

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

Université Abou-Bekr Belkaïd - Tlemcen
Faculté De Technologie
Département De Génie Electrique et Electronique
Laboratoire De Productique



Mémoire fin études

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de master 2
Spécialité : génie industriel



Présentée par :

Khemmali Nadia

Medhi Wassila

**SUJET : La réutilisation des pièces de rechange dans les actions de
maintenance dans un contexte d'une chaine logistique inverse**

Soutenue le 04 Juin 2016

Devant le jury :

M^{me} DIB Zahira

MCB Université de Tlemcen

Présidente

Mr. BENEKROUF Mohamed

MCB Université de Tlemcen

Examineur

Mr. BOUBAKER Djamila

Doctorante Université de Tlemcen

Examinatrice

Mr. MALIKI Fouad

MAA EPST Tlemcen

Encadrant

Année Universitaire : 2015/2016

Dédicace :

Au nom de Dieu Allah



Je dédie ce mémoire ...



A mes très chers parents affables, honorables, aimables : vous représentez pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Vos prières et votre bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

A mon frère Mohammed pour sa tendresse et ses précieux encouragements : tu es ma plus grande source de bonheur, j'espère que la vie te réserve le meilleur.

A ma grand-mère Fatima Zahra pour sa douceur et sa gentillesse.

A tous les membres de ma famille, petits et grands Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

A tous mes amis (es) et surtout Imen, Dihya et Samir pour leur aide, soutien et encouragement.

Khemmali Nadia

DEDICACE

A mon père

« L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et mon respect.

Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiment, que dieu te préserve et te procure santé et longue vie. »

A ma mère

« Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir.

Tous ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte.

En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour te remercier pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entouré.»

A ma très chère et douce grand-mère Zohra,

A mon cher grand-père el HadjBensaid,

A mes chers frères Adda, Abdelkarim, Yazid et Bensaid,

A ma chères sœur Souad,

A toute la famille Azzeddine et la Famille Benbiou,

A mes chères amies : Siham, Djahida, Douaa, Yassamine, Wassila, Zineb, keltouma, Chafiaa, Houria,

Medhi Wassila

Remerciements :



Merci ALLAH ...

En préambule de ce mémoire de recherche, nous souhaiterons porter nos remerciements à l'ensemble des personnes qui nous ont permis d'achever ce travail qui clôture la fin du Master 2 de Génie Industriel.

Nous tenons à remercier en premier lieu toute l'équipe du laboratoire Productique MELT de l'université de Tlemcen qui a su coordonner l'ensemble de ces années pour la promo 2011-2016 pour les solides notions théoriques qu'ils nous ont enseignées.

Nous remercions également notre encadrant Monsieur MALIKI Fouad qui a su être disponible pour mener à bien ce travail d'ampleur. Sa disponibilité et son ouverture, nous ont permis de faire évoluer ce travail.

Nous remercions tous les enseignants pour leurs soutiens, encouragements, confiance et disponibilités retrouvés dans ces années. Nous garderons un souvenir inoubliable.

Nous tenons à remercier les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait de juger ce mémoire et pour leurs conseils en vue d'améliorer la qualité de ce travail de recherche : Mme Dib Zahera, Madame Boubkeur Djamila et Monsieur Bennekrouf Mohammed.

Nous remercions toute la promo Master 2 Génie industriel, nous ne pouvons trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer notre affection et nos pensées, vous êtes pour nous des frères, sœurs et des amis sur qui nous pouvons compter.

Résumé :

Le besoin de satisfaire les exigences d'une société industrielle en expansion a entraîné la négligence de l'aspect environnementale, en matière de consommation des matières premières, mais aussi par les déchets qui polluent l'environnement. Durant le siècle dernier, le monde industriel a accordé très peu d'intérêt à la récupération des produits en fin de vie. Les évolutions réglementaires et économiques qu'a connues le monde, la dernière décennie, ont créées un réel intérêt à la récupération et la valorisation des produits en fin de vie. Il existe plusieurs options de valorisation : recyclage, incinération, cannibalisation, remanufacturing, ... Parmi ces options, nous nous intéressons particulièrement au remanufacturing qui permet non seulement de prolonger le cycle de vie du produit mais aussi de réduire l'utilisation des ressources énergétiques et matérielles, et aussi de limiter la pollution et la dégradation du capital naturel.

Dans ce contexte, cette thèse s'intéresse à l'intégration de la logistique inverse dans la maintenance d'un système de production tout en réutilisant des produits remanufacturés sous la forme de pièces de rechange. Cette réutilisation peut varier selon la politique de maintenance adoptée. Ce travail vise à développer un modèle afin de trouver la meilleure politique de maintenance et celle d'approvisionnement en pièces de rechange destinées aux actions de remplacements dont l'objectif est de minimiser les couts engendrés par ces différentes actions

Mots-clés :

Remanufacturing, chaine logistique inverse, pièces de rechange réutilisées, politique de maintenance.

Abstract :

The need to satisfy the requirements of an industrial society in expansion has resulted in the neglect of the environmental aspect, in terms of consumption of raw materials, but also by the waste that pollutes the environment. During the last century, the industrial world has given very little interest in the recovery of end of life products. Regulatory and economic changes experienced by the world, the past decade has created a real interest in the recovery and recycling of end of life products. There are several valuation options: recycling, incineration, cannibalization, remanufacturing. Among these options, we are particularly interested in remanufacturing which allows not only to extend the product life cycle but also to reduce the use of energy and material resources and also to limit the pollution and degradation of natural capital.

In this context, this paper looks at the integration of reverse logistics in the maintenance of a production system while reusing remanufactured products as spare parts. This reuse may vary adopted maintenance policy. This work aims to develop a model to find the best policy for the maintenance and supply of spare parts for stock replacement whose objective is to minimize the costs generated by these actions

Keywords:

Remanufacturing, reverse logistics chain, parts reuse, maintenance policy.

Table des matières

Dédicace

Remerciement

Abstract

Résumé

Liste des figures..... 9

Liste des tableaux 11

Introduction générale13

Chapitre I: généralité sur la logistique inverse

I.1. Introduction 16

I.2. La logistique inverse..... 17

I.2.1. Historique..... 17

I.2.2. Définition 17

I.2.3. Les activités de la logistique inverse..... 20

I.3. Motivations 24

I.3.1. Aspect écologique et environnemental 24.

I.3.2. Aspect économique 24

I.3.3. Aspects sociaux 24

I.4. La réutilisation des produits en fin de cycle de vie 25

I.4.1. Cycle de vie d'un produit 25

I.4.2. La réutilisation..... 27

I.4.3. Conception du produit, effet économique et environnemental des retours 29

I.5. La maintenance 31

I.5.1. Définition 31

I.5.2. Les diverses politiques de maintenance 31

<i>I.6. Conclusion</i>	34.
------------------------------	-----

Chapitre II : état de l’art et problématique étudiée

<i>II.1.Introduction</i>	36
--------------------------------	----

<i>II.2. Etat de l’art</i>	36
----------------------------------	----

<i>II.3. La problématique</i>	38
-------------------------------------	----

<i>II.4. Algorithmes génétiques</i>	40
---	----

<i>II.4.1. Principes de base des Algorithmes génétiques</i>	40
---	----

<i>II.4.2. Opérations des algorithmes génétiques</i>	43
--	----

<i>II.4.2.1. Codage</i>	43
-------------------------------	----

<i>II.4.2.2. Sélection</i>	44
----------------------------------	----

<i>II.4.2.3. Croisement</i>	47
-----------------------------------	----

<i>II.4.2.4. Mutation</i>	48
---------------------------------	----

<i>II.4.3. Caractéristiques des algorithmes génétiques</i>	50
--	----

<i>II.5. Conclusion</i>	51
-------------------------------	----

Chapitre III : cas d’étude et résultats obtenus

<i>III.1. Introduction</i>	54
----------------------------------	----

<i>III.2. Présentation de la société</i>	54
--	----

<i>III.2.1. Présentation du groupe Kherbouche</i>	54
---	----

<i>III.2.2. Fiche d’identité de l’entreprise</i>	55
--	----

<i>III.2.3. La fonction de la filiale CANAL- PLAST</i>	55
--	----

<i>III.2.4. Circuit de fabrication des tubes PEHD et PVC</i>	56
--	----

<i>III.2.4.1. Atelier de PEHD</i>	56
---	----

<i>III.2.4.2. Atelier du PVC</i>	56
--	----

<i>III.3. la politique du maintenance conditionnelle adoptée</i>	57
--	----

<i>III.4. Données de l'entreprise</i>	63
<i>III.5. Modèle mathématique</i>	63
<i>III.6. Approche proposée</i>	69
<i>III.7. Résultats obtenus</i>	70
<i>III.8. Conclusion</i>	72
Conclusion générale	73

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I.1 : Classification des activités de chaîne logistique inverse	22
Figure I.2- La logistique inversée : vers une logistique durable.....	25
Figure I.3 : cycle de vie des produits	25
Figure I.4 : les phases de cycle de vie d'un produit.....	26
Figure I.5 : Cycle de vie du produit incorporant les traitements et possibilité d'une nouvelle vie.....	27
Figure I.6 : Structure de la chaîne inverse avec ses choix de décisions de flux	28
Figure I.7 : Démantèlement et nettoyage.....	29
Figure I.8 : Remplacement des pièces défectueuses	30
Figure I.9 : Remplissage	30
Figure I.10 : Évaluation de performance	30
Figure I.11 : Les différentes stratégies de maintenance.....	33

Chapitre II :

Figure II.1 : Les cinq niveaux d'organisation dans les algorithmes génétiques.....	41
Figure II.2 : Roulette de Wheel.....	46
Figure II.3 : Méthode SUS	46
Figure II.4 : Croisement un point	46
Figure II.5 : Croisement deux points.....	48
Figure II.6 : Croisement uniforme	48
Figure II.7 : opération de mutation	49
Figure II.8 : Les opérations des algorithmes génétiques.....	49

Chapitre III :

Figure III.1 : processus de fabrication des tubes PEHD	56
Figure III.2 : processus de fabrication des tubes PVC	57
Figure III .3 : graphe état/transition pour l'état de la machine	61
Figure III.4 : système de production à une seule machine	62
Figure III.5 : politique périodique d'inspection adoptée	63
Figure III .6 : arbre de probabilité associé	68
Figure III.7 : Structure d'un chromosome	70

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I.1 : activités de la logistique inverse21

Tableau I.2 : Exemples de taux de retour23

Chapitre III :

Tableau III.1: coûts unitaires des commandes (DA/jour)65

Tableau III.2 : coût de la maintenance préventive (DA).....66

Tableau III.3: Les seuils d_c et d_r et les coûts obtenus pour la première série.....70

Tableau III.4: Les seuils d_c et d_r et les coûts obtenus pour la deuxième série.....71

Tableau III.5: Les seuils d_c et d_r et les coûts obtenus pour la troisième série.....71

Introduction générale

Introduction général :

Le retour des marchandises prend de plus en plus d'ampleur pour les organisations, les produits récupérés par les organisations sont principalement directement réintroduits sur le marché, lorsque possible, revendus sur un marché secondaire à très bas prix ou encore simplement éliminés. D'où vient la nécessité d'intégrer les activités de récupération, de traitement de produits inutilisés ou en fin de cycle de vie au sein des entreprises. Les pressions pour la récupération des matières, la réduction de l'enfouissement comme mode de gestion des déchets, la prise de conscience des consommateurs ainsi que les économies potentielles provenant d'une réutilisation des matières amènent les organisations à accorder une attention accrue à la logistique des retours. Ce concept introduit une nouvelle perspective dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement, car les schémas traditionnels décrivant la circulation des matières sont généralement conçus dans une optique unidirectionnelle : des fournisseurs vers les utilisateurs. En fait, la logistique inverse souligne que la matière peut emprunter le chemin inverse et remonter la chaîne d'approvisionnement.

La logistique inverse consiste à récupérer des biens du circuit commercial ou du consommateur même, de les orienter vers une nouvelle étape de leur existence et de les traiter dans le but d'en retirer le maximum de valeur en cherchant à les réintégrer sur le marché ou de les disposer proprement.

L'objectif principal de la logistique des retours est d'assurer le retour des produits/matières de l'utilisateur au producteur. Elle comprend de nombreuses activités telles que la collecte, le tri, la transformation, le reconditionnement, l'enfouissement, l'incinération... Par ailleurs, ce concept n'est pas restreint aux seules activités de récupération des matières (rebut ou rejets de production ou retours d'emballage), il intègre également les activités de retour de produits pour cause de défaut ou de non-conformité aux besoins (retours sous garantie, produits en fin de vie, retours commerciaux, campagnes de rappel). Ainsi, la logistique des retours n'est pas une pratique récente mais elle acquiert de plus en plus un caractère stratégique. En effet, l'engouement des consommateurs pour des produits faits de matières recyclées oblige en quelque sorte les manufacturiers à concevoir de nouveaux produits et procédés, mais surtout à mettre en place des réseaux capables de récupérer cette nouvelle matière première.

Introduction générale

La maintenance, qui a pour vocation d'assurer le bon fonctionnement des systèmes de production, est une fonction stratégique dans les entreprises. Intimement liée à l'incessant développement technologique, à l'apparition de nouveau mode de gestion à la nécessité de réduire les couts de production, elle est en constante évolution. Elle n'a plus aujourd'hui comme seul objectif de réparer l'outil de travail mais aussi de prévoir et éviter le dysfonctionnement. Dans ce contexte, deux politiques de base peuvent être employés. La première est la maintenance corrective qui a comme objectif de réduire la durée d'immobilisation des moyens de production. Elle intègre non seulement les actions curatives (remplacement d'une pièce par exemple) mais également les actions correctives permettant de supprimer la cause de la panne (méthode de résolution de problèmes – recherche de la cause première). Cette politique est intéressante d'un point de vue cout direct de maintenance, cependant elle est désavantageuse d'un point de vue maintien du système en état de marche. La 2eme politique va permettre d'anticiper les dysfonctionnements des moyens de production afin d'éviter au maximum les arrêts de production. De plus, elle va contribuer à améliorer la fiabilité des moyens de production mais également la qualité des produits fabriqués. Elle se traduit souvent par la mise en place de plan de prévention identifiant des actions à mener (graissage, nettoyage, remplacement systématique d'une pièce d'usure, par exemples) à des fréquences données. Elle est intéressante d'un point de vue maintien du système en état de marche, cependant, elle est désavantageuse d'un point de vue cout direct de maintenance. Cette politique est connue sous le nom de la maintenance préventive.

Nous avons posé les grandes lignes de ce mémoire dans l'étude de la réutilisation des produits sous la forme de pièces de rechange dans une chaine logistique inverse. Cette étude est faite sur un système de production avec une prise en compte simultanée des aspects environnemental et économique.

Ce travail est organisé en trois chapitres. Dans le premier chapitre, nous parlons dans un premier temps de la chaine logistique inverse dont l'objet est de présenter la vision de motivation des entreprises et des autorités en vue de la mise en œuvre de la logistique inverse. Plusieurs définitions, contextes de motivation, statistiques et exemples sont brièvement présentés dans cette partie d'une manière explicite. Par la suite, nous définissons la maintenance en présentant ces différents politiques.

Le deuxième chapitre est dédié à la présentation d'un état de l'art sur la réutilisation des pièces de rechange en fin du cycle de vie. Ensuite, nous présentons l'étude théorique

Introduction générale

concernant le problème étudié et l'explication de l'approche de résolution proposée. Nous rappelons dans ce chapitre les principes de base des algorithmes génétiques.

Dans le troisième chapitre, nous présentons la formulation mathématique de notre problème ainsi que les données nécessaires pour la simulation obtenues par un stage pratique au niveau du groupe Kherbouche. Les résultats numériques sont présentés et interprétés pour valider l'approche proposée.

Nous clôturons notre travail par une conclusion générale groupant les objectifs atteints dans notre étude avec la présentation d'éventuelles perspectives dans le futur.

Chapitre I :
Généralité sur la logistique inverse

I.1. Introduction :

Durant ces dernières années, le consommateur demande de plus en plus des produits durables. Par contre, le développement technologique rapide ne fait qu'augmenter le besoin du consommateur qui cherche à avoir ces nouveautés ce qui réduit la durée de vie de la majorité des produits. Cela augmente la qualité et les quantités des produits hors usages à acheminer vers les sites d'enfouissement. Il est alors important de trouver des alternatives pour la disposition des produits à cause du taux élevé d'utilisation des sites d'enfouissement. De plus, la conscience vis-à-vis des problèmes environnementaux, et les règlements qui exercent des pressions sur les fabricants et les consommateurs les amènent à produire et à disposer des produits en tenant compte de l'environnement [1]. [2]

De plus, les produits ont de plus en plus des courtes durées de vie, encourageant un usage intensif de la matière première. A l'opposé, la croissance des déchets industriels et domestiques rejetés prématurément impose un étranglement des sites d'enfouissement et d'élimination des déchets.

Pour faire face à ce type de problématique, des tentatives multiples de récupération et de réduction des déchets sont devenues une préoccupation majeure dans les pays industriels. Le concept de retraitement et de remplacement tend peu à peu à prendre une voie à sens unique dans l'évolution de l'économie [3]

Cette interaction entre la gestion de l'environnement et l'exploitation des ressources humaines et matérielles a conduit vers un nouveau concept appelé "**reverse logistique**". Ce nouveau concept a pour objectifs de ralentir la dégradation de l'écosystème, entre autres, devenu non durable et fragile. Améliorer la protection des ressources naturelles (comme la conservation des terres, la réduction de consommation des matières premières comme le pétrole, les métaux, le bois etc...) et l'économie d'énergie. [4]

Dans ce chapitre, nous établissons une synthèse de définitions de la logistique inverse proposées dans la littérature. Ensuite, nous concentrons sur la réutilisation des produits en fin de cycle de vie. De plus, nous donnons quelques exemples et quelques statistiques. Et à la fin de ce chapitre, nous parlons de la maintenance où nous allons citer ces différents types et stratégies.

I.2. La logistique inverse :

Dans cette partie nous présentons les concepts de base de la chaîne logistique inverse.

I.2.1. Historique

La logistique inverse est née du besoin des entreprises de structurer les retours

➤ Début des années 90 : Apparition D'un concept de Reverse Logistics en Amérique du Nord et en Europe.

➤ 1984 : Les Laboratoires McNeil aux USA distribuent de mauvais produits pharmaceutiques aux détaillants, mais les remplacements commencent à se faire rapidement avec de nouveaux lots sécurisés.

➤ 1963 : Fondation du Council of Supply Chain management professionals (CSCMP). Association Professionnelle mondiale de la logistique la plus importante.

➤ 1991 : R.Frerich- Sagurna au Congrès International de la Logistique de La Haye Propose de dupliquer le schéma classique de la chaîne logistique, en y incluant les flux retours et en imaginant une Consuming Enterprise Miroir de l'entreprise productrice classique.

➤ 1991 : Publication Du document «Reverse Logistics» Par le CSCMP.

➤ Avril 1992 : L'ASLOG, association française pour la logistique introduit le concept en organisant le «1^{er} forum de la logistique et de l'environnement».

➤ 1993 : Publication Du livre «Reuse And Recycling–Reverse Logistics opportunities» Par le CSCMP.

I.2.2. Définition :

Le terme de logistique inversée (*reverse logistics*) est celui le plus couramment rencontré dans la littérature lorsqu'il est question de la gestion des retours et du traitement des produits récupérés. Son nom est évocateur du fait qu'il permet de référer aux activités liées à la logistique d'une organisation, mais dans un sens inverse, en opposition concepts de la logistique inversée que depuis une dizaine d'années, il n'est pas étonnant de constater l'utilisation d'une terminologie relativement variée et peu détaillée. La logistique inversée est souvent traitée dans la littérature suivant un contexte donné, par exemple en abordant spécifiquement des activités de désassemblage de produits ou du commerce électronique, ou encore réfère bien souvent à un cas d'études bien déterminé s'attardant à un type particulier

de retour. Certains auteurs se sont avancés dans la proposition d'une définition générale qui permet de positionner la logistique inversée, et en tentant de représenter les divers thèmes qu'elle englobe.

[5] abordent la logistique inversée sous l'appellation de la gestion de la récupération de produits (*product recovery management*) comme étant :

« La gestion des produits, des composants et des matériels usés ou éliminés qui tombent sous la responsabilité de la compagnie manufacturière. L'objectif de la gestion de la récupération des produits est de retirer le maximum de valeur économique (et environnementale) raisonnablement possible, tout en réduisant la quantité ultime de déchets ».

Pour leurs part, [6] et [7] présentent la logistique inversée sous le terme **de logistique à rebours** comme étant :

« Un ensemble d'activités de gestion visant la réintroduction secondaire dans des filières à valeur ajoutée ».

Un premier trait caractéristique de la logistique inversée découle de ces définitions. Effectivement, bien que l'on n'ait présenté pour l'instant que deux définitions, l'ensemble des auteurs traitant de la logistique inversée s'entendent sur le fait qu'elle est un domaine qui s'intéresse à la gestion des produits récupérés de manière à pouvoir en retirer de la valeur en cherchant à les réintroduire sur le marché. Ces deux dernières définitions sont intéressantes du fait qu'elles introduisent les notions de respect de l'environnement et de chaîne de valeur, en parlant de valeur ajoutée, de la logistique inversée. Toutefois, ces définitions permettent difficilement de saisir les activités impliquées et, conséquemment, de cerner les flux de matière et d'information lui étant liés.

D'autres auteurs ont cherché à élargir la définition de la logistique inversée en s'appuyant sur la chaîne régulière d'approvisionnement.

C'est ainsi que [8] décrivent le domaine de la logistique inversée en se basant sur la définition proposée par le « *Council of Logistics Management* », comme étant :

« Partant du point de consommation jusqu'au point d'origine, la rétrologistique est un processus efficace de planification, de mise en œuvre et de contrôle des flux de matières premières, d'encours, de produit finis, et de l'information relative à ces flux, dont le but est

de recapter la valeur des matières en les remettant à disposition dans une supply chain de retour ».

Fleischmann a analysé les diverses définitions de la logistique inversée tirées de la littérature afin de la définir comme suit :

« Le processus de planification, d'implantation et de suivi de l'efficience, de l'efficacité des flux entrants et de l'entreposage de biens secondaires et d'information s'y rattachant en opposition à la direction de la chaîne d'approvisionnement traditionnelle, et ce, en vue d'en récupérer de la valeur ou de les traiter proprement ».[9]

C'est pourquoi nous proposons, dans le cadre de ce mémoire, notre propre définition de la logistique inversée. La logistique inversée consiste alors à **recupérer** des biens du circuit commercial ou du consommateur même, de les **orienter** vers une nouvelle étape de leur existence et de les **traiter** dans le but d'en retirer le maximum de **valeur** en cherchant à les **réintégrer** sur le marché ou de les disposer proprement. Par son champ d'action, on voudra assurer entre autres la gestion et la planification des activités de collecte, d'évaluation, de tri, de désassemblage, de redistribution de même que la gestion des stocks de produits neufs, récupérés et valorisés dans le but de réorienter les produits récupérés de manière efficiente dans leur cycle de vie.

Le traitement des produits récupérés comprend la réutilisation directe, les activités de valorisation et l'élimination totale ou partielle des produits. Plus spécifiquement, la réutilisation directe fait référence à la revente des produits récupérés à l'état neuf. Habituellement, de tels produits sont retournés les jours suivant l'achat. Pour leur part, les options de valorisation font souvent intervenir des produits retournés après une certaine période d'utilisation et nécessitent généralement certaines opérations d'ajustement ou de remise en état. Ces options sont regroupées en cinq catégories par [5]

Ils les présentent en ordre croissant ou en fonction de leurs valeurs par les activités suivantes :

- Réparation.
- Reconditionnement.
- Réassemblage.

- Récupération de composants (cannibalisation).
- Recyclage des produits inutilisés ou de leurs composants.

L'élimination, dans le cadre de la logistique inversée représente le choix ultime en regard du traitement d'un produit récupéré lorsqu'il est impossible de le réintroduire efficacement sur le marché.[10]

I.2.3 Les activités de la logistique inverse :

La rétro-logistique possède des différentes activités telles que la collecte, l'inspection, le tri, le recyclage, la réutilisation, la réparation (remise en état) et la remanufacturation (remise à neuf).

- **Collecte** : La première étape de la récupération de la valeur, qui consiste à la localisation et la sélection des produits par type, afin de les transporter vers des points de tri.
- **Inspection** : Elle est définie dans la norme [11] comme un contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, soumettant à essai ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien. Afin de décider de l'action à réaliser sur le produit (le produit peut être remanufacturé, réutilisé dans l'état, recyclé...).
- **Tri** : C'est le processus de séparation des éléments selon des critères prédéfinis, en plusieurs catégories afin qu'ils soient conduits vers les autres activités de la chaîne logistique inverse.
- **Recyclage** : Il est défini dans [12] comme " une série d'actions que les produits jetés subissent après la collecte, désassemblage, le tri, et traitement pour extraire de la matière première utilisée de nouveau pour produire d'autres articles ". Selon Srivastava [13], " le recyclage est défini par la récupération de la matière contenue dans les produits utilisés et ceux qui n'ont pas fonctionnés ". L'ensemble des processus de récupération de produits que nous citerons, ont comme objectif de conserver l'identité et la fonctionnalité des produits aussi longtemps que possible. Cependant, dans le processus de recyclage, l'identité et la fonctionnalité du produit est perdu.
- **Réutilisation** : Dans [12] elle est définie comme un terme générique qui regroupe plusieurs formes d'opérations, que le produit pourra subir en fin de vie, pour être remis en service, sous la même forme, avec ou sans réparation. On distingue plusieurs formes de réutilisation, dont :

Réutilisation directe : remettre les produits qui n'ont pas de défaut, à la chaîne de distribution.

Redéploiement : l'utilisation d'un produit pour la même application, sans avoir d'hypothèses ni de garanties sur son aptitude à accomplir sa fonction requise.

Réaffectation : il s'agit d'utiliser une partie ou la totalité du produit pour un nouvel usage.

- **Réparation (Remise en état)** : Elle est définie dans [12] comme une correction d'un défaut spécifique dans le produit. Ainsi, le but de la réparation est de remettre les produits en état de marche. Cependant, la qualité du produit réparé est généralement inférieure à celle de la qualité des produits neufs. C'est un processus qui implique la fixation et/ou le remplacement des parties défectueuses. Généralement, la réparation ne nécessite pas un désassemblage complet du produit. Ce qui permet de réaliser sa réparation sur place, ou dans des centres de réparation.
- **Remanufacturing (Remise à neuf)** : Dans [12] elle est définie comme le processus de récupération d'un produit en fin de vie, et la réalisation de la restauration nécessaire pour revenir aux conditions de performance d'origine avec une garantie de produit résultant au moins égale à celle d'un nouveau produit comparable. Selon [14], elle est définie comme une série d'étapes de fabrication appliquées sur une partie, ou sur la totalité du produit en fin de vie, pour le rendre comme neuf ou avec de meilleures performances et garantie.[15] la définit simplement comme un recyclage qui intègre des opérations d'usinage. Dans notre travail, le remanufacturing est utilisée comme un terme générique qui désigne les différentes opérations réalisées dans une chaîne logistique inverse, et ceci par des niveaux de remanufacturing. Ainsi, la réutilisation directe est le plus bas niveau de remanufacturing possible.

[16] proposent une décomposition des activités de la logistique inverse en deux groupes, et ceci selon l'objet traité. Ainsi, les activités sont liées au produit lui-même, ou bien liées au matériel d'emballage. Le tableau I.1 reprend la classification proposée par Rogers et Tibben-Lembke des activités de la logistique inverse. [17]

Tableau I. 1 : activités de la logistique inverse [16]

Objet	Activités
Produit	Retourner au fournisseur Revenir Vendre via magasin entrepôt (ourlet) Remettre en état Remettre a neuf Récupérer certain matériaux Récupérer tous les matériaux Recycler donner Enfourir
Emballage	Réutiliser Remettre en état Récupérer certains matériaux Récupérer tous les matériaux Recycler Enfourir

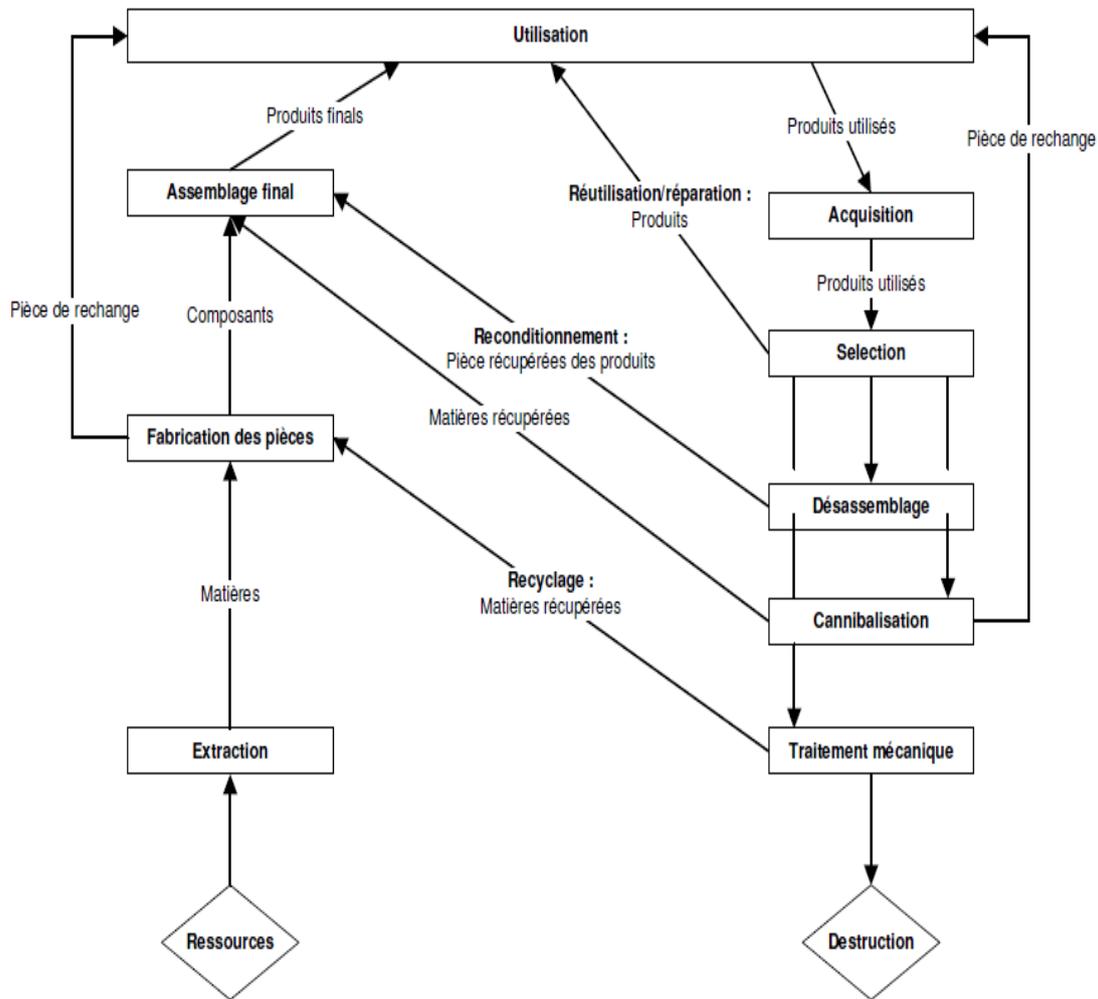


Figure I.1 : Classification des activités de chaîne logistique inverse selon Thierry et al.[17]

La rétro-logistique traite aussi du retour de marchandises dû à des méventes, des excès de stocks saisonniers, des rappels pour défauts, aussi bien que des programmes de recyclage d'équipements obsolètes et de matériaux dangereux et/ou dérangeants. Son importance économique fluctue selon les secteurs considérés. A titre d'exemple, le Tableau II.2 présente les taux de retour de quelques secteurs. [18]

Tableau I.2 : Exemples de taux de retour. [18]

Secteur	%
Journaux et magazines	20-30
Distributeurs de livres	10-20
Ventes par correspondance	18-35
Distributeurs de composants électroniques	10-12
Ordinateurs	10-20
Grande distribution	4-15
Pièces de rechange automobiles	4-6
Electronique grand public	4-5
Produits chimiques ménagers	2-3

Les coûts de logistique aux États-Unis sont estimés à près de 862 milliards de dollars en 1997 soit 10,7% de l'économie américaine mentionne [19]. Pour ce qui est de la logistique inverse, elle est estimée à environ 4% des coûts de logistique soit 35 milliards de dollars en 1997 selon [20]

[21] quant à eux, mentionnent qu'il est difficile d'en estimer le coût des biens car les entreprises ne connaissent pas l'ampleur des activités.

Dans «Return to sender», les retours annuels totaux sont estimés à 62 milliards de dollars et entraînent des pertes de 10 à 15 milliards de dollars. Par contre, le commerce électronique à lui seul représente 11 milliards de dollars en retour et des pertes de 1,8 à 2,5 milliards de dollars. Les compagnies de commerce électronique admettent qu'ils ont 5% de retour bien qu'on estime plutôt à 30% ce chiffre. De plus, 45% des compagnies ont une politique de 100% satisfaction. Bien que la logistique inverse soit connue depuis peu sous ce nom, elle traite de problèmes qui ne sont pas nouveaux. De plus, de nouvelles législations

forcent les entreprises à revoir leur système de logistique pour faire place à la logistique inverse. [22]

I.3. Motivations :

Pour encourager l'implication de l'industrie de récupération et ainsi pour permettre le déclenchement de la chaîne logistique inverse, certains aspects de motivation sont proposés par l'ensemble des acteurs responsables :

I.3.1. Aspect écologique et environnemental :

Il vient d'exister suite à l'apparition de la norme ISO 14000, qui est considérée comme motivateur de la logistique inverse. Cette dernière a des avantages environnementaux avec une amélioration de la gestion des produits en fin de vie [23], de la récupération des ressources naturelles et de l'élimination des déchets respectant la coordination des étapes de collecte sélective, tri, traitement. Les acteurs concernés par la mise en œuvre de l'ensemble de ses activités orientent et contrôlent ainsi leurs impacts en matière d'environnement.

I.3.2 Aspect économique :

Il se traduit par une réduction des coûts. Le développement d'activités environnementales diminue les coûts grâce à la récupération de l'énergie, la diminution des ressources utilisées et la réutilisation et le recyclage des matériaux utilisés [24]. Une bonne démarche de logistique inversée ne réduit pas seulement les coûts mais augmente aussi les revenus. Une amélioration de l'organisation et de la flexibilité de l'entreprise, une hausse de l'efficacité et de l'efficacité du processus de retour [16] et la création de nouveaux marchés, intéressés par des produits valorisés, sont ainsi sources de gains financiers [25].

I.3.3. Aspects sociaux :

La logistique inversée a aussi des avantages sociaux dans la mesure où elle permet de créer différents emplois dans les métiers de la collecte, du tri, du recyclage, etc. Les acteurs de l'économie sociale et solidaire (tels que Emmaüs Ou Envie) sont intégrés comme des acteurs indispensables tout au long du processus. Des entreprises d'insertion sociale sont créées et permettent d'embaucher des personnes au chômage ou en période de réinsertion.

La figure II.2 représente la convergence des dimensions de la logistique inversée vers celles d'une logistique durable, dans le sens où elle combine des impacts économiques, environnementaux et sociaux. [26]

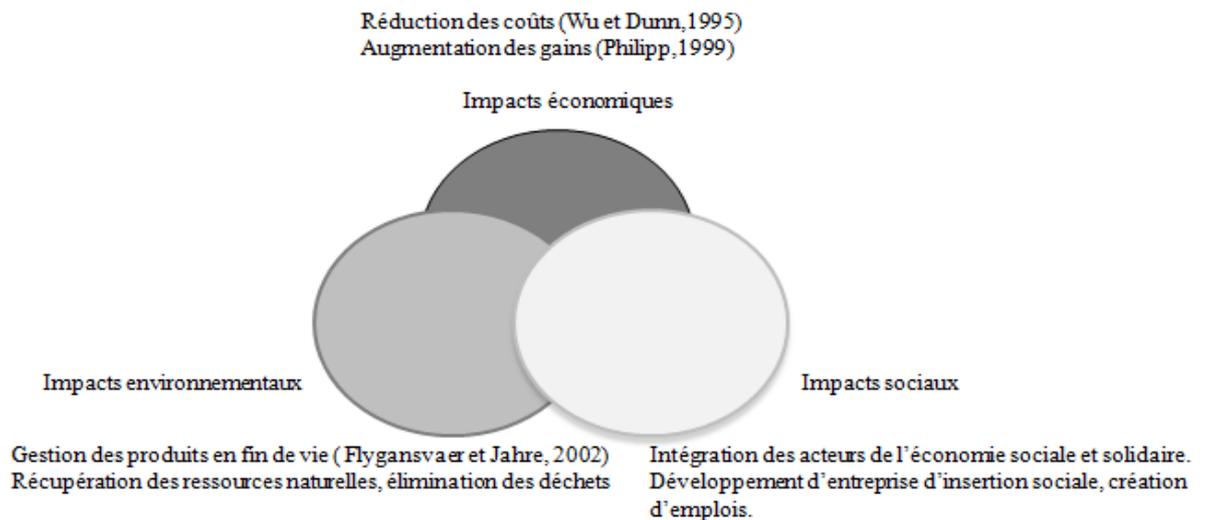


Figure I.2: La logistique inversée : vers une logistique durable. [26]

I.4. La réutilisation des produits en fin de cycle de vie :

I.4.1. Cycle de vie d'un produit:

La pensée cycle de vie correspond à un concept de production et de consommation. Elle vise la prise en compte des relations environnementales, économiques et sociales propres à un produit ou à un service pendant tout son cycle de vie, c'est-à-dire « du berceau au tombeau ».

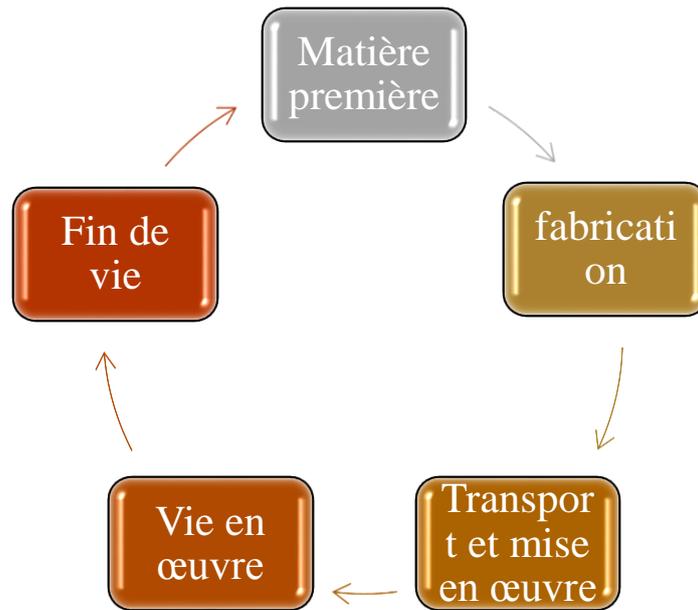


Figure I.3: cycle de vie des produits.

Le cycle de vie du produit comprend alors généralement :

- Une phase de conception / développement (pas toujours évoquée).
- Une phase de lancement.
- Une phase de croissance.
- Une phase de maturité.
- Une phase de déclin.
- Une phase éventuelle de relance.

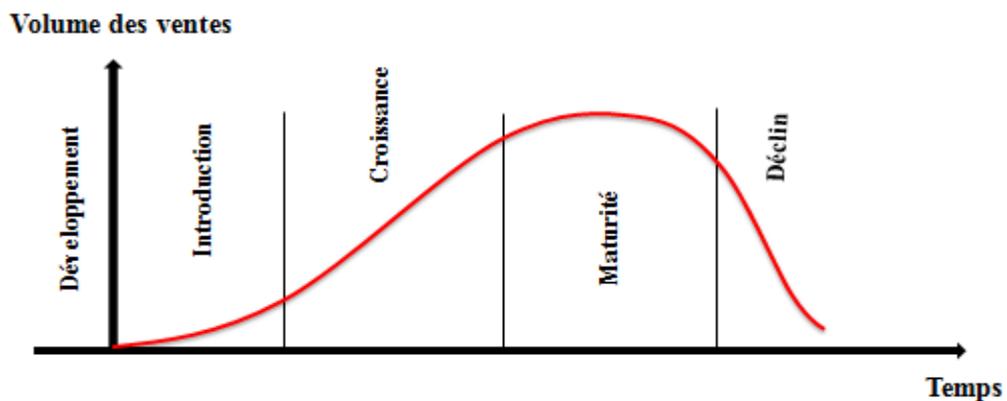


Figure I.4 : les phases de cycle de vie d'un produit.

Dans notre travail nous nous intéressons à la logistique inverse et plus précisément à la réutilisation afin de rester dans le cadre du sujet de projet.

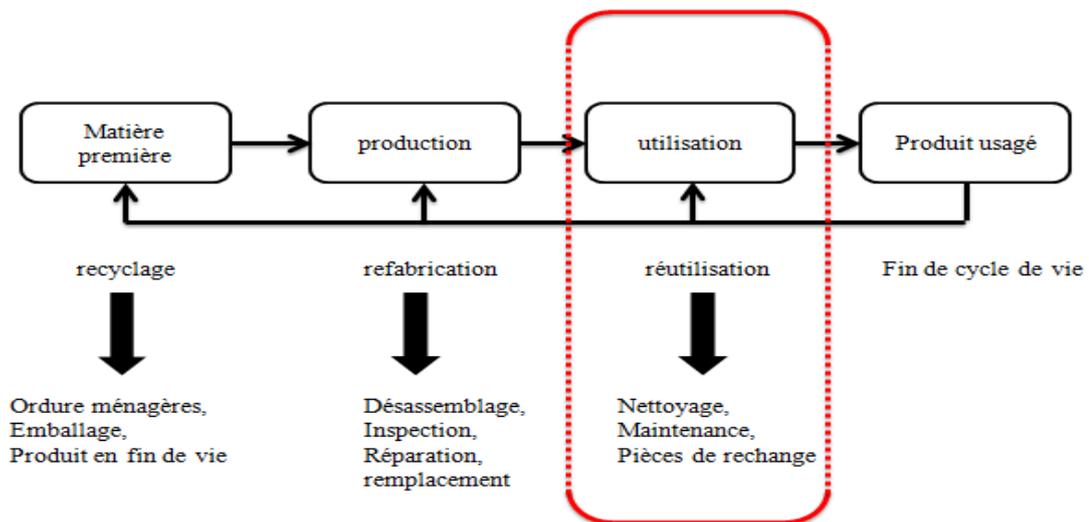


Figure I .5 : Cycle de vie du produit incorporant les traitements et possibilité d'une nouvelle vie.

Avant de parler de la réutilisation, on voudrait présenter des petits exemples :

Les produits de consommation électronique, étant donné leur court cycle de vie, se retrouvent rapidement au rebut. En 1995, Sony Europa [27] participe au programme CARE VISION 2000. Le programme cherche à augmenter la valeur du recyclage en électronique en développant des méthodes de démontage, de séparation de matériel et de récupération de produit, et alors rendre la réutilisation des pièces et modules possibles.

Le recyclage des véhicules automobiles est en place depuis plusieurs années. Aux États-Unis, [28] expliquent que le recyclage est fait en deux étapes, la première consiste à démonter les pièces de valeur pour les réutiliser et la deuxième, à envoyer le reste de la carcasse au recyclage pour les matériaux. [29] mentionnent que BMW conçoit une voiture faite pour le désassemblage et que des pièces reconditionnées retrouveront vie dans un nouveau véhicule. Lee [30] traite de la gestion du recyclage des voitures en fin de vie à Taiwan. [22]

I.4.2. La réutilisation

Réutiliser un produit signifie que le produit est utilisé immédiatement dans le même contexte ou un autre, suite à une opération additionnelle mineure telle que le nettoyage, la maintenance. Réutiliser un produit peut aussi signifier la réutilisation des pièces qui le composent comme pièces de rechange

La réutilisation des composants pour fabriquer des produits neufs permet de conserver les ressources naturelles (matières premières, énergie) et de diminuer la dégradation de l'environnement par la réduction des déchets et des émissions de gaz à effet de serre [31]. Concernant le niveau économique, la réutilisation est justifiée par le fait que les composants réutilisés sont moins chers et parfois de meilleure performance. En effet, le composant utilisé ne nécessite plus de période de rodage mais il y a un risque de réduction de la vie utile du produit. Le défi de demain est de créer, développer et produire des produits durables avec un impact mineur sur l'environnement [1] [32].

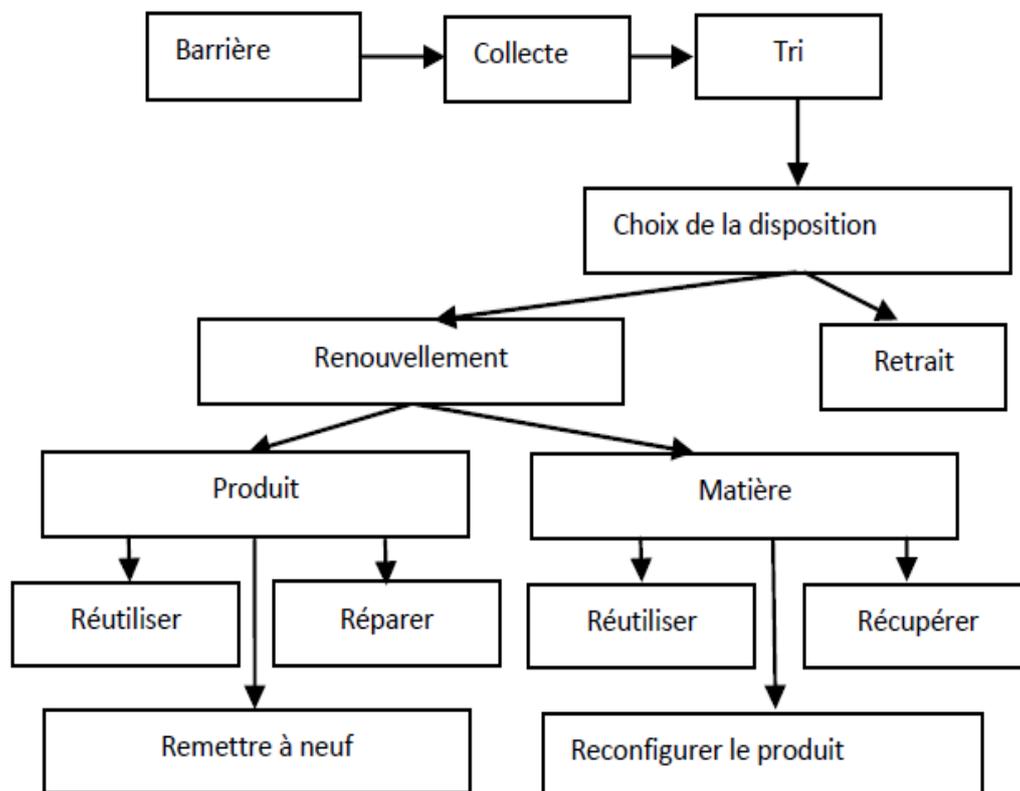


Figure I. 6 : Structure de la chaîne inverse avec ses choix de décisions de flux [4] [33]

I.4.3 Conception du produit, effet économique et environnemental des retours

Le traitement des produits récupérés reste une procédure très difficile et très délicate. Le type d'activité réalisée sur ces produits dépend de leur nature. Par exemple, les produits électroniques sont généralement réutilisables d'une manière directe dans le cas où la récupération se fait durant sa durée de vie. Cependant, ils sont peu réutilisables s'ils arrivent en fin de vie, ainsi, les composants de ce type de produit sont généralement recyclés et utilisés comme source de matière première. Pour les produits mécaniques, la proportion de réutilisation durant et après a fin de vie reste plus élevée comparant aux produits électroniques. Dans ce contexte, des améliorations doivent être apportées aux produits, d'un point de vue conception afin de faciliter les activités réalisées sur le produit après sa récupération.

On prend l'exemple d'une cartouche .La récupération des cartouches d'encre et d'encre en poudre (toner) est une action favorable pour l'environnement. En effet, l'entreposage des cartouches usées nécessite peu d'espace et de logistique. Cette récupération se résume dans quatre étapes :

1- Démantèlement et nettoyage : Les cartouches sont tout d'abord triées par compagnie de fabrication (EPSON, HP, etc.). Elles sont ensuite démantelées, puis chaque pièce est nettoyée.

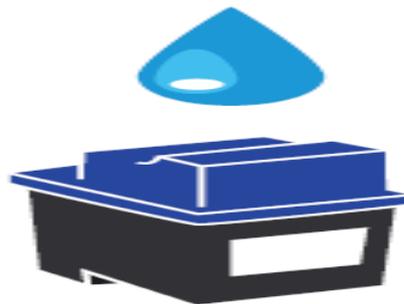


Figure I.7 : Démantèlement et nettoyage

2- Remplacement des pièces défectueuses : Une inspection minutieuse des pièces permet de mettre de côté celles qui sont défectueuses. Ces pièces seront ensuite acheminées vers le recycleur de matière approprié (plastique ou métal). La cartouche sera ensuite réassemblée, les pièces manquantes étant remplacées par des pièces neuves ou provenant d'une autre cartouche récupérée.

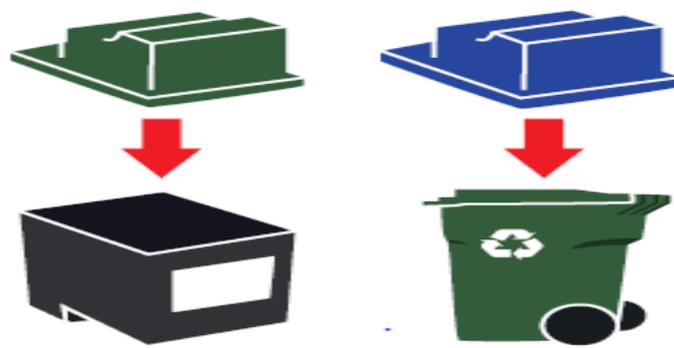


Figure I.8 : Remplacement des pièces défectueuses.

3- Remplissage : Les cartouches réusinées sont ensuite remplies de l'encre ou de l'encre en poudre approprié.

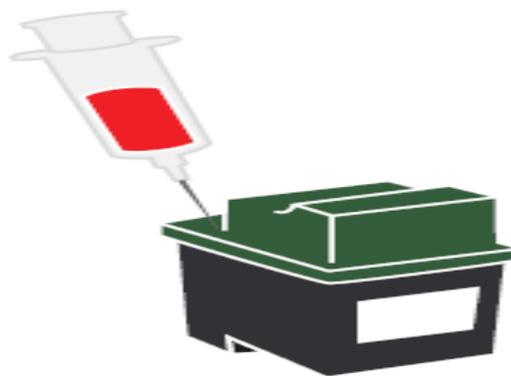


Figure I.9 : Remplissage

4- Évaluation de performance : Finalement, des tests permettront d'évaluer les performances d'impression des cartouches, puis celles-ci seront emballées afin de bénéficier d'une nouvelle vie utile.

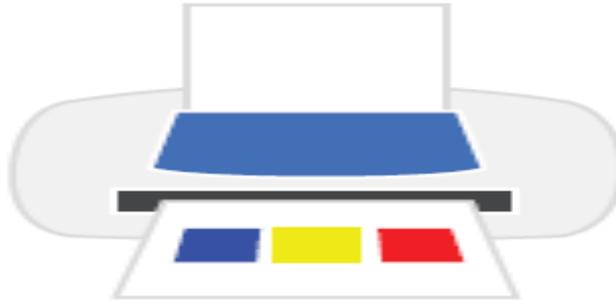


Figure I.10 : Évaluation de performance.

Ce processus de ré-usinage des cartouches permet de réels avantages environnementaux et économiques. Il permet notamment la réduction de la consommation de matières premières, la diminution du volume de matières enfouies et ainsi l'allongement de durée de vie des sites d'enfouissement. Il favorise également une conception plus respectueuse de l'environnement des cartouches vierges, afin de les rendre plus durables, de faciliter leur désassemblage et de réduire la quantité de matières dangereuses pouvant s'y retrouver.[34]

I.5. La maintenance

I.5.1. Définition

Selon l'AFNOR par la norme NFX60010, la maintenance est définie comme étant: ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié en mesure d'assurer un service déterminé. Bien maintenir, c'est assurer l'ensemble de ces opérations au coût optimal.

La définition de la maintenance fait donc apparaître 4 notions :

- Maintenir qui suppose un suivi et une surveillance
- Rétablir qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut

- État spécifié et service déterminé qui précise le niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance
- Coût optimal qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité économique

Le rôle de la fonction maintenance dans une entreprise (quel que soit son type et son secteur d'activité) est donc de garantir la plus grande disponibilité des équipements au meilleur rendement tout en respectant le budget alloué.

I.5.2. Les diverses politiques de maintenance

Pour mieux rentabiliser les équipements, il faut choisir une stratégie adéquate de maintenance. Ainsi, au sein du service de maintenance, on distingue globalement deux politiques de maintenance : La Maintenance Corrective (MC) et la Maintenance Préventive (MP).

➤ **La Maintenance Corrective (MC) :**

Elle regroupe les différentes opérations effectuées après l'apparition d'une défaillance sur un équipement donné. Ces opérations interprètent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification et le contrôle à la fin du bon fonctionnement.

Après le test qui se fait par une comparaison permanente entre des valeurs mesurées et des valeurs références des paramètres spécifiés du système, une déclaration d'apparition d'une défaillance est émise au système de surveillance indiquant une détection d'une panne et localisant le/les élément(s) défaillants. Une action Diagnostic identifie la cause/l'origine de défaillance en utilisant une base de données (historique ou logique) et précise les opérations de Maintenance Corrective nécessaires. Le dépannage caractérise un type de maintenance corrective : c'est la Maintenance Palliative où la réparation est provisoire. Un autre type de Maintenance corrective : c'est la Maintenance Curative qui est caractérisée par une réparation parfaite (définitive) c'est-à-dire, la remise de l'élément défaillant en état de fonctionnement avec les spécifications d'origine. Le but est d'éviter éventuellement la réapparition de la même défaillance est d'assurer par une action de contrôle destinée à vérifier le bon fonctionnement des dépannages et réparations. Un retour d'expérience (réalisé par la mémorisation les historiques des pannes et l'ensemble de leurs actions de maintenance associées) assure l'amélioration des interventions ultérieures.

➤ **La maintenance préventive (MP) :**

Celle-ci a pour l'objectif de ralentir la dégradation de l'équipement et par conséquent réduire la probabilité d'occurrence d'une défaillance.

On trouve aussi une maintenance dite de ronde qui se caractérise par une surveillance régulière de l'équipement sous forme de visite à fréquence élevée, entraînant si nécessaire des travaux mineurs d'entretien.

La Maintenance dite Mixte consiste à profiter de l'opportunité offerte par l'arrêt d'un système pour effectuer parallèlement d'autres interventions, prévues ou non, sur d'autres éléments.

Il faut noter que le système considéré peut être :

- **Une machine:** lors de la défaillance d'un équipement, on profite de l'arrêt de la machine pour effectuer des interventions sur d'autres équipements de la même machine ;

- **Une ligne de production:** lors de l'arrêt de la machine, des interventions sont réalisées sur une ou plusieurs machines de la même ligne et dont l'arrêt ne pénalisera pas le fonctionnement de l'unité de production.

La Figure I.11 résume les différents concepts de maintenance qu'on trouve dans la littérature, en indiquant les événements initiateurs. [35]

[36] propose un schéma représentatif des différentes stratégies de maintenance suivant le type de maintenance étudié.

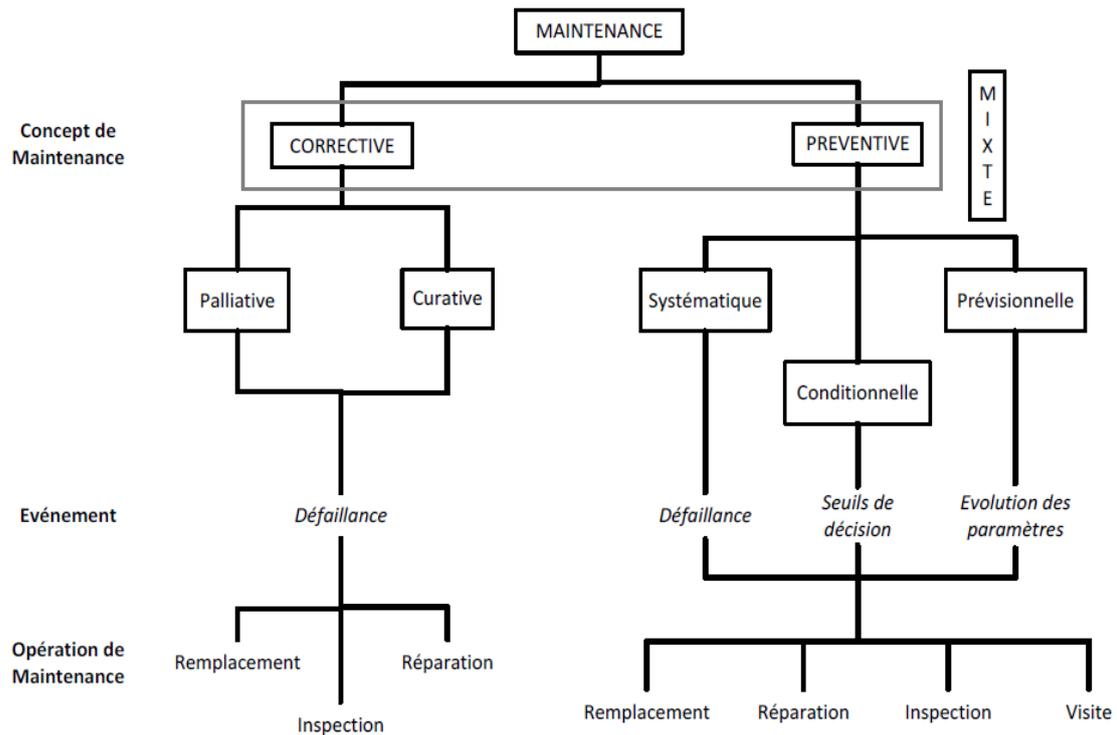


Figure I.11 : Les différentes stratégies de maintenance. [17]

La maintenance corrective peut être réalisée sous deux formes :

- Maintenance palliative : il s'agit de réparations qui servent à remettre le système en état provisoire de marche.
- Maintenance curative : il s'agit de réparations complètes qui servent à remettre le système à son état initial.

La maintenance préventive peut être réalisée sous trois formes :

- Maintenance systématique : Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.
- Maintenance conditionnelle : Maintenance préventive basée sur une surveillance du comportement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.

- Maintenance prévisionnelle : Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation des paramètres significatifs de la dégradation du bien. [17]

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons évoqué les différents aspects encourageant la mise au point d'une chaîne logistique inverse. ensuite nous avons donné une définition de la logistique inverse, puis présenté le cycle de vie d'un produit incorporant les traitements et la possibilité d'une nouvelle vie tout en basant sur la réutilisation des produits qui vise à gérer la récupération de la valeur avant la fin de vie .

Ces produits sont réutilisés sous la forme des pièces de rechange dans les actions de maintenance, sachant que cette réutilisation peut varier selon la stratégie de maintenance adoptée.

Chapitre II:
Etat de l'art et problématique étudiée

II.1 Introduction :

La chaîne logistique inverse vise à récupérer de la valeur des produits en fin de vie, ce qui permet de réduire l'exploitation des sources principales des matières premières. Cependant, la récupération des produits en fin de vie reste problématique due à plusieurs contraintes : d'une part, l'insensibilité des consommateurs vis-à-vis l'intérêt de la récupération, et d'autre part, un manque de politique robuste de la part des industriels pour attirer les consommateurs pour y participer. En conséquence, le retour des produits reste un phénomène non déterministe, qui dépend principalement de la quantité de produits distribués au préalable vers le consommateur.

L'intérêt grandissant envers la réutilisation des produits et des matières et une conséquence d'un changement de mentalité au sujet de l'environnement ces dix dernières années. La réduction des déchets est devenue un sujet primordial dans les pays industrialisés dans l'esprit de réduire l'enfouissement et l'incinération des déchets, des efforts sont fait pour réintégrer les produits usés dans les processus de production industriels

Dans ce chapitre, nous présentons un état de l'art sur la réutilisation des produits en fin de cycle de vie. Ensuite, nous abordons la problématique de la réutilisation des pièces de rechange dans les actions de maintenance appliquées pour un système de production à une seule machine. Nous exposons aussi d'une manière très claire les principes de base des algorithmes génétiques, avec les différents étapes (codage, croisement, sélection la mutation) et leurs opérateurs existants. Nous terminons ce chapitre par une conclusion.

II.2 Etat de l'art

La préparation en vue de la réutilisation, premier mode de traitement des déchets dans la hiérarchie consiste à contrôler, nettoyer ou réparer en vue de la valorisation. La réutilisation se définit comme toute opération par laquelle des substances, matières et produits qui sont devenus des déchets sont préparés de manière à être utiliser de nouveau.

Récemment, les fabricants réutilisent des produits anciens et intègrent des activités de récupération des produits dans leur production. Premièrement, la réutilisation des produits usés sous une forme des composants est faite après un nettoyage et une amélioration qui s'achève par l'assemblage et le montage cette option est rentable. Particulièrement dans les cas complexes d'un produit high-tech qui a un cycle de vie long comme par exemple les équipements médicaux. En second lieu, la législation a visé l'environnement de production et

Chapitre II : Etat de l'art et problématique étudiée

force les fabricants à reprendre leurs produits depuis les utilisateurs finaux après qu'ils les jettent. Dans ce contexte plusieurs travaux ont été réalisés :

- **Sofia Panagiotidou [37]** a concentré dans son travail sur un modèle qui étudie l'ordonnancement des pièces de rechange et la politique de maintenance et elle a pris en considération les défaillances des opérations unitaires au cours du temps dont l'objectif est d'avoir un bon ordonnancement et un temps de remplacement optimal qui minimise les coûts totales de stock et de maintenance. Les inspections se font périodiquement pour détecter n'importe quelle panne, et les pièces inspectées sont préventivement maintenues, réparées ou remplacées tout dépend leur condition ou leur état.

Deux politiques sont étudiées afin de fournir/ livrer les pièces de rechange nécessaires : analyse périodique et analyse continue.

- Selon **Wenbin Wang [38]** les pièces de rechange et la maintenance sont reliées aux activités de la logistique où la maintenance génère un manque de pièces de rechange. Il a considéré un problème d'optimisation de trois variables de décisions : la quantité (niveau de stock maximum), l'intervalle de lancement d'une commande, l'intervalle d'inspection dont la fonction objective est de minimiser les coûts de maintenance et d'approvisionnement des pièces de rechange en fonction de ces trois variables de décision. Il a utilisé dans son modèle le concept de delay-time ainsi qu'une politique d'inspection où tous les composants sont vérifiés en même temps et indépendamment de leur cycle de vie ce qui a créé une situation d'un MTTF aléatoire. Pour trouver la solution optimale Wang a développé un algorithme en utilisant une combinaison entre les approches numérique et analytique.

Les cinq options disponibles dans un produit en fin de vie sont : (vente, jet, destruction), recyclage, réparation pour l'utiliser par le même consommateur, réutiliser par un autre consommateur, et remise à neuf / refabrication.

Dans ce contexte **N. Chari et al [39]** ont développé un modèle mathématique pour la production de pièces de rechange avec des composants neufs et reconditionnés afin de déterminer la durée optimale du cycle de vie du produit et de la période de garantie. Ces pièces sont utilisées pour effectuer des remplacements en cas de défaillance sous la politique de garantie.

Ils ont démontré que le processus de refabrication est attractif économiquement et écologiquement pour les fabricants et les consommateurs.

Chapitre II : Etat de l'art et problématique étudiée

- L'objectif de **NAVIN CHARI et al [40]** était de réduire la consommation des ressources vierges, pour atteindre cet objectif ils ont pris comme méthode le réusinage des produits qui est défini comme le processus de restauration des produits utilisés. de plus, ils ont établi que la production des produits remanufacturés coûte moins cher que celui de la création d'une nouvelle. Ils ont proposé un modèle mathématique pour une politique de garantie unidimensionnelle illimitée avec un remplacement gratuit par des produits reconditionnés en utilisant une optimisation numérique pour maximiser le profit totale.

- **K.Inderfurth et al [41]** ont étudié un problème de récupération des produits où les produits retournés peuvent être réutilisés dans multiples façons. Sous ces circonstances, le problème se pose dans les quantités des éléments réutilisés qui doivent être affectés aux différentes options de remanufacturation, particulièrement dans le cas de l'insuffisance des retours dans le stock. Ils ont fait une étude numérique qui donne un aperçu managérial intéressant.

II.3 La problématique

Les systèmes de production sont soumis à des défaillances dues aux différentes contraintes (environnement, conception,...).

Cette défaillance peut conduire à l'interruption du fonctionnement normal du système si aucune action de maintenance n'est réalisée. Pour cela des politiques de maintenance ont été mises en place pour maintenir le système en état de fonctionnement sans avoir besoin de dépenser énormément. La maintenance du système peut avoir des conséquences économiques et environnementales. Ces dernières ne peuvent pas être résolues définitivement, mais nous pouvons y remédier en adoptant des politiques de réutilisation et remanufacturation.

Vu ces conséquences, plusieurs secteurs industriels se sont retrouvés dans l'obligation de développer de nouvelles méthodes et modèles pour la gestion des produits en fin de vie. Dans ce contexte, la réutilisation vise à gérer la récupération de la valeur d'un produit avant sa fin de vie. Elle permet de prolonger le cycle de vie du produit et d'économiser une partie des besoins industriels en matière première. Les activités de la réutilisation des produits possèdent les enjeux suivant :

- **Aspect environnemental :**

Le principal enjeu de la réutilisation est avant tout de réduire considérablement la quantité de déchets produits. En effet la réutilisation et la réparation d'une pièce permet

Chapitre II : Etat de l'art et problématique étudiée

d'éviter la consommation de matières premières et d'énergie nécessaires à sa fabrication, mais également de retarder son traitement une fois arrivé en fin de vie (broyage, tri, recyclage).

- **Aspects relatifs à l'utilisateur :**

Du point de vue de l'utilisateur, la réutilisation lui permet d'accéder à un produit possédant les mêmes fonctionnalités qu'un produit neuf mais à un prix inférieur. Dans le cas où l'utilisateur remet à neuf un produit hors d'usage par lui-même ou fait appel à un réparateur, cela lui permet de prolonger la durée de vie de son produit tout en générant une économie financière, de matières premières et d'énergie.

- **Aspects relatifs aux producteurs :**

Les enjeux de la réutilisation ne sont pas négligeables pour les producteurs. Par exemple, pour les producteurs d'équipements électriques et électroniques, ils proposent des produits possédant une durée de vie supérieure (par la possibilité d'être réparé). Un produit présentant une réparabilité supérieure à un produit moyen permet de diminuer les craintes quant à la fiabilité et à la qualité des produits issus des filières de la réutilisation. Enfin, la mise sur le marché de produits possédant une durée de vie supérieure permet d'améliorer l'image de marque de l'entreprise en augmentant la perception de qualité et de fiabilité par l'utilisateur.

Les produits réutilisés seront remis dans le marché et destinés à une autre catégorie de clients, différente de celle des produits neufs. Dans d'autres cas, les produits réutilisés sont utilisés sous la forme de pièces de rechange dans les actions de maintenance, mais cette utilisation peut varier selon la stratégie de maintenance adoptée.

Dans cette partie nous considérons un système de production à une seule machine où nous appliquons une maintenance conditionnelle. La maintenance du système est réalisée sous la forme d'un remplacement préventif ou correctif. Ce remplacement nécessite des pièces de rechange, ces dernières sont classées en deux qualités : neuves et remanufacturées (pièces récupérées de la machine)

L'objectif de notre travail est de développer un modèle afin de trouver la meilleure politique de maintenance et celle d'approvisionnement en pièces de rechange destinées aux actions de remplacements dont l'objectif est de minimiser les coûts engendrés par les différentes actions de maintenance sur un horizon d'une année. Une excellente politique de maintenance est celle qui prend en compte tous les objectifs fixés

Chapitre II : Etat de l'art et problématique étudiée

Pour la résolution de ce problème nous avons proposé une approche pour le choix du meilleur séquençement et cela sans la prise en compte de la gestion de stock des pièces de rechange. Il s'agit des algorithmes génétiques.

II.4 Algorithmes génétiques

Ces dernières années, les Algorithmes Génétiques (AG) ont connu un succès grandissant dans les domaines de la recherche opérationnelle, ils ont prouvé plein de succès en termes de temps et de résultats de calcul.

Dans cette section, nous présentons les principes de base des algorithmes génétiques (AGs) utilisés dans ce travail comme une approche de résolution.

II.4.1. Principes de base des Algorithmes génétiques :

Les algorithmes génétiques (AG) appartiennent à la famille des algorithmes évolutionnistes. Leur but est d'obtenir une solution approchée, en un temps correcte, à un problème d'optimisation en utilisant la notion de sélection naturelle. [42]

Les AGs, conçus initialement par Holland [43] puis Goldberg, sont basés sur la théorie de l'évolution des espèces dans leur milieu naturel, à travers une transposition artificielle des concepts de base de la génétique et des lois de survie énoncées par Darwin. [44]

Selon C. Darwin, les mécanismes à l'origine de l'évolution des êtres vivants reposent sur la compétition qui sélectionne les individus les plus adaptés à leur milieu en leur assurant une descendance, ainsi que sur la transmission aux enfants des caractéristiques utiles qui ont permis la survie des parents. Ce mécanisme d'héritage se fonde notamment sur une forme de coopération mise en œuvre par la reproduction sexuée [Dréo et al] [45]

Ces principes, ont inspiré bien plus tard les chercheurs en informatique. Ils ont donné naissance à une catégorie d'algorithmes regroupés sous le nom d'algorithmes évolutionnaires "Evolutionary Algorithms(EA)" conçus à la fin des années 1950.

Les algorithmes génétiques (AGs) sont le type le plus connus et le plus utilisés des algorithmes évolutionnaires, développés par J. Holland, ses collègues et ses étudiants à l'université de Michigan en 1970 puis approfondis par Goldberg en 1989. Les algorithmes génétiques intéressent plusieurs chercheurs dans différents domaines. [46]

Chapitre II : Etat de l'art et problématique étudiée

La génétique représente un individu par son code de génome, c'est-à-dire un ensemble de données (appelées chromosomes), identifiant complètement l'individu. La reproduction est un mixage aléatoire des chromosomes des deux individus parents, donnant naissance à des individus enfants ayant une empreinte génétique nouvelle héritée de chacun des deux parents. L'évolution normale d'une espèce, d'une génération à l'autre, est alors une simple recombinaison obtenue par croisement aléatoire des chromosomes d'individus appariés. La mutation génétique est caractérisée, dans le code génétique d'un individu enfant, par l'apparition des gènes nouveaux, inexistantes chez les individus parents.

Ce phénomène génétique d'apparition de 'mutants' est rare mais permet d'expliquer les changements dans la morphologie des espèces, toujours dans le sens d'une meilleure adaptation au milieu naturel. La disparition de certaines espèces est expliquée par les lois de survie, selon lesquelles seuls les individus les mieux adaptés à leur milieu naturel auront une longévité suffisante pour générer une descendance. Les individus peu adaptés auront tendance à disparaître. C'est une sélection naturelle, qui conduit de génération en génération à une population composée d'individus de plus en plus adaptés, de plus en plus forts, en somme. [44]

Cinq niveaux d'organisation algorithmique génétique

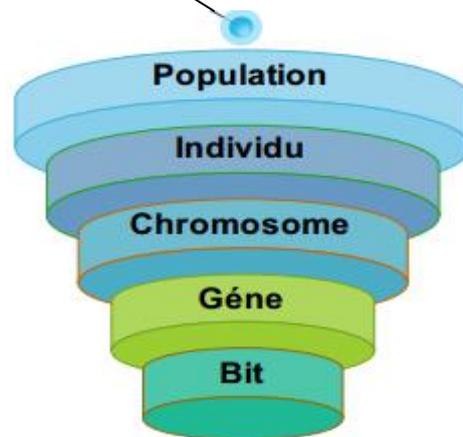


Figure II : 1 : Les cinq niveaux d'organisation dans les algorithmes génétiques[47]

Chapitre II : Etat de l'art et problématique étudiée

Bit : Est la plus petite unité pour présenter une donnée.

Gène : A chaque variable d'optimisation x_i , nous faisons correspondre un gène.

Chromosome : Un chromosome est un ensemble de gènes, Chaque dispositif est représenté par un chromosome.

Individu : Un individu est constitué d'un ou plusieurs chromosomes

Population : Une population est un ensemble de N individus qui vont évoluer.

Génération : C'est la population à l'étape i

Un algorithme génétique est une procédure itérative évoluant une population de taille constante de P individus, un individu est représenté par une chaîne de taille n comme suit :

$$S = S_1.S_2...S_j...S_n$$

La chaîne S est appelé chromosome, ce dernier est constitué de n gènes, les valeurs d'un gène sont appelées allèles. Le chromosome S est appelé génotype de l'individu et la représentation naturelle de la solution correspondante à un chromosome est dite phénotype c'est-à-dire un génotype est un phénotype codé. [46]

Une procédure d'évaluation est nécessaire à la détermination de la qualité de chacun des individus. Vient ensuite et dans l'ordre, une phase de sélection où les meilleurs individus ont plus de chance de demeurer dans la nouvelle population, et cela quel que soit le choix des survivants (déterministe ou aléatoire), une phase de croisement où la création de nouveaux chromosomes par mariage entre un individu père et un individu mère, tirés au sort de manière aléatoire parmi les meilleurs individus est réalisée, et enfin une phase de mutation où la création d'un mutant, similaire à la création d'un voisin dans les méthodes de voisinage est faite. Ces trois phases reposent sur la performance des individus dans leur environnement et permettent de générer une nouvelle population d'individus, qui ont de 'bonnes chances' d'être plus forts que ceux de la génération précédent [44]

L'objectif des algorithmes génétiques est d'améliorer globalement la performance des individus au cours des générations afin d'obtenir des solutions quasi optimal du problème considéré, on essaie d'obtenir un tel résultat en imitant les deux principaux mécanismes qui régissent l'évolution des êtres vivants. [46]

Chapitre II : Etat de l'art et problématique étudiée

Des concepts de base sont résumés comme suite.

- **Sélection:** Un opérateur génétique de clonage qui respecte le principe de générer une descendance plus nombreuse pour les individus de meilleure valeur d'adaptation. C'est un opérateur orienté vers l'exploitation des individus solutions suivant leur fitness.
- **Croisement :** Un opérateur génétique de combinaison qui agit par paire d'individus en définissant généralement un ou plusieurs points de coupure. C'est un opérateur appliqué avec une probabilité. Il est d'avantage orienté vers l'exploitation des solutions en cours.
- **Mutation :** Un opérateur génétique de modification de la structure des individus. C'est un opérateur appliqué avec une faible probabilité. Il est d'avantage orienté vers l'exploration de l'espace de recherche.

L'algorithme génétique évolue ainsi de phase en phase et les individus de la population deviennent de génération en génération des solutions meilleures. Notons que, si la mise en œuvre d'un algorithme génétique est très simple et ne nécessite aucune hypothèse ou information sur le système à optimiser (pas de calcul de gradient par exemple), le réglage des paramètres (taille de la population, mode et probabilité de croisement et de mutation, nombre total de générations) influe fortement sur la convergence de l'algorithme.

Les étapes fondamentales d'un algorithme génétique peuvent être résumées comme suit :

- **Etape 1 :** Définition d'un codage du problème.
- **Etape 2 :** Création d'une population initiale de N individus.
- **Etape 3 :** Evaluation de la fitness de chaque individu de la population présent.
- **Etape 4 :** Sélection des individus pour la reproduction.
- **Etape 5 :** Croisement pour créer de nouveaux individus.
- **Etape 6 :** Mutation pour chaque individu.
- **Etape 7 :** Si le critère d'arrêt est satisfait alors arrêt de la procédure, sinon reprendre l'algorithme à l'étape 3.

II.4.2. Opérations des algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques sont une méthode basée sur un ensemble d'opérations . Il est important de signaler que les AGs sont des algorithmes de

Chapitre II : Etat de l'art et problématique étudiée

recherche. Ces opérations sont effectuées généralement un grand nombre de fois afin d'obtenir des solutions de qualité.

II.4.2.1 Codage :

Pour les algorithmes génétiques, la présentation des solutions, c'est-à-dire le codage des individus (appelées ici les chromosomes), est extrêmement importante. Dans cette approche, une solution du problème est représentée par un ensemble de paramètres, souvent regroupés sous la forme d'une chaîne de caractères. En génétique, un ensemble de paramètres représentés par un chromosome particulier est appelé 'génotype'. Le 'phénotype', quant à lui, est une instance particulière du génotype. Tandis que le phénotype ne sert qu'à l'évaluation de la performance d'un individu. Le génotype est obtenu après codage du phénotype. [44]

Le codage le plus utilisé est le codage binaire à cause de sa simplicité d'utilisation, il permet de coder la solution selon une chaîne de caractères pouvant prendre les valeurs 0 et 1. Ainsi, la chaîne est représentée comme suit $s = s_1s_2\dots s_j\dots s_n / s_j \in \{0, 1\}$. [46]

Lors des premiers travaux de Holland, les théories ont été élaborées en se basant sur ce type de codages. La plupart de ces théories peuvent être étendues à des données autres que des chaînes de bits. Holland [43] est le premier à avoir montré qu'une représentation sous forme binaire était efficace. Avec ce type de codage, on peut facilement représenter différents types d'objets, comme les réels, les entiers, les chaînes de caractères, etc. mais vu la complexité des systèmes actuels d'autres types de codage sont utilisés tel que le codage réel, le codage en nombre entiers et le codage arborescent où chaque individu représente un nœud d'un arbre. [44][46]

Dans l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de déterminer le meilleur codage pour chaque problème. Le choix s'effectue généralement suivant les expériences de l'utilisateur.

I.4.2.3 Sélection :

C'est une étape très importante, c'est elle qui détermine les individus qui survivent de ceux qui vont être éliminés.

La sélection se fait à partir de la fonction objective. Seuls les individus passant l'épreuve de sélection peuvent accéder à la génération suivante et se reproduire. [47]

Chapitre II : Etat de l'art et problématique étudiée

Pour cette opération, nous supposons connus l'ensemble des individus de la population ainsi que la fitness de chaque individu, la capacité d'un individu d'être sélectionné dépend de sa performance. Plusieurs méthodes sont utilisées, nous citons les plus répandues :

a. Elitisme :

les individus sont triés selon leur fonction d'adaptation (fitness) par ordre décroissant. Seule les n premiers seront sélectionnés. Autrement dit ceux correspondant aux meilleurs composants. Cependant cette méthode induit à une convergence prématurée de l'algorithme, parce que même les individus ayant une valeur moins importante peuvent faire naître des individus enfant de bonne qualité.

b. Sélection proportionnelle :

Ce type de sélection a été conçu à l'origine par J. Holland, la probabilité de sélection de chaque individu est calculée comme suit :

$$P_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1..N} f_j}$$

Où f_i représente la fitness de l'individu i . Ainsi, un individu ayant une forte valeur d'adaptation aura plus de chance d'être sélectionné, pour mettre en évidence cette méthode, deux techniques sont définies : [46]

• La méthode RWS (Roulette Wheel Selection)

Cette méthode s'inspire des roulettes de casino, à chaque individu on associe un secteur de la roulette dont l'angle est proportionnel à la qualité de l'individu. Ainsi, plus la fitness de l'individu est élevée, plus ces chances d'être sélectionné sont importantes. Pour cette méthode il faut appliquer un ensemble d'étapes : [47]

- ❖ Calculer le fitness de chaque individu.
- ❖ Calculer la probabilité proportionnelle $Pr(i)$ pour chaque individu.
- ❖ Calculer la probabilité proportionnelle cumulée pour chaque individu $cum(i)$
- ❖ A chaque individu générer aléatoirement une probabilité $r(i)$.
- ❖ Garder les individus qui ont une probabilité $r(i) \leq cum(i)$.

Si $r(i) \leq cum(i)$ alors l'élément i est sélectionné. C'est-à-dire chaque fois que le cumule est plus grand l'individu a plus de chance d'être sélectionné pour la prochaine population.

Chapitre II : Etat de l'art et problématique étudiée

D'après la (figure 2.4), la chance de sélectionner l'individu 1 est 59% par contre l'individu 4 à 10% de chance d'être sélectionné. De cette façon les mieux adaptés survivent et forment la nouvelle population et obéissent aux opérations de croisement et de mutation.

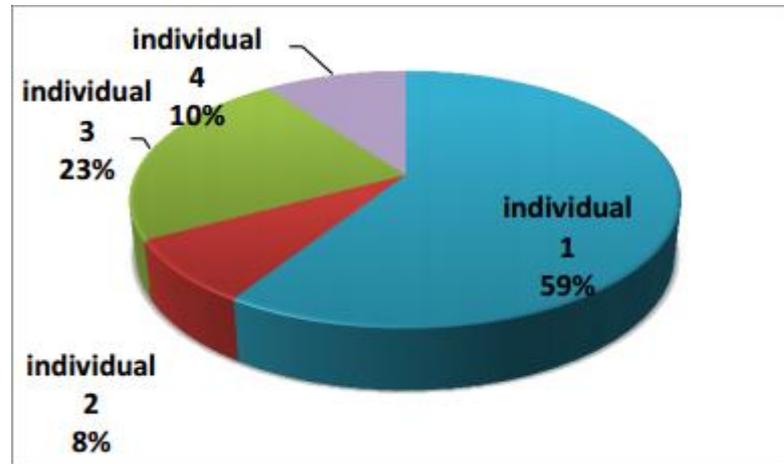


Figure II.2 : Roulette de Wheel. [47]

- **La méthode SUS (Stochastic Universal Simpling) :** On considère un segment de droite partitionné en autant de zones qu'il y a d'individu dans la population, chaque zone étant proportionnel à la performance. On place sur ces zones des points équidistants, un individu est sélectionné s'il possède au moins un point sur sa zone. [46]

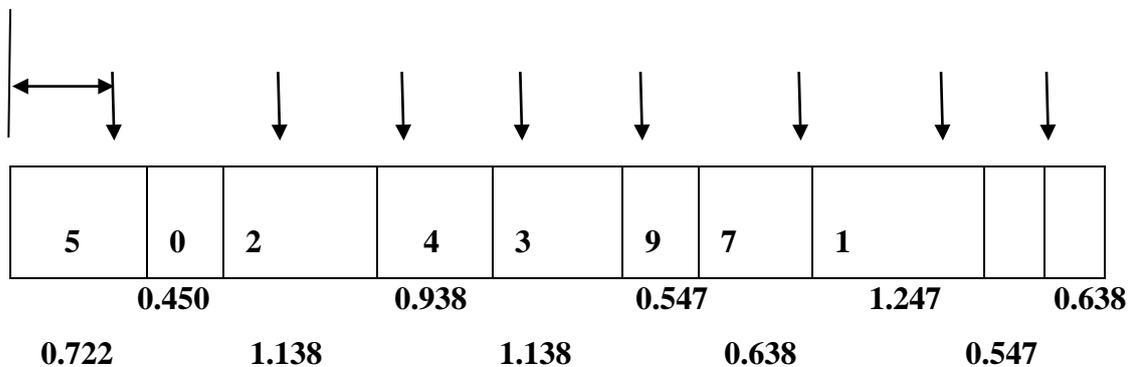


Figure II.3: Méthode SUS.

c. Sélection par tournoi :

A chacun des individus de la population et suivant la fitness, un rang est associé. Entre deux individus sélectionnés aléatoirement, le tournoi binaire consiste à sélectionner l'individu dont le rang est plus important. c'est-à-dire celui qui possède la meilleure performance, donc il y aurait autant de tournoi que d'individu à sélectionner Cette procédure est répétée à chaque fois qu'elle est sollicitée. [44]

d. Sélection par rang :

Pour ce type de sélection, on affecte à chaque individu un rang proportionnel à sa qualité. Les individus de moins bonne qualité obtiennent un rang faible (à partir de 1), le rang N est attribué au meilleur individu (N étant la taille de la population). La suite de la méthode consiste uniquement en l'implémentation d'une roulette basée sur les rangs des individus. L'angle de chaque secteur de la roue sera proportionnel au rang de l'individu qu'il représente. [46]

I.4.2.4 Croisement :

Les individus obtenus lors de la phase de sélection sont appariés aléatoirement pour la reproduction de nouveaux individus. Chaque paire formée va subir une opération de croisement avec une probabilité P_{cross} , et remplacée dans la population par ses descendances. De nombreux types de croisement différents existent dans la littérature, préservant plus ou moins l'identité génétique des parents et garantissant une large exploration de l'espace de solutions. Il est important de mentionner que plus la probabilité de croisement est grande, plus la convergence de l'algorithme est rapide, avec un risque important de convergence vers un optimum local Il existe trois variantes de croisement dans la littérature : [44]

a. Croisement un point :

Nous considérons que le choix des parents est déjà effectué, le croisement un point consiste à choisir aléatoirement un point de coupure identique pour les deux parents et d'échanger les deux fragments situés à droite du point choisi, notons que les points possèdent la même probabilité d'être sélectionnés. Un exemple de croisement un point est illustré par la figure II :4 [46]

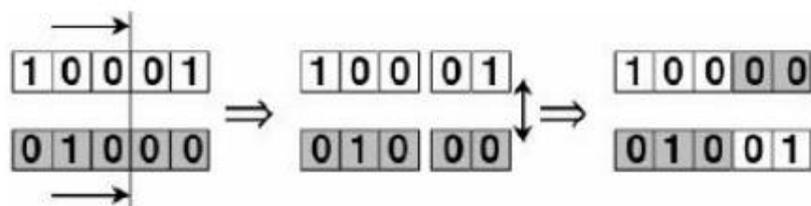


Figure II.4 : Croisement un point. [45]

b. Croisement multi points :

C'est une extension du croisement un point, ça consiste à choisir plusieurs points de coupure aléatoirement. Ainsi, les segments entre les deux points sélectionnés sont permutés entre les deux parents pour créer deux enfants, notons qu'en général, le croisement deux points est utilisé comme croisement multi points. Un exemple illustrant ce type de croisement est présenté dans la figure II :5

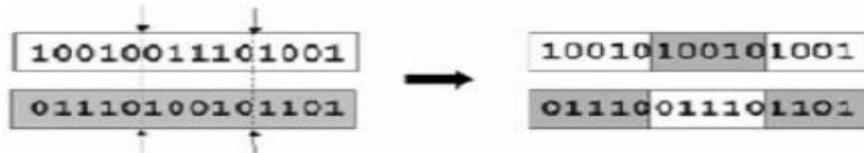


Figure II.5 : Croisement deux points.

c. Croisement uniforme :

Dans le croisement uniforme, nous utilisons un masque de croisement représenté par une chaîne binaire de même taille que les individus. Les symboles de la n^{ème} position des chromosomes parents restent inchangés si la valeur de la n^{ème} position du masque est égale à "0". Par contre, si la valeur de la n^{ème} position du masque est égale à "1", les symboles de la n^{ème} position des chromosomes parents sont permutés. Le masque est généré aléatoirement pour chaque couple d'individu, ce principe est illustré par l'exemple présenté dans la figure II.6 [46]

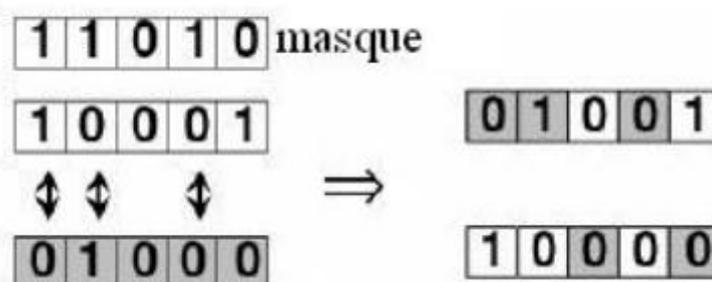


Figure II.6: Croisement uniforme.

II.4.2.4 Mutation :

Les individus de la population issue du croisement vont ensuite subir un processus de mutation avec une probabilité P_m . La mutation évite la dégénérescence de

Chapitre II : Etat de l'art et problématique étudiée

la population. En d'autres termes, elle permet de quitter les extrémaux locaux. La probabilité de mutation doit cependant rester faible pour que l'on puisse assurer la convergence de l'algorithme. Elle est généralement fixée entre 0.01% et 5% selon les caractéristiques du problème étudié. La mutation consiste à modifier la valeur d'un chromosome, il existe plusieurs variantes dont les plus connues sont la mutation bit-flip et la mutation déterministe, la 1ère consiste à choisir un bit dans la chaîne binaire aléatoirement et de l'inverser (changer le bit de "1" à "0" ou de "0" à "1") tandis que la seconde consiste à choisir au hasard un nombre fixe de bits et de les inverser. [44] [46]

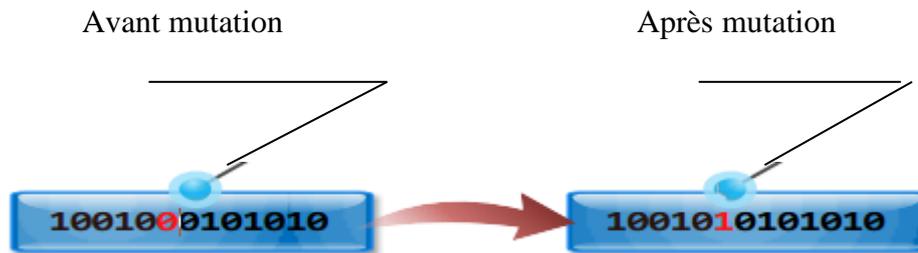


Figure II.7: opération de mutation [47]

La succession des opérations de l'algorithme génétique est donnée par la Figure II :8



Figure II.8: Les opérations des algorithmes génétiques

II.4.3. Caractéristiques des algorithmes génétiques :

Comme tous les algorithmes d'optimisation, les algorithmes génétiques AGs ont des avantages et désavantages (inconvenients). Nous nous limitons ici à ne citer que les plus répondus et les plus signifiants.

Un des principaux avantages de l'utilisation des AGs est lié au fait que pour parvenir au résultat, on n'a pas besoin de connaître les caractéristiques de la solution du problème, mais seulement de déterminer parmi l'ensemble de solutions quelle est la meilleure. En effet, pour se guider dans l'espace de solutions, les AGs tiennent compte uniquement des informations relatives à la fonction objective. Certains algorithmes utilisent les informations liées à la dérivée de la fonction objective et sont gourment en temps de calcul. [44]

Contrairement aux méthodes déterministes, les AGs sont de nature stochastique, ils recherchent la solution d'une population à l'autre plutôt qu'une solution à l'autre. Donc, les AGs manipulent plusieurs solutions en parallèles. [46]

Les AGs utilisent un codage des variables de décision, plutôt que les variables elles-mêmes. C'est un avantage pour éviter les optima locaux durant le processus d'optimisation. De plus, ils permettent d'aborder l'aspect multidimensionnel afin d'optimiser plusieurs variables de décision en même temps, en utilisant un codage combinatoire.

Les AGs sont généralement de nature probabiliste, à l'inverse des méthodes déterministes. Ils recherchent d'une population de solutions à l'autre, plutôt que d'une solution à l'autre. Ceci est l'un des grands avantages pour rechercher des espaces entremêlés d'optima locaux, au lieu de compter sur une seule solution à rechercher dans l'espace. De plus, dans le cas où on est amené à faire l'optimisation multicritères, plusieurs optima peuvent être obtenus en même temps.

Comme toute autre technique d'optimisation, les AGs présentent certains inconvenients.

Le premier inconvenient est lié au temps de calcul, les AGs sont par leur nature consommateur en temps de calcul

Il faut aussi noter un autre inconvenients des AGs consiste en l'impossibilité de certifier, même après un nombre important de générations, que la solution retenue à la

Chapitre II : Etat de l'art et problématique étudiée

fin de l'algorithme est la meilleure. On peut uniquement garantir que la solution obtenue est proche de la solution optimale.

Un autre problème, relatif aux optima locaux, peut surgir lors de l'utilisation des AGs. en effet, pour un instant f , lorsqu'une population évolue, il se peut que certains individus occupent une place importante au sein de cette population deviennent majoritaires dans des populations futures. Ainsi, il n'est pas exclu que cette population converge vers l'un de ces individus au détriment d'autres individus meilleurs de populations futures. Pour remédier à ce problème, il existe différentes méthodes comme l'ajout de quelques individus générés aléatoirement à chaque génération, choisir d'autres méthodes de sélection différentes de la méthode classique utilisée, etc. [44]

L'un des problèmes majeurs des AGs réside dans l'initialisation de certains paramètres tels que la taille de la population et le nombre d'itérations, ces paramètres influent fortement sur l'efficacité de l'AG et sont difficile à initialiser. [46]

Les domaines d'application des AGs sont très riches et variés, comme l'optimisation des fonctions numériques difficiles avec souvent des variables discontinues, l'optimisation lors de la conception et le contrôle des systèmes industriels, l'optimisation d'emplois du temps, le traitement d'image, l'apprentissage des réseaux de neurones, etc. Ils peuvent être utilisés avec succès dans le contrôle des systèmes complexes et dynamiques comme les chaînes logistiques, les centrales nucléaires, ou dans la conception des réseaux téléphoniques, hydrauliques, de transport du gaz, etc.

D'autre part, on peut utiliser les algorithmes génétiques dans la détermination des paramètres de systèmes grâce uniquement à des mesures expérimentales.

Dans [Aytug et al] [48] les auteurs présentent un état de l'art sur l'utilisation des algorithmes génétiques dans la résolution des certains problèmes rencontrés lors de la gestion des chaînes logistique. [44] [46]

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un état de l'art aux problèmes de réutilisation des produits remanufacturés, la gestion des pièces de rechange et la maintenance. Une description de notre problème était donnée par la suite.

Chapitre II : Etat de l'art et problématique étudiée

Enfin, nous avons parlé sur les algorithmes génétiques où nous avons exposé ces différents étapes et opérations.

Chapitre III :
Cas d'étude et résultats obtenus

III.1. Introduction

Ce chapitre est organisé de la façon suivante, la première partie est dédiée à la présentation de l'entreprise Groupe Kherbouche. La deuxième partie est consacrée à la formulation mathématique du problème étudié. Ensuite nous exposons l'implémentation du problème dans la métaheuristique (algorithmes génétiques) qu'on l'a déjà présenté dans le chapitre précédent comme une approche de résolution. Ainsi que les données nécessaires pour notre simulation. Les résultats obtenus seront interprétés et évalués. Et enfin Nous terminerons ce chapitre par une conclusion.

III.2. Présentation de la société

Notre stage s'est déroulé au sein de l'entreprise du groupe Kherbouche, où nous avons collaboré avec l'unité de CANAL PLAST

III.2.1. Présentation du groupe Kherbouche

Le groupe économique **Kherbouche** est créé en 1976. Il contient 2000 Employés en toutes spécialités confondues. **Groupe Kherbouche** possède 8 filiales (sociétés commerciales pluri-disciplinaires) réparties à différents localités dans la wilaya de Tlemcen, qui sont :

- INTER ENTREPRISE (hydraulique, travaux publics et bâtiment).
- AGRO INDUSTRIE (équipements agro industriel).
- AQUATEC (biotechnique traitement des eaux et télégestion).
- AGRO DEEL (distribution de pompes).
- CANAL PLAST (tubes en PVC et Polyéthylène 'PEHD').
- HUILE D'OLIVE TLEMCEN.
- EL ALF (l'ingénierie de la nutrition animale).
- ARBOR ACRES ALGÉRIE (Production de poussins reproducteurs chair d'un jour)

III.2.2. Fiche d'identité de l'entreprise

Raison social	SARL CANAL PLAST Tlemcen
Directeur général :	Mr K.KHERBOUCHE
Siege social :	Zone industrielle lot 06 dessert N°3 Chetouane Tlemcen
Tél :	043 26 19 59/ 043 27 32 54/55
Fax :	043 26 10 88
Forme juridique :	SARL
Activité :	Production et commercialisation des tubes PEHD et PVC et accessoires.
Capital social :	128 000 000.00 DA
Email :	canalplast@groupekherbouche.com
Site web :	http://canalplast.gkgroupe.com/
Travail sous normes internationaux	

III.2.3. La fonction de la filiale CANAL- PLAST:

La création de la société **Canal-plast**, au-delà de la volonté d'intégrer un marché porteur, répond à l'ambition de ses promoteurs de relever les défis de la qualité.

Canal-plast est destinée à produire et distribuer les tubes, raccords et accessoires PVC et PE, adaptés pour la réalisation de canalisations aux multiples applications.

L'unité tubes PVC est entrée en production dans le mois de Mai 2006 avec des capacités installés de 20 tonnes/j. l'unité PE a aussi une capacité de 20 tonnes/j. elle propose à sa clientèle des tubes en haute et basse densité.

III.2.4. Circuit de fabrication des tubes PEHD et PVC

L'entreprise comporte deux ateliers de production l'une est spécialisée dans la fabrication des tubes en PVC et l'autre en PEHD. la description de ces deux ateliers se résume ci-dessous

III.2.4.1. Atelier de PEHD

Il comporte 6 lignes de production, dans chaque ligne il y a 6 à 7 machines, 45 équipements en totale. Pour que la production soit en marche il faut de la matière première. L'importation de cette dernière se fait à partir de PLASTITALIA SABIC.

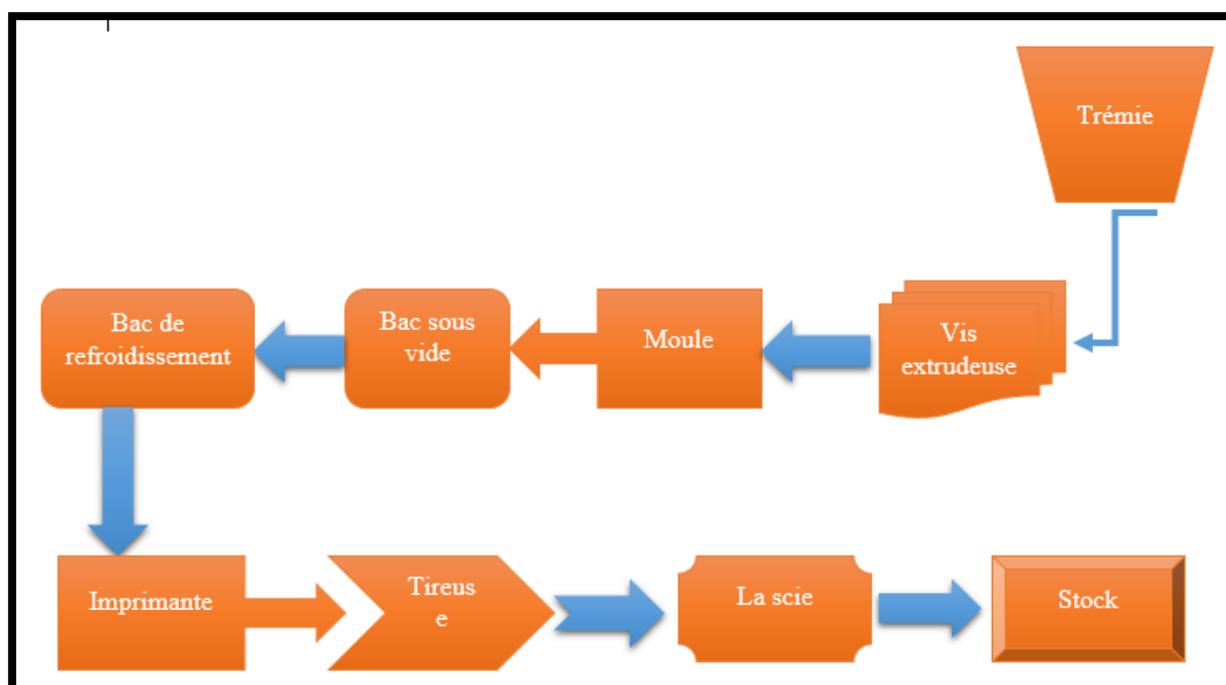


Figure III.1 : processus de fabrication des tubes PEHD.

III.2.4.2. Atelier du PVC

L'atelier comporte 4 lignes de production dont chaque ligne contient 6 équipements, 24 machines en total. La matière première utilisée dans la production des tubes est un mélange de matières suivantes :

- PVC c'est la matière principale.
- Stabilisant.
- La craie (CaCO_3).

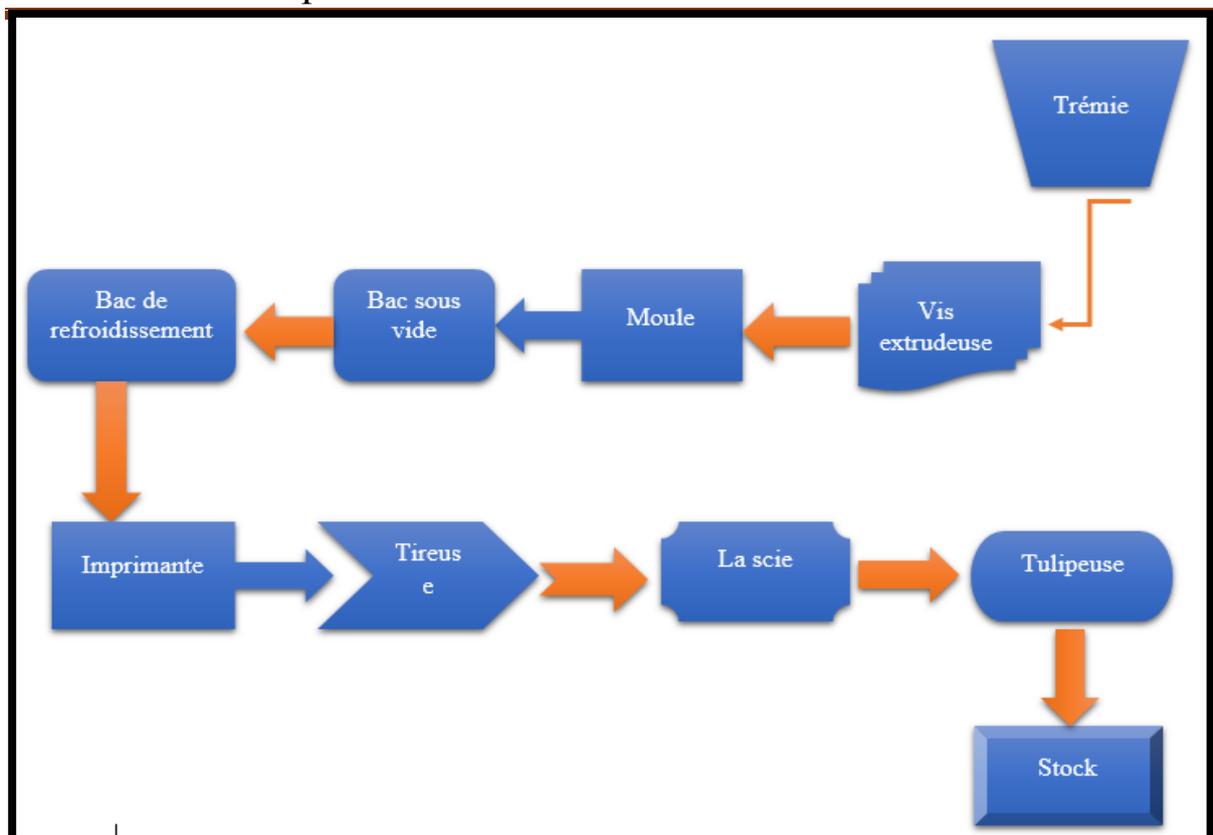


Figure III.2 : processus de fabrication des tubes PVC.

III.3. la politique de maintenance conditionnelle adoptée

Pour la maintenance de notre système de production des tubes PVC étudiés (voir **figure III.2**), nous choisissons une politique de maintenance conditionnelle. cette politique est basée sur deux seuils décisionnels : un seuil de gestion des remplacements préventifs d_r et un seuil de gestion de commandes des pièces de rechange d_c . De plus, un seuil fixé d_{max} utilisé pour définir le niveau de dégradation à partir duquel la pièce de rechange n'est plus réutilisable avec $0 \leq d_c < d_r \leq d_{max}$. cette maintenance conditionnelle est basée sur la connaissance du niveau de dégradation du système par une inspection. Les interventions réalisées sur une machine se divisent en deux catégories : des interventions pour déterminer le niveau de dégradation (inspections) et des interventions pour effectuer les remplacements (correctifs et préventifs).

Le délai de livraison $t^{livraison}$ d'une commande pour alimenter le stock S , dépend du choix de commander une nouvelle pièce de rechange, de remanufacturer une pièce du stock Re et du niveau de remanufacturation à réaliser.

Chapitre III : cas d'étude et résultats obtenus

t^c est le délai de livraison d'une nouvelle pièce de rechange, et t^{re}_{ij} le temps de remanufacturation d'une pièce de qualité j , qui permet d'avoir une pièce de rechange de qualité i . ainsi, une nouvelle pièce de rechange est considérée de qualité 0 , les pièces de rechange réutilisables sont de qualité $1,2,\dots,n-1$, et la pièce de rechange de qualité n est la pièce qu'on ne peut plus réutilisée et sera destinée à la destruction.

Nous définissons la variable φ_k pour vérifier l'état des commandes et aussi la durée du temps entre l'instant de passage de la commande k et l'instant t . les cas possibles sont :

- Φ_0 : $\varphi_k = 0$: aucune commande n'est passée.
- Φ_1 : $\varphi_k \in [1, t^c[[(\varphi_k \in [1, t^{re}_{ij}[$: une commande est passée depuis φ_k unités de temps.
- Φ_2 : $\varphi_k = t^c (\varphi_k = t^{re}_{ij})$: la pièce de rechange commandée vient juste d'arriver dans le stock S .
- Φ_3 : $\varphi_k \in]t^c, +\infty[(:\varphi_k \in]t^{re}_{ij}, +\infty[)$: la pièce de rechange est dans le stock S depuis $\varphi_k - t^c (\varphi_k - t^{re}_{ij})$ unités de temps.

En effet, les décisions relatives aux commandes et aux remplacements, sont liées à trois facteurs : les dates d'inspections, le niveau de dégradation des pièces et l'état de commandes φ_k .

Ces décisions sont résumées comme suit :

1. Si $t = T_i$ (la $i^{\text{ème}}$ date d'inspection)

- Si $0 \leq d(t) < d_c$, aucun remplacement n'est programmé donc aucune commande n'est passée.
- Si $d_c \leq d(t) < d_r$
 - Si $\varphi_k = 0$ (aucune commande n'est passée) : nous passons une commande pour une pièce de rechange.
 - Si $\varphi_k \in [1, t^c[[(\varphi_k \in [1, t^{re}_{ij}[$: une commande est passée depuis φ_k unités de temps.
 - Si $\varphi_k = t^c (\varphi_k = t^{re}_{ij})$: la pièce commandée vient juste d'arriver dans le stock S , et la décision de remplacement sera prise selon le niveau de dégradation observé lors de la prochaine inspection.

- Si $\varphi_k \in]t^c, +\infty[(\varphi_k \in]t^{re}_{ij}, +\infty[)$: la pièce de rechange commandée est dans le stock S depuis $\varphi_k - t^c(\varphi_k - t^{re}_{ij})$ unités de temps, et la décision de remplacement sera prise selon le niveau de dégradation observé lors de la prochaine inspection.
 - Si $d_r \leq d(t) < d_{max}$
 - Si $\varphi_k = 0$ aucun remplacement n'est programmé donc aucune commande n'est passée.
 - Si $\varphi_k \in [1, t^c[(\varphi_k \in [1, t^{re}_{ij}[)$: une commande est passée depuis φ_k unités de temps.
 - Si $\varphi_k = t^c(\varphi_k = t^{re}_{ij})$: la pièce commandée vient juste d'arriver dans le stock S, et un remplacement préventif est effectué.
 - Si $\varphi_k \in]t^c, +\infty[(\varphi_k \in]t^{re}_{ij}, +\infty[)$: la pièce de rechange commandée est dans le stock S depuis $\varphi_k - t^c(\varphi_k - t^{re}_{ij})$ unités de temps, et un remplacement préventif est réalisé.
 - Si $d(t) \geq d_{max}$
 - Si $\varphi_k = 0$ aucun remplacement n'est programmé donc aucune commande n'est passée.
 - S
 - Si $\varphi_k \in [1, t^c[(\varphi_k \in [1, t^{re}_{ij}[)$: une commande est passée depuis φ_k unités de temps.
 - Si $\varphi_k = t^c(\varphi_k = t^{re}_{ij})$: la pièce commandée vient juste d'arriver dans le stock S, et un remplacement correctif est réalisé.
 - Si $\varphi_k \in]t^c, +\infty[(\varphi_k \in]t^{re}_{ij}, +\infty[)$: la pièce de rechange commandée est dans le stock S depuis $\varphi_k - t^c(\varphi_k - t^{re}_{ij})$ unités de temps, et un remplacement préventif est réalisé.
2. Si $t \neq T_i$ (la $i^{ème}$ date d'inspection)
- Si $0 \leq d(t) < d_c$, aucun remplacement n'est programmé donc aucune commande n'est passée.
 - Si $d_c \leq d(t) < d_r$
 - Si $\varphi_k = 0$ (aucune commande n'est passée) : nous passons une commande pour une pièce de rechange.
 - Si $\varphi_k \in [1, t^c[(\varphi_k \in [1, t^{re}_{ij}[)$: une commande est passée depuis φ_k unités de temps.
 - Si $\varphi_k = t^c(\varphi_k = t^{re}_{ij})$: la pièce commandée vient juste d'arriver dans le stock S, et la décision de remplacement sera pris selon le niveau de dégradation observé lors de la prochaine inspection.

Chapitre III : cas d'étude et résultats obtenus

- Si $\varphi_k \in]t^c, +\infty[$ ($\varphi_k \in]t^{re}_{ij}, +\infty[$) : la pièce de rechange commandée est dans le stock S depuis $\varphi_k - t^c(\varphi_k - t^{re}_{ij})$ unités de temps, et la décision de remplacement sera pris selon le niveau de dégradation observé lors de la prochaine inspection.
- Si $d_r \leq d(t) < d_{max}$
 - Si $\varphi_k = 0$ aucun remplacement n'est programmé donc aucune commande n'est passée.
 - Si $\varphi_k \in [1, t^c[$ ($\varphi_k \in [1, t^{re}_{ij}[$) : une commande est passée depuis φ_k unités de temps.
 - Si $\varphi_k = t^c(\varphi_k = t^{re}_{ij})$: la pièce commandée vient juste d'arriver dans le stock S, et un remplacement préventif sera effectuer lors de la prochaine inspection.
 - Si $\varphi_k \in]t^c, +\infty[$ ($\varphi_k \in]t^{re}_{ij}, +\infty[$) : la pièce de rechange commandée est dans le stock S depuis $\varphi_k - t^c(\varphi_k - t^{re}_{ij})$ unités de temps, et un remplacement préventif sera effectuer lors de la prochaine inspection.
- Si $d(t) \geq d_{max}$
 - Si $\varphi_k = 0$ aucun remplacement n'est programmé donc aucune commande n'est passée.
 - Si $\varphi_k \in [1, t^c[$ ($\varphi_k \in [1, t^{re}_{ij}[$) : une commande est passée depuis φ_k unités de temps.
 - Si $\varphi_k = t^c(\varphi_k = t^{re}_{ij})$: la pièce commandée vient juste d'arriver dans le stock S, et un remplacement correctif sera effectuer lors de la prochaine inspection.
 - Si $\varphi_k \in]t^c, +\infty[$ ($\varphi_k \in]t^{re}_{ij}, +\infty[$) : la pièce de rechange commandée est dans le stock S depuis $\varphi_k - t^c(\varphi_k - t^{re}_{ij})$ unités de temps, et un remplacement correctif sera effectuer lors de la prochaine inspection.[17]

Vu la difficulté de modéliser l'état de la machine, nous avons utilisé une simulation basée sur les évènements discrets. **Figure III .3** montre l'état de la machine par un graphe état/ transition, où les états sont représentés par un couple (∇_i, ϕ_i) : la qualité de la pièce installée dans la machine et son état de commande, les transitions e_μ sont les évènements qui peuvent survenir, à savoir, une dégradation e_d , une inspection e_i , l'arrivée de la pièce de rechange commandée e_a .

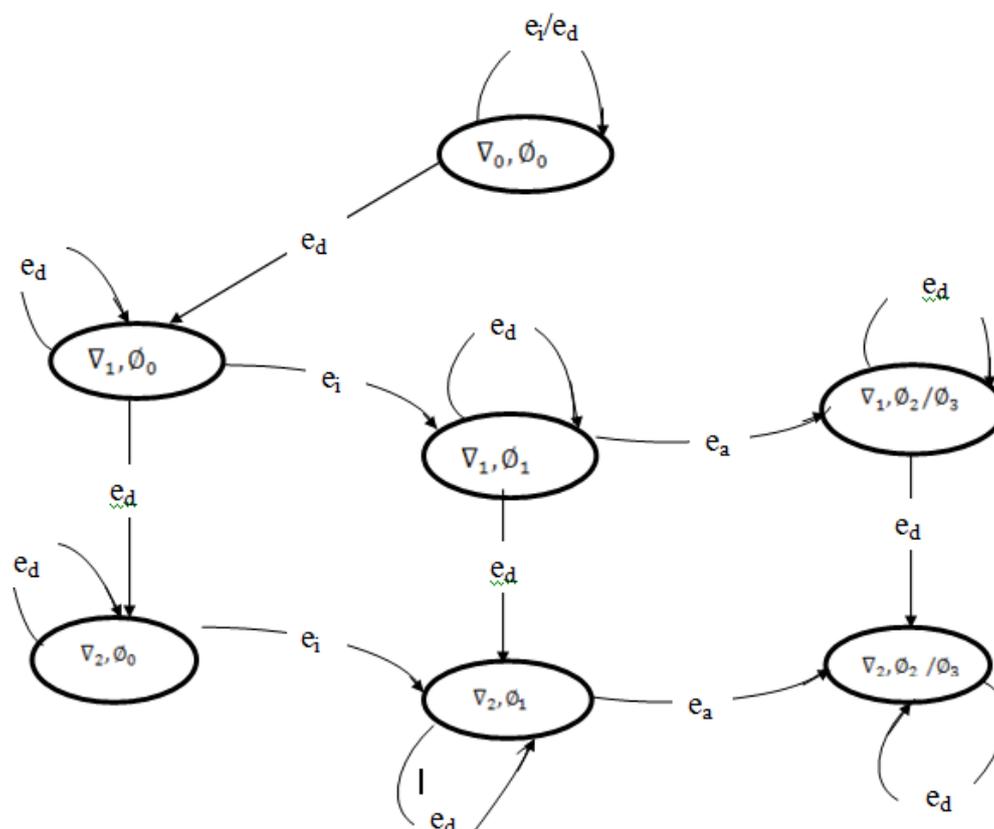


Figure III .3 : graphe état/transition pour l'état de la machine.

Concernant le système étudié dans cette thèse, les hypothèses sont données comme suit :

1. La machine se dégrade avec l'usage.
2. Les pièces de rechange utilisées pour le remplacement sont supposées disponibles, sans aucune contrainte.
3. L'atelier de remanufacturation dispose des moyens et ressources nécessaires pour réaliser les différents niveaux de remanufacturation.
4. L'inspection révèle exactement le niveau de dégradation.
5. Le remplacement est parfait et remet l'état de dégradation de la machine exactement au niveau de dégradation de la pièce de rechange installée.
6. Les durées des actions d'inspection et de remplacement sont négligeables, cela signifie que la durée qui sépare deux instants de remplacements successifs, représente la durée totale que la pièce de rechange passera dans la machine. Nous appelons cette durée un cycle. [17]

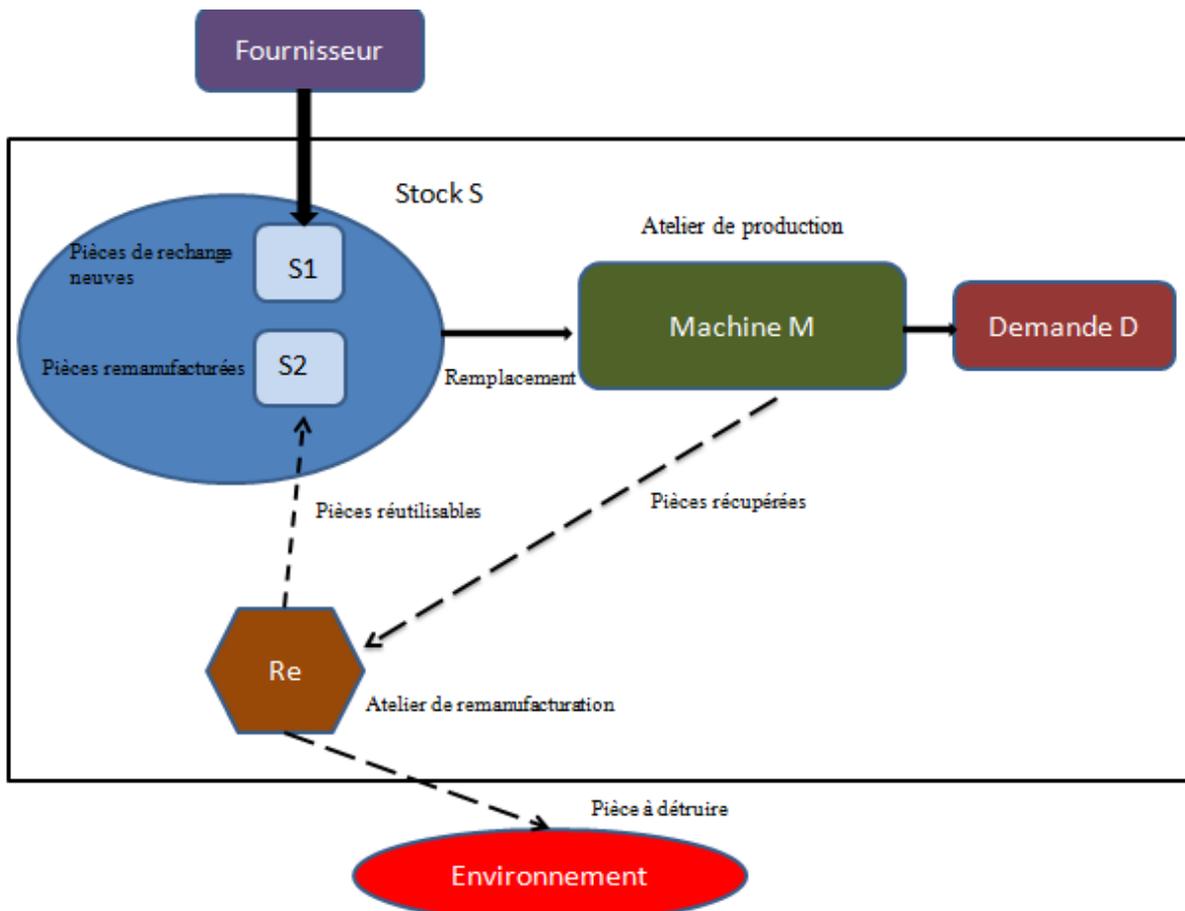


Figure III.4 : système de production à une seule machine.

Les coûts généraux impliqués dans la maintenance des systèmes étudiés sont :

C^i : coût unitaire d'inspection.

CU^s : coût unitaire de stockage d'une pièce de rechange dans le stock S.

$CU^{arrêt}$: coût unitaire dû à l'arrêt de la machine.

C^{pr} : coût d'un remplacement préventif.

C^{cr} : coût d'un remplacement correctif.

C^c : coût de commande d'une pièce de rechange neuve.

Dans notre thèse l'étude se fait sur un système de production à une seule machine. Cette machine est sujette à des défaillances due à une dégradation .pour déterminer le niveau de dégradation nous appliquons une inspection ainsi qu'une politique de maintenance

conditionnelle qui se base sur les deux seuils décisionnels d_c et d_r et le seuil fixé d_{max} . Par conséquent, le but est de déterminer ces seuils décisionnels qui permettent de gérer les actions de maintenance en minimisant le coût total engendré par ces actions sur un horizon fini T_{miss} .

La maintenance conditionnelle est réalisée sous forme d'un remplacement en utilisant des pièces de rechange neuves ou remanufacturées.

1. Les décisions relatives aux commandes des pièces de rechange sont prises comme étant des données d'entrée du problème.
2. Le remanufacturing dépend seulement de la qualité i de la pièce de rechange à installer dans la machine à l'instant t .
3. L'inspection est réalisée selon un plan périodique, avec l'annulation des actions d'inspection comprises entre la date de passage de la commande et l'arrivée de la pièce en stock (**Figure III.5**) [17]

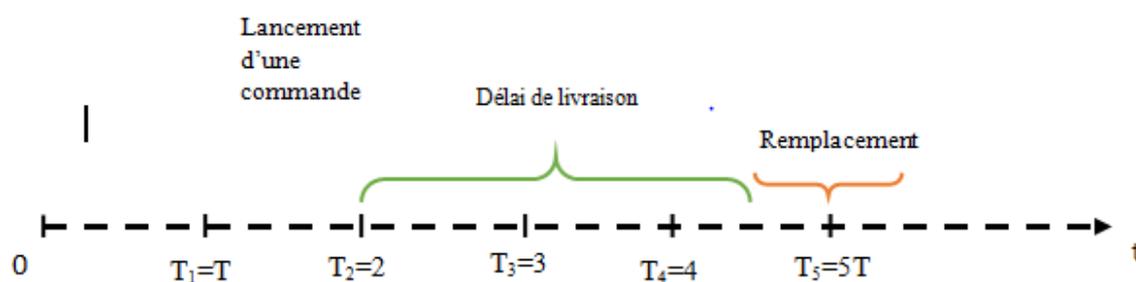


Figure III.5 : politique périodique d'inspection adoptée. [17]

III.4. Données de l'entreprise

Les données suivantes représentent les différents coûts associés aux machines utilisées dans la ligne 4 spécialisée dans la fabrication des tubes en PVC.

Durant notre stage pratique nous nous sommes intéressées à récolter des données concernant les coûts liés à la gestion des commandes des pièces de rechange et à la gestion des remplacements préventifs.

Chapitre III : cas d'étude et résultats obtenus

En effet, nous avons acquis comme données les coûts suivants obtenus sur une période de temps égale à $T_{\text{mission}}=170$ jours

Tableau III.1 : coûts unitaires des commandes (DA/jou)

La machine	La pièce	La quantité	Le temps de bon fonctionnement (jour)	Le coût unitaire (DA)	Le coût (DA/jour)
Extrudeuse	Disjoncteur thermique	1	55	8000	145.45
	Pièce fabriquée	1	145	6000	52.631
	Contacteur	1	47	8000	170.212
	Auxiliaire	1	106	1500	14.150
	Sectionnaire	1	47	80000	1702.127
	Cylindre (vis)	1	/	200000	/
Tulipe-use	Raccord d'air	4	62	800	12.903
	Manchon	1	106	200	1.886
Scie	Disque	1	92	500	5.437
	Roulement	4	113	800	7.079
	Disque	1	113	500	4.424
	Disjoncteur	1	128	8000	62.5
	Courroie	1	129	1200	9.302
	Courroie	1	160	1200	7.5
	Disque	1	170	800	4.705
	Joint	1	104	400	3.846

Chapitre III : cas d'étude et résultats obtenus

Tableau III.2 : coût de la maintenance préventive (DA)

Machine	Entretien préventif	Période mensuelle	Période journalière	Coût de l'entretien (DA)	Coût de l'entretien en (DA/jour)
Extrudeuse	- Changer les charbons des contacts usés	12		500	1.369
	- Changer l'huile chaque 5000 heures ou après un an de travail	12		11000	30.13
Tulipeuse	- Changement d'huile	12		100000	8333.33
	- Lubrifier et graisser les rails, les axes et les parties en mouvements		1	7000	7000
Scie	Changer l'huile	12		20000	1666.66
Compresseur	Changer l'huile	9		22000	80.29
	Changement du filtre à l'huile	9		3000	10.94
Tireuse	- Changer des dents usées de la chaîne tireuse	5		10000	65.78
	- Changer les crampons usés de la chaîne tireuse	12		20000	54.79

Avec :

- Coût de stockage unitaire d'une pièce de rechange $CU^s=10$ um
- Coût de commande d'une pièce neuve $C^c=417$ um
- Coût unitaire d'arrêt $CU^{arrêt} = 0$
- Coût d'inspection $C^i=8$ um
- Coût de maintenance préventive $C^{Pr}=800$ um
- Coût de maintenance corrective $C^{Cr}=1650$ um.
- Coût de livraison d'une pièce remanufacturée $C^{re}=0$
- Temps de remanufacturation $t^{re}=0.25$ um
- Délai de livraison d'une commande $t^c=3$ um

Durant notre stage nous avons travaillé sur la ligne 4 de production des tubes PVC qui est constituée de 5 machines en série qui sont: extrudeuse, bac sous vide, tireuse, Scie et tulipeuse.

Parmi ces cinq machines nous avons consacré notre temps à faire la récolte d'information sur l'extrudeuse où nous avons accordé à cette machine un seuil maximal de dégradation aléatoire qui a comme valeur $d_{max}=10$ en notant que $d_{max}=L_n$ (niveau de dégradation à partir duquel la pièce de rechange n'est plus réutilisable) .Nous avons supposé aussi que le niveau de dégradation initial (pour les pièces de rechange de qualité 0,1 et 2) $L_0=0$, $L_1=2.5$, et $L_2=5$.

III.5. Modèle mathématique

Rappelons que l'objectif de notre travail est de trouver la meilleure politique de maintenance afin de minimiser le coût total engendré par les différentes actions appliquées. Mathématiquement, les variables à déterminer sont les seuils d_c et d_r . Pour la formulation de notre modèle mathématique, nous nous sommes basées sur le travail de [17].

Chapitre III : cas d'étude et résultats obtenus

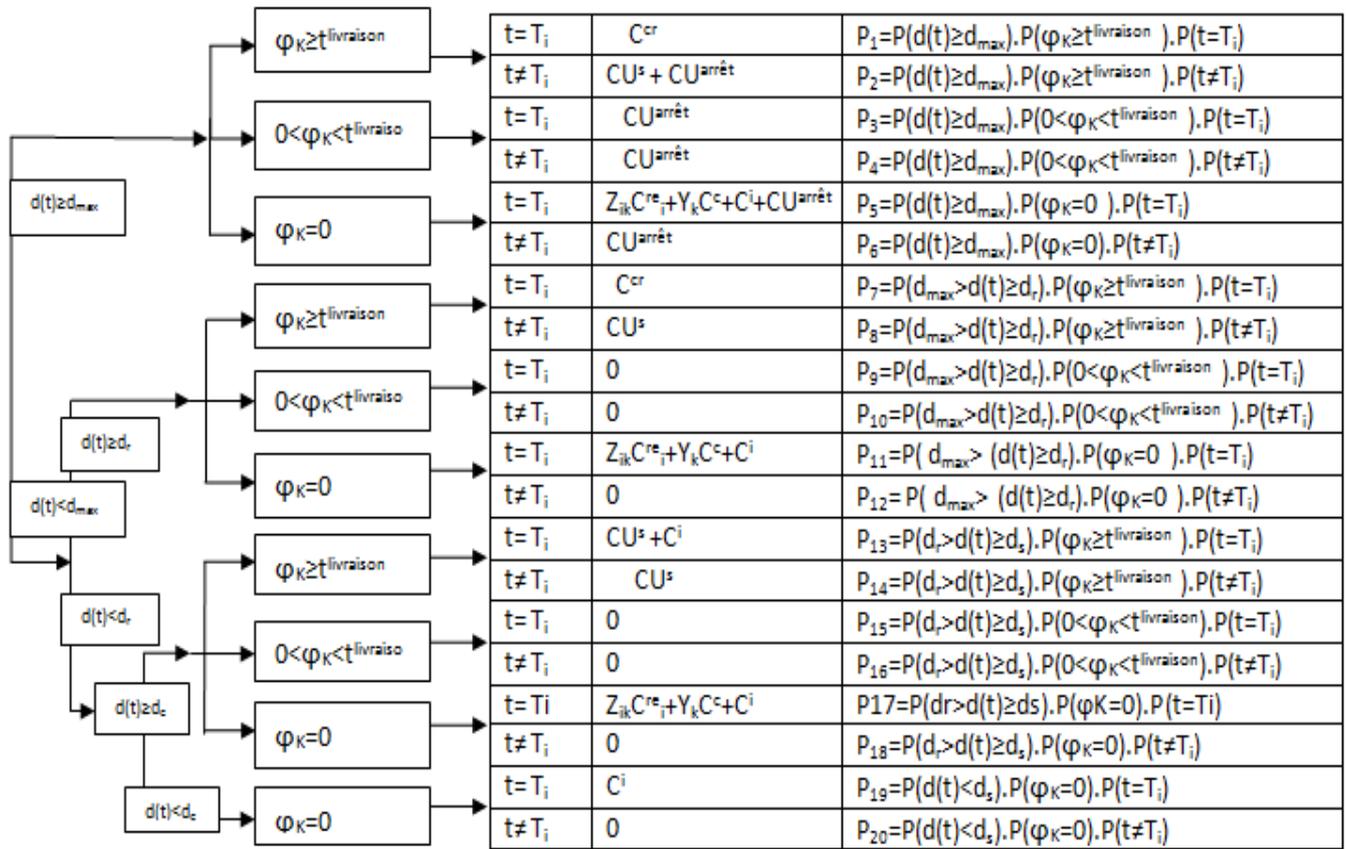


Figure III.6 : arbre de probabilité associé. [17]

Tels que :

C_i^{re} : cout de remanufacturation d'une pièce de rechange pour obtenir une pièce de rechange de qualité i

Z_{ik} : variable binaire, égale à 1 si une pièce remanufacturée de qualité i est placée dans la machine au début du cycle k , et à 0 sinon.

Y_k : variable binaire, égale à 1 si une pièce neuve est commandée durant le cycle $k-1$ pour être installée dans la machine au début du cycle k , et à 0 sinon.

Avec $i \in \{1, 2, \dots, n-1\}$, $k \in \{1, 2, \dots, CN\}$.

L'occurrence de chaque évènement de processus de dégradation est associée à une probabilité. Afin de déterminer les probabilités que cet évènement survienne à l'instant t , et les coûts engendrés, nous utilisons l'arbre de probabilité (**Figure III.6**). Dans ce dernier, la probabilité que les évènements d'une branche surviennent est égale au produit de tous les

nœuds de cette branche. De ce fait, la fonction du coût associée à l'instant t , s'écrit comme suit :

$$\begin{aligned}
 CT_t = & \left(P_1 (C^{cr}) + P_2 (CU^s + CU^{arret}) + P_3 (CU^{arret}) + P_4 (CU^{arret}) \right. \\
 & + P_5 (Y_k C^c + Z_{ik} C_i^{re} + C^i + CU^{arret}) + P_6 (CU^{arret}) + P_7 (C^{pr}) + P_8 (CU^s) \\
 & + P_{11} (Y_k C^c + Z_{ik} C_i^{re} + C^i) + P_{13} (CU^s + C^i) + P_{14} (CU^s) \\
 & \left. + P_{17} (Y_k C^c + Z_{ik} C_i^{re} + C^i) + P_{19} (C^i) \right)
 \end{aligned}$$

Ainsi, après une simplification on obtient :

$$\begin{aligned}
 CT_t = & \left(C^{cr} (P_1) + CU^s (P_2 + P_8 + P_{13} + P_{14}) + CU^{arret} ((P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6) \right. \\
 & + C^i (P_5 + P_{11} + P_{13} + P_{17} + P_{19}) + C^{pr} (P_7) \\
 & \left. + (Y_k C^c + Z_{ik} C_i^{re}) (P_5 + P_{11} + P_{17}) \right)
 \end{aligned}$$

La fonction du coût associée au cycle k est :

$$CT_k = \sum_{t=1}^{\sum_{i=1}^{n-1} D_{ik} Z_{ik} + D_{0k} Y_k} CT_t$$

La fonction objective est exprimée comme suit :

$$\mathbf{Min} f = \sum_{k=1}^{CN} CT_k$$

Tels que :

CN : le nombre de cycles durant T_{miss} .

D_{ik} : la durée d'utilisation de la pièce de rechange de qualité i durant le cycle k , jusqu'à son remplacement.

III.6. Approche proposée :

Afin de déterminer le plan de maintenance, nous avons adopté un algorithme génétique basé sur la simulation programmée avec le langage Visual Basic. La partie

simulation permet d'évaluer les chromosomes en calculant le coût généré par les différentes actions de maintenance.

Le codage utilisé est en nombres réels, où chaque chromosome est représenté par deux génomes désignant les seuils décisionnels d_c et d_r (**figure III.7**). Le premier génome donne le ratio entre d_r et d_{max} (exemple : $d_r = 0,8 \times d_{max}$). Le deuxième génome donne le ratio entre d_c et d_r (exemple : $d_c = 0,5 \times d_r$).

Ce type de codage permet d'obtenir toujours des chromosomes appartenant à l'espace des solutions réalisables.

d_r	d_c
0,8	0,5

Figure III.7 : Structure d'un chromosome

Chaque nouvelle population est générée avec les opérateurs génétiques classiques : un point de coupure pour le croisement, une sélection des meilleurs chromosomes générés avec une probabilité de 80%, et une mutation aléatoire avec une probabilité de 20% [17]. Notons aussi que nous utilisons une population de 20 individus avec comme critère d'arrêt un nombre d'itérations égal à 20.

III.7. Résultats obtenus :

Dans cette partie, nous présentons trois exemples illustratifs de l'approche proposée. Nous avons choisi trois séries de pièces de rechange sur lesquelles nous appliquons notre approche. La première série est constituée de pièces de qualité 0 (pièces neuves), la deuxième est constituée de pièces de qualité 2 (pièces remanufacturées) et la troisième série est une combinaison aléatoire des deux premières. Les résultats suivants sont obtenus pour dix scénarios de simulation différents.

Chapitre III : cas d'étude et résultats obtenus

Tableau III.3 : Les seuils d_c et d_r et les coûts obtenus pour la première série.

d_r	0,94	1,52	0,90	0,89	3,46	5,64	7,42	4,52	3,44	8,04
d_c	0,08	0,99	0,87	0,02	0,71	3,73	3,76	2,04	0,36	6,46
Coût	5978	6395	7960	7960	3996	4830	7960	5970	4405	3980
Nombre de remplacements	2	1	1	1	3	5	1	2	2	4

Tableau III.4 : Les seuils d_c et d_r et les coûts obtenus pour la deuxième série.

d_r	9,36	5,24	1,05	0,17	8,89	3,34	9,64	3,44	9,82	6,39
d_c	3,05	0,31	0,11	4,52	0,12	1,11	3,84	1,18	9,66	0,63
Coût	2180	2360	2180	2260	2160	2150	2140	2170	2340	2258
Nombre de remplacements	4	6	6	5	4	6	5	4	3	4

Tableau III.5 : Les seuils d_c et d_r et les coûts obtenus pour la troisième série.

d_r	3,76	5,27	7,11	9,83	1,67	2,82	4,27	8,92	8,44	6,33
d_c	3,57	2,78	5,06	9,66	0,39	0,79	1,82	7,97	8,12	4,01
Coût	2250	2230	2190	2180	2230	2420	2190	2230	2280	2240
Nombre de remplacements	11	09	11	10	07	07	08	07	12	06

Le premier tableau (Tableau III.3) montre les résultats obtenus pour la première série (pièce neuve), le deuxième (Tableau III.4) montre ceux de la deuxième série (pièces remanufacturées) et le troisième (Tableau III.5) montre les résultats de la troisième série (pièces neuves et pièces remanufacturées).

Les résultats obtenus montrent les valeurs des seuils d_c et d_r ainsi que les coûts globaux obtenus pour les différents scénarios de maintenance générés.

L'obtention des seuils d_c et d_r nous permet de calculer le coût global correspondant en se basant sur l'arbre de probabilité (figure III.6).

Nous remarquons que la variation du coût global n'est pas très importante, ce coût subit une hausse importante dans le premier tableau (Tableau III.3). Ceci est dû principalement à l'utilisation exclusive des pièces neuves.

Nous prenons donc comme solution le scénario de maintenance le moins important en terme de coût global. Ainsi, les maintenances préventives et correctives correspondantes sont effectuées en utilisant des pièces de rechange commandées ou remanufacturées.

III.8. Conclusion

Ce chapitre a fait objet d'un cas d'étude réel concernant une machine de fabrication des tubes PVC au sein du groupe KHERBOUCHE, notre objectif était de trouver la meilleure politique de maintenance en minimisant une fonction orientée coût intégrant les coûts de stockage, de maintenance corrective et préventive et les coûts de commande. Pour se faire, une modélisation mathématique est présentée et un algorithme génétique est utilisé pour la résolution de notre problème.

Bibliographie :

- [1] Mhamed Abdesslem, Diane Riopel, Atidel Hadj-Alouane. Conception pour la logistique inverse : proposition d'un cahier des charges. Juillet 2007. P 1
- [2] Porter M., Linde E., Class V., (1995) "Green and competitive: ending the stalemate", *Havard Business Review*, September-October, p.120-134.
- [3] [Fleischmann. M, Bloemhof-Ruwaard. J. M, Dekker, VanderLaan. E, Van Nunen. J et Van Wassenhove. L. N, 1997], Quantitative models for reverse logistics: a review, *European Journal of Operational Research*, vol 103(1), p.1-17.
- [4] Mohammed BENNEKERFOUF. Modélisation et simulation d'une chaîne logistique inverse en tenant compte de la robustesse. 4 Décembre 2013. P 9-10.
- [5] Thierry, M., Salomon, M., Van Nunen, J., Van Wassenhove, L. (1995). Strategic issues in product recovery management. *California Management Review*, 37 (2), 114-135.
- [6] Beaulieu, M., Martin, R., Landry, S. (1999). Logistique à rebours : synthèse de la littérature et typologie. Groupe de recherche CHAÎNE, cahier 99-01, Montréal, Canada.
- [7] Beaulieu, M. (2000). Définir et maîtriser la complexité des réseaux de logistique à rebours. *Proceedings Les Troisièmes Rencontres Internationales de la Recherche en Logistique*, 9, 10 et 11 mai 2000, 20 p., Trois-Rivières, Canada, aussi disponible à : www.uqtr.quebec.ca/rirl2000/pro_a.htm.
- [8] Tibben-Lembke, R. (1999), Reverse logistics : stratégies et techniques. *Logistique & Management*, Vol. 7 N°2, pp. 15-25.
- [9] Fleischmann, M. (2001). *Quantitative Models For Reverse Logistics*. Springer, Berlin, Germany.
- [10] Chouinard Marc. Système organisationnel et architecture d'un support d'information pour l'intégration des activités de logistique inversée au sein d'un centre de réadaptation. 2003.
- [11] « NF-EN-13306-X-60-319. Terminologie de la maintenance. Norme AFNOR, 2010. » .
- [12] D. Parker, « An Analysis of the Spectrum of Re-use », OAKDENE HOLLINS, A Component of the Remanufacturing Pilot for Defra, BREW Programme, 2007.
- [13] S. K. Srivastava, « Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review », *Int. J. Manag. Rev.*, vol.9, no 1, p. 53-80, 2007.

- [14] D. Parker et P. Butler, *An Introduction to remanufacturing*, Mialiravina. mialiravina, 2007.
- [15] T. HOSHINO, K. YURA, et K. HITOMI, « Optimization analysis for recycle-oriented manufacturing systems », *Int. J.Prod. Res.*, vol. 33, no 8, p. 2069-2078, août 1995.
- [16] Rogers D.S., Tibben-Lembke, R. (2001), An examination of reverse logistics practices. *Journal of Business Logistics*, Vol. 22 N°2, pp.129-148.
- [17] BOUDHAR Hamza, « Optimisation de la politique de remanufacturing des pièces de rechange dans le cadre d'une maintenance intégrée à une chaîne logistique en boucle fermée », p.21
- [18] Grégoire Florie. Reverse logistics et déchets d'équipements électriques et électroniques. 2005.
- [19] DELANEY, B. (1998). Ninth Annual State of Logistics Report, Cass Logistics, St. Louis, MO, USA.
- [20] STOCK, J. R. (2001). The 7 deadly sins of reverse logistics. *Material Handling Management* 56(3), MHS5-MHS11.
- [21] ROGERS, D. S. et TIBBEN-LEMBKE, R. S. (1998). Going backwards: Reverse logistics trends and practices. Reverse Logistics Executive Council, Reno, NV, USA.
- [22] Serge Lambert, Diane Riopel. Logistique inverse : Revue de littérature. Octobre 2003. P 1-7.
- [23] Flygansvaer, B., Jahre, M. (2002), How do reverse logistics systems scope with supply uncertainty. Department of Logistics, Norwegian School of Management.
- [24] Wu, H-J., Dunn, S.C. (1995), Environmentally responsible logistics systems, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 25 N°2, pp.21-38.
- [25] Philipp, B. (1999), Reverse logistics : les formes adéquates de coopération pour la chaîne logistique de valorisation des produits en fin de vie, *Logistique & Management*, Vol. 7 N°2, pp.45-57.
- [26] Marlene Monnet. Les stratégies de la logistique inversée : une perspective théorique. Université de la Méditerranée Aix-Marseille II CRETLOG. P 43.

- [27] SCHEIDT, L.-G., ABDOOLCADER, N., STADLBAUER, H., ZONG, S. et DOELMAN, P. (1995). Electronics recycling - another dimension. 1995 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, Edinburgh, Scotland, 290-294.
- [28] GUPTA, S. M. et ISAACS, J. A. (1997). Value Analysis of Disposal Strategies for Automobiles. *Computers & Industrial Engineering* 33(1-2), 325-328.
- [29] GIUNTINI, R. et ANDEL, T. (1995a). Advance with reverse logistics - part 1. *Transportation and Distribution* 36(2), 73-77.
- [30] LEE, C.-H. (1997). Management of scrap car recycling. *Resources Conservation and Recycling* 20(3), 207-217.
- [31] Gradel T., Alluby B., Comrie P., (1995) “ Matrix approaches to abridged life cycle assessment”, *Environmental Science & Technology*, vol. 29, n°3, p. 134-139.
- [32] McCloskey J., Smith D., Gaves B.,(1993) “ exploring the green sell: marketing implication of the environmental movement, business and the environment: implication of the new environmentalism” , Paul Chapman Publishing, p.84-97.
- [33] Lambert.S. Et Riopel.D, 2003, *Logistique Inverse : revue de littérature*. Les cahiers de Gérard,Ecolepolytechnique de Montréal.
- [34] SigmaSanté et Synergie Santé Environnement, qu’arrive-t’il aux produits en fin de vie utile lorsqu’ils quittent nos établissements.
- [35] Ahmed Alali Alhouaij, Contribution à l’optimisation de la maintenance dans un contexte distribué, 2 Mai 2011, p.19-23.
- [36] E. Deloux, « Politiques de maintenance conditionnelle pour un système à dégradation continue soumis à un environnement stressant », Université de Nantes, 2008.
- [37] Sofia Panagiotidou. Innovative Applications of O.R : Joint optimization of spare parts ordering and maintenance policies for multiple identical items subject to silent failures.*European Journal of Operational Research* 235 (2014) 300–314.
- [38] Wenbin Wang. A joint spare part and maintenance inspection optimisation model using the Delay-Time concept. *Reliability Engineering and System Safety* 96 (2011) 1535–1541.
- [39] N. Chari, C. Diallo, U. Venkatadri, D. Aït-Kadi. Manufacturing strategy using new and reconditioned rotatable spare parts.11th Global Conference on Sustainable Manufacturing 23rd-25th September 2013 Berlin- Germany.

- [40] NAVIN CHARI, CLAVER DIALLO, and UDAY VENKATADRI. Optimal Unlimited Free-Replacement Warranty Strategy using Reconditioned Products. *International Journal of Performability Engineering*, Vol. 9, No. 2, March 2013, pp.191-200.
- [41] K.Inderfurth, A.G. de Kok, S.D.P.Flapper. Product recovery in stochastic remanufacturing systems with multiple reuse options. *European Journal of Operational Research* 133 (2001) 130-152.
- [42] Zeinebou ZOUBEIR. Vers un système d'aide à la décision pour l'allocation des postes à quai dans un terminal à conteneurs. Université du HAVRE. 10 Septembre 2014.
- [43] J. H. Holland. *Adaptation in natural and artificial system: An introductory analysis with applications to biology, control and artificial intelligence*. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI. (1975).
- [44] Hongwei DING. Une approche d'optimisation basée sur la simulation pour la conception des chaînes logistiques : Applications dans les industries automobile et textile. 28 octobte2004.
- [45] J. Dréo, A. Pétrowski, P. Siarry et E. Taillard. *Métaheuristique pour l'optimisation difficile*. Eyrolles (2003).
- [46] Maliki Fouad. Résolution d'un problème stochastique de choix des fournisseurs et location des centres de distribution lors de la conception de chaines logistique : approche d'optimisation basée sur la simulation. Université de Tlemcen. 2013.
- [47] LAGGOUN ASSIA. DEVELOPPEMENT D'UNE APPROCHE POUR LA RESOLUTION D'UN PROBLEME DE LOT SIZING AVEC TRANSPORT. Université Hadj-Lakhdhar – Batna. 2013.
- [48] 2003lAytug H., KhoujaM., et VergaraF . E. Use of genetic algorithms to solve production and operations management problems: A review. *International Journal of Production Research*, vol. 4 1, pp. 3955 -40092, 003.

Conclusion générale et perspectives :

Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés au problème d'intégration de la logistique inverse dans la maintenance d'un système de production qui soumit à des dégradations. Nous avons adopté une politique de maintenance conditionnelle basée sur la connaissance du niveau de dégradation du système par l'inspection et sur des seuils décisionnels qui permettent de prendre des décisions vis-à-vis des actions de maintenance à réaliser. La maintenance du système nécessite l'utilisation des pièces de rechange, ces dernières sont classées en plusieurs qualités. Avant de commencer à traiter le problème qui en découle, nous avons exposé une présentation du contexte qui encadre notre travail. Notre méthodologie était de présenter les hypothèses du problème étudié avant de proposer sa formulation mathématique, et de présenter par la suite, l'approche de résolution proposée pour atteindre les objectifs qui ont été fixés. L'approche proposée est basée sur les métaheuristiques (algorithme génétique). Le problème étudié dans ce travail a pour objectif de minimiser le cout total engendré par les différentes actions impliquées pour la maintenance du système.

Ce mémoire nous a permis de montrer l'importance du lien entre les actions de maintenance, la production et la chaîne logistique inverse. Les perspectives de ce travail sont :

- Généralisation de la problématique d'intégration de la maintenance pour des systèmes de production multi-machines.
- Intégration d'une politique de gestion de stock pour les différentes pièces utilisées.