(J,1)) = 1;
@SUM( CITY( J): X(1,J)) = 1;
@FOR( CITY( K)|K#NE#1:
@SUM(VEHICULE: U( K))=Q(K);
X(K,K)=0;
@FOR(CITY(J): E(K,1)-E(J,1) +5*X(K,J)<=4);
@SUM( CITY( J): X( J, K)) =Y(K,1);
@SUM( CITY( J) : X( K, J)) =Y(K,1);
@SUM(CITY(J): U( J))>=@SUM(CITY(J):Q( J))-VCAP(1);
@SUM(CITY(J): U( J)) <=VCAP(1);
U(K)<=(Q(K)*Y(K,1));
U(K)>=0;
);
@FOR( CXC: @BIN( X));
@FOR( LINKS: @BIN( Y));
```



DATA:

Q=@OLE('D:\RECAP.XLS',Q);

COST=@OLE('D:\RECAP.XLS',COST);

VCAP=@OLE('D:\RECAP.XLS',VCAP) ;

@OLE('D:\RECAP.XLS',X)=X;

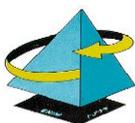
@OLE('D:\RECAP.XLS',Obj)=OBJECTIVE;

ENDDATA

END

**Tableau 3**

Modèle	Valeur de consommation mensuelle(DH)	Ecart type sur la consommation mensuelle (Kg)	Délai de livraison (jour)	Ecart type sur la livraison
Chapeaux	935363,8124	705816,329	21	0
Robinet	750399,65	17808,79098	50	0,651338947
BAC	341995,9091	19714,36667	50	0,744023809
Peinture à séchage rapide	107869,0909	13312,3949	15	3,003489798
Shell SR(Four)	47586,81818	2060,08164	15	3,264911064
fil Z	38440,8	865,8668804	104	0
J-A-S	10880	143,8897305	7	0,894427191
Collerettes	5472,552727	124617,219	31	0,577350269
Loctite 270	4053,181818	461,9938213	45	0
Pied P34 kg	3333,909091	737,5130446	21	0
gre	2052,272727	116,0916566	45	0
Hermetique	1353	98,28428155	45	0
P F	257,6	27,20294102	15	0
Pied BB 03 kg	24,54545455	3870,061113	30	0
Pieds BD 12Kg	0	0	30	0



## Eigen values

Matrix trace = 4,00

Axis	Eigen value	% explained	Histogram	% cumulated
1	1,750784	43,77%		43,77%
2	1,365848	34,15%		77,92%
3	0,670535	16,76%		94,68%
4	0,212834	5,32%		100,00%
Tot.	4,000000	-	-	-

## Factor Loadings [Communality Estimates]

Attribute	Axis_1		Axis_2	
	Corr.	% (Tot. %)	Corr.	% (Tot. %)
-				
Valeur mensuel consoma	-0,9127	83 % (83 %)	0,0041	0 % (83 %)
Ecart type sur la consommation mensuelle	-0,9378	88 % (88 %)	0,0667	0 % (88 %)
Délai de livraison	0,0892	1 % (1 %)	-0,8391	70 % (71 %)
Ecart type sur la livraison	0,1742	3 % (3 %)	0,8107	66 % (69 %)
Var. Expl.	1,7508	44 % (44 %)	1,3658	34 % (78 %)

Figure 1



Tableau 4

Produit	Valeur mensuel consoma	Valeur Consommation cumulée	% Cumulé
Chapeaux	935363,8124	935363,8124	42%
Robinet	750399,65	1685763,462	75%
BAC	341995,9091	2027759,371	90%
Peinture à séchage rapide	99960	2127719,371	95%
fil Z	38440,8	2166160,171	96%
Laque Shell SR	35483,63636	2201643,808	98%
Apprêt Four SR	13406,81818	2215050,626	98%
J-A-S	10880	2225930,626	99%
Toluène	7418,181818	2233348,808	99%
Collerettes	5472,552727	2238821,361	99%
Loctite 270	4053,181818	2242874,542	100%
Pied P34 kg	3333,909091	2246208,451	100%
gre	2052,272727	2248260,724	100%
Hermetique	1353	2249613,724	100%
App Cellin	490,9090909	2250104,633	100%
P F	257,6	2250362,233	100%
Pied BB 03 kg	24,54545455	2250386,779	100%
Pieds BD 12Kg	0	2250386,779	100%



---

## Méthodes d'approvisionnement [5]

### 1. Méthode du point de commande :

- **Principe :**

Cette méthode consiste à commander une **quantité fixe**, appelée quantité économique d'approvisionnement, à des **dates variables** correspondants aux moments où le stock descend en dessous d'un niveau appelé point de commande.

- **Détermination de la quantité économique d'approvisionnement  $Q_e$  :**

Le fait de commander et de posséder un article en stock génère deux types de dépenses :

- Le coût de passation de commande comprenant :
  - ✓ Les salaires et charges des sections d'achats, de réception et comptabilité.
  - ✓ Les frais de déplacement
  - ✓ Les frais téléphoniques, télex, timbres, moyens informatiques, etc..
- Le coût de possession comprenant :
  - ✓ Les intérêts de capital immobilisé
  - ✓ Les frais des locaux et de la manutention
  - ✓ Les frais des fournitures et des assurances
  - ✓ Les taxes et impôts
  - ✓ Les pertes dues à la détérioration ou perte éventuelle du stock, etc..

La quantité économique  $Q$  correspond au minimum du coût global, qui est égal à la somme du coût de passation et du coût de possession.

Le coût de passation annuel est :  $C_a = (A/Q)*C$

Le coût de possession annuel est :  $C_p = (Q/2)*U*T$

Avec :



- • Q : quantité commandée (Q/2 est la valeur moyenne du stock, le stock variant de 0 à Q).
- • A : consommation annuelle
- • C : cout administratif de passation de commande
- • U : cout unitaire
- • T : taux par an de possession de stock (en%)

Les valeurs de Q, A, C, U et T sont supposées constantes pendant une année. Le cout global est :

$$C_g = C_p + C_a$$

La dérivée de  $C_g$  par rapport à Q égal à 0 donne :  $Q_e = \sqrt{(2 \cdot A \cdot C) / U \cdot T}$

- **Détermination du point de commande  $P_c$  :**

Pour déterminer ce niveau, on doit tenir compte du délai de livraison D et des aléas causés par l'accroissement de ce délai ou par une augmentation impérative de la consommation.

Afin de couvrir ces aléas, on constitue un stock de protection .La valeur de  $P_c$  est donnée par la relation :  $P_c = (A/12) \cdot (D + DSP)$

Avec :  $D_{sp}$  = période assurée par le stock de protection, exprimée en mois

D = Délai de livraison exprimé en mois.

- **Application**

Il convient d'appliquer la méthode du point de commande aux articles de consommation discontinue qui satisfont simultanément aux deux conditions suivantes :

- Valeur de consommation annuelle élevée.
- Fluctuations importantes de la consommation mensuelle.



---

## 2. Méthode du plan d'approvisionnement :

- **Principe :**

Elle consiste à commander une quantité variable à des dates fixes. L'intervalle entre deux commandes successives est appelé « période d'approvisionnement économique ».

La quantité commandée lors de chaque approvisionnement, est la différence entre un niveau appelé « plafond » et le stock.

- **Détermination de la période économique  $P_e$  :**

Le coût de passation annuel est :  $C_a = (12/P)*C$

Le coût de possession annuel est :  $C_p = (U*A/12)*(P/2+D_{sp})*T$

La dérivée de  $C_g$  par rapport à  $P$  égal à 0 donne :  $P_e = 12*\sqrt{((2*C)/(U*A*T))}$

Le nombre économique de commandes par an sera :  $N_e = 12/P_e$

- **Détermination du plafond :**

Pour éviter le risque de rupture du stock dû à une augmentation imprévue de la consommation ou à un accroissement du délai de livraison, on constitue un stock de protection ; on note  $D_{sp}$  la période assurée par le stock de protection, exprimée en mois.

Puisque le déclenchement des commandes tiens compte du délai de livraison, le niveau plafond sera la somme de la quantité moyenne commandée ( $P_e*(A/12)$ ), de la quantité consommée pendant le délai de livraison ( $D*(A/12)$ ), et du stock de protection ( $D_{sp}*(A/12)$ )

Donc on aura :  $\text{Plafond} = (A/12)*(P_e+D+D_{sp})$

- **Applications :**

La méthode du plan d'approvisionnement est réservée aux articles dont la consommation est continue et de faible valeur annuelle. On peut également l'utiliser pour les articles dont la



consommation annuelle est de forte valeur, à condition que les fluctuations de consommation mensuelle soient faibles.

### 3. Méthode du programme d'approvisionnement :

- **Principe :**

Consiste à commander des quantités fixes, appelées quantités économiques, à des dates ou intervalles fixes, appelées périodes d'approvisionnement économiques. Elle permet de passer une seule commande annuelle avec des livraisons pré échelonnées.

- **Quantité économique d'approvisionnement  $Q_e$  et période d'approvisionnement économique  $P_e$ :**

La quantité économique  $Q_e$  est déterminée de la même façon que pour la méthode du point de commande. C'est-à-dire telle que  $CT$  soit minimale. Il faut donc dériver  $C_g$  par rapport à  $Q$ ,  $Q_e$  sera alors la quantité économique qui permet d'annuler cette dérivée :

$$Q_e = \sqrt{(2 \cdot A \cdot C) / U \cdot T}$$

La quantité économique de commande  $Q_e$  correspond en moyenne à  $N_e$  commandes par an.

La période  $P_e$  entre commandes s'en déduit :  $P_e = (12 \cdot Q_e) / A$

Avec :  $N_e = A / Q_e$  &  $P_e = 12 / N_e$

- **Application :**

Cette méthode est appliquée à des articles dont :

- ✓ La consommation est régulière (grande consommation)
- ✓ La valeur est faible
- ✓ Le délai d'approvisionnement est court