

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : Génie Industriel

Spécialité : Ingénierie de la production

Par : MOKRANE Insaf et ZITOUNI Fatima Zohra

Sujet

**Étude de la faisabilité d'une ligne de remanufacturing des groupes électrogènes au niveau d'une entreprise de maintenance industrielle MEI
« application sue les groupes à moteur Diesel »**

Soutenu le 30 / 09 /2020 , devant le jury composé de :

M BENNEKROUF Mohammed	MCB	Univ. Tlemcen	Président
Mme SARI TRIQUI Lamia	MCA	Univ. Tlemcen	Encadrant
M BENSMAIN Yassir	MCB	Univ. Tlemcen	Co-Encadrant
M KAHOUADJI H Amine	MCB	Univ. Tlemcen	Examineur
M BELKAID Fayçal	MCA	Univ. Tlemcen	Examineur

Remerciement

Nous remercier, avant tout, Dieu, le Tout-Puissant, de nous avoir accordé parmi ses innombrables grâces, santé et courage pour accomplir ce travail.

Nous tiens à adresser nos plus vifs remerciements à notre chère encadrante Mme SARI. T Lamia,, et monsieur BENSMAIN Yassir pour leur patience, leur disponibilité et surtout leurs judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion. Aux membres du jury, qui ont accepté d'évaluer notre travail et de faire partie de cette soutenance.

Merci à toute l'équipe pédagogique de faculté de technologie Abou Baker Belkaid et les intervenants professionnels responsables de la formation Génie Industriel, pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

Nous remercier également :

Monsieur YATTOU, Le PDG du groupe MEI, pour son accueil et la confiance qu'il nous a accordé. Mlle KHAZZAR IBTISSAM et Mlle K. HASSINA pour nous avoir intégrés rapidement au niveau de l'entreprise et nous avoir accordé toute sa confiance et pour le temps qu'elle nous a consacré.

Nous tiens à remercier tout particulièrement aux personnes suivantes, pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt au niveau de l'entreprise MEI :

- *Mr Djaidjaa Abdenour le Directeur de département finance et comptabilité.*
- *Mr Titoum Abd Rezaq chef de service planification.*
- *Mr Naoui Bouzid chef de service Diesel*
- *Mr Chalabi Khemis le directeur d'unité de facturation.*
- *Mr Bennaser Radouane le responsable de management de la qualité totale.*
- *Mr Edoughi le directeur de service de contrôle de qualité.*

L'ensemble du personnel de MEI pour leur accueil sympathique et leur coopération professionnelle, et leur l'aide et conseils concernant notre projet de fin d'étude.

Dernier et non des moindres nous remercions l'agence nationale des déchets AND et EWPG-cet pour leur collaboration.

Dédicace

*Nous dédie cet évènement marquant de notre vie à
la mémoire de notre professeur
« Mr. BENAÏSSA Hocine » décédé trop tôt.
Mais qu'il reste toujours un idole et un bon
exemple pour nous.*

*Il apprécie cet humble geste comme preuve de
reconnaissance de la part d'un étudiant qui a
toujours prie pour le salut de son âme. Puisse
Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte
miséricorde !*

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Le remanufacturing dans le cadre de l'économie circulaire	3
1.1 Introduction.....	4
1.2 La politique d'un produit	4
1.2.1 Définition d'un produit.....	4
1.2.2 Le cycle de vie d'un produit	4
1.3 Chaîne logistique dans le cadre de l'économie linéaire	7
1.3.1 L'économie linéaire.....	7
1.3.2 La chaîne logistique.....	7
1.3.2.2 Types de chaînes logistiques	9
1.3.2.5 Gestion de la chaîne logistique.....	11
1.3.3 Limite de l'économie linéaire	13
1.4 Déchet.....	14
1.4.1 Définition.....	14
1.4.2 Classification et types de déchets.....	14
1.5 Chaîne logistique dans le cadre de l'économie circulaire	17
1.5.1 L'économie circulaire.....	17
1.5.2 Définition.....	17
1.5.3 Les 7 piliers de l'économie circulaire	17
1.5.4 Les enjeux de l'économie circulaire.....	19
1.5.5 Chaîne logistique inverse.....	19
1.5.5.2 Les types de retours	20
1.5.6 Chaîne logistique verte	21
1.6 Politiques de gestion de déchet	22
1.6.1 Allongement de la durée d'usage	22
1.6.2 Valorisation de déchet	23
1.6.3 Elimination de déchet	24
1.7 Le remanufacturing comme une politique optimale pour la valorisation des déchets	
24	
1.7.1 Définition de la remise à neuf.....	25
1.7.2 Avantages de la remise à neuf	25
1.7.3 Processus de remise à neuf	27
1.7.4 Types d'opérations de la remise à neuf.....	28

1.7.5	Paramètres de remise à neuf réussie.....	29
1.7.6	Produit remanufacturé vs produit neuf.....	30
1.8	Conclusion.....	31
	Chapitre 2 : concepts fondamentaux relatifs à l'industrie du remanufacturing.....	32
2.1.	Introduction.....	33
2.2	La défaillance et la fiabilité.....	33
2.2.1	La défaillance.....	33
2.2.2	La fiabilité.....	34
2.2.3	Fiabilité des systèmes remanufacturés.....	37
2.3	La maintenabilité et la maintenance.....	38
2.3.1	La maintenabilité.....	38
2.3.2	La maintenance.....	39
2.3.3	La maintenance et la remanufacturation.....	45
2.4	La qualité et la garantie.....	47
2.4.1	La qualité.....	47
2.4.2	La qualité dans l'industrie de remanufacturing.....	47
2.4.3	La garantie.....	49
2.4.4	La garantie pour des biens remanufacturés.....	50
2.5	Conclusion.....	52
	Chapitre 3 : Etat de lieux des D3E en Algérie.....	53
3.1	Introduction.....	54
3.2	Définitions.....	54
3.3	Composition des DEEE.....	54
3.4	Catégories des DEEE.....	56
3.5	Gestion des DEEE.....	57
3.6	État de lieu des D3E.....	58
3.6.1	Les DEEE dans le monde.....	58
3.6.2	Les DEEE en Afrique.....	60
3.6.3	Les DEEE en Algérie.....	62
3.7	Flux de DEEE produit en Algérie.....	63
3.7.1	Évolution quantitatives des D3E à l'échelle nationale.....	64
3.7.2	Répartition spatiale des DEEE sur le territoire algérien (2018).....	64
3.7.3	Répartition de la quantité des D3E en Algérie par catégorie.....	66
3.8	L'état des lieux sur les modes de gestion actuelle des DEEE.....	67
3.8.1	Cadre juridique et institutionnel.....	67

3.8.2	Mode de gestion actuel.....	68
3.9	Niveau de la conscience environnementale en Algérie	76
3.9.1	Aspect méthodologique	76
3.9.2	Résultats.....	77
3.10	Proposition d'une stratégie de gestion appropriée de ces Déchets	81
3.11	Conclusion.....	82
Chapitre 4	: Étude de la faisabilité technique	83
4.1	Introduction.....	84
4.2	Acteurs clés dans un processus de remanufacturing	84
4.3	Stratégies des leaders de secteur de remanufacturing	85
4.4	Les barrières de la remis à neuf.....	85
4.5	La politique remanufacturing dans le marché Algérien	86
4.6	Présentation du cadre de travail société (MEI)	90
4.7	Les groupes électrogènes	90
4.7.1	Définition	90
4.7.2	Caractéristiques	90
4.7.3	Composition des groupes électrogènes	91
4.7.4	Planification de remanufacturing d'un groupe électrogène.....	93
4.8	Processus de remise à neuf	95
4.8.1	La collecte.....	96
4.8.2	Le démontage.....	96
4.8.3	Le tri	98
4.8.4	Le nettoyage.....	98
4.8.5	Traitement des pièces	100
4.8.6	Teste	107
4.8.7	Orientation de la pièce.....	113
4.8.8	Assemblage	114
4.8.9	Contrôle de qualité	116
4.9	Conclusion	117
Chapitre 5	: Étude de la faisabilité économique.....	118
5.1	Introduction.....	119
5.2	Choix technologique.....	124
5.2.1	Application de la matrice de décision sur les marques des machines de traitement soustractive	126
5.2.2	Application de la matrice de décision sur les marques des machines de traitement additive	127

5.2.3	Application de la matrice de décision pour le choix des techniques convenable	129
5.3	Modélisation mathématique.....	132
5.3.1	Étape 1 : La récupération.....	132
5.3.2	Étape 2 : Le désassemblage	132
5.3.3	Étape 3 : Le nettoyage	133
5.3.4	Étape 4 : Le traitement	134
5.3.5	Étape 5 : Le test.....	135
5.3.6	Étape 06 : L'assemblage.....	136
5.3.7	Etape 07 : L'essai de fonctionnement	136
5.3.8	Stockage.....	136
5.3.9	Le cout de revient.....	137
5.3.10	Fonction objectif	137
5.4	Génération de modèle mathématique	139
5.4.1	Données techniques : groupe électrogènes	139
5.4.2	Données réseaux de collecte	140
5.4.3	Résultat	140
5.5	Conclusion	144
Conclusion générale.....		145
Références.....		147

Liste des figures

<i>Figure I-1: cycle de vie d'un produit (Feu de paille/Echec) [10].</i>	5
<i>Figure I-2: cycle de vie d'un produit (nouveau départ) [6].</i>	6
<i>Figure I-1-3: L'économie linéaire [8].</i>	7
<i>Figure I-4: chaîne logistique globale [12].</i>	9
<i>Figure I-5: chaîne logistique interne [13].</i>	9
<i>Figure I-6 : Les 7 différentes pratiques qui fondent l'économie circulaire [41].</i>	18
<i>Figure I-7: chaîne logistique en boucle fermée.</i>	20
<i>Figure II-1: exemple de la fonction de répartition</i>	35
<i>Figure II-2: exemple de la densité de la probabilité</i>	35
<i>Figure II-3: courbe $R(t) = e^{-\lambda t}$</i>	36
<i>Figure II-4: les types de maintenance industrielle</i>	39
<i>Figure II-5: processus de déroulement d'une maintenance corrective d'un équipement</i>	39
<i>Figure II-6: principe de la maintenance conditionnelle</i>	41
<i>Figure II-7: organigramme synoptique des opérations de maintenance</i>	42
<i>Figure II-8: Organigramme représente le positionnement de la fonction « maintenance »</i>	43
<i>Figure II-9: les relations entre service maintenance et les autres services</i>	43

<i>Figure II-10: structure type avec sectorisation partielle</i>	44
<i>Figure II-11: Chronologie d'intervention</i>	44
<i>Figure II-12: les périodes de garantie légale et commerciale</i>	50
<i>Figure III-1: Composition des DEEE [122]</i>	55
<i>Figure III-2 : Cycle de vie de produit avec les principales stratégies de valorisation [130]</i>	58
<i>Figure III-3: Déchets d'équipements électriques et électroniques générés dans le monde en 2016</i>	59
<i>Figure III-4 : Déchets électroniques mondiaux générés par an [132].</i>	59
<i>Figure III-5 : les quantités de DEEE générées et collectées dans chaque continent en 2019 [132]</i>	60
<i>Figure III-6 : déchets en Afrique [141]</i>	61
<i>Figure III-7 : incinération des DEEE a Agbogbloshie, Accra, Ghana [145]</i>	62
<i>Figure III-8: évolution de la quantité des DEEE en Algérie entre 2008 et 2020</i>	64
<i>Figure III-9: Répartition spatiale des DEEE sur le territoire algérien</i>	65
<i>Figure III-10: la quantité des D3E en Algérie par catégorie</i>	66
<i>Figure III-11: Chiffres Clés sur la gestion des déchets au niveau de la commune [154]</i>	71
<i>Figure III-12: Carte représente le découpage en secteur pour la collecte des déchets. (ajouter une référence)</i>	72
<i>Figure III-13: les compositions des déchets ménagers de la commune de M'sila</i>	74
<i>Figure III-14: réception des déchets</i>	74
<i>Figure III-15: la décharge dans les casiers</i>	74
<i>Figure III-16: stockage des obtenues triés</i>	75
<i>Figure III-17: tri de carton</i>	75
<i>Figure III-18: le compactage dans les casiers</i>	75
<i>Figure III-19: l'opération de tri au niveau d'unité de tri M'sila</i>	76
<i>Figure III-20: graphique des réponses selon le sexe</i>	77
<i>Figure III-21: graphique des réponses selon l'âge</i>	77
<i>Figure III-22: graphique des domaines qui nécessitent l'utilisation des EEE</i>	78
<i>Figure III-23: graphique de la dépende des gens à l'EEE</i>	78
<i>Figure III-24: graphique de la dépense des gens sur un EEE par an</i>	78
<i>Figure III-25: graphique de la moyenne d'avoir un EEE par an</i>	78
<i>Figure III-26: graphique des critères d'achat d'un EEE</i>	78
<i>Figure III-27: graphique de suivi des gens la norme et conditions d'utilisation</i>	79
<i>Figure III-28: graphique de suivi des gens au manuel d'instructions</i>	79
<i>Figure III-29: graphique qui montre à quelle fréquence les gens peuvent réparer leur appareil</i>	79
<i>Figure III-30: graphique de la procédure suivie lorsque l'appareil se plante</i>	79
<i>Figure III-31: graphique des procédures proposées</i>	80
<i>Figure III-32: graphique qui montre comment les citoyens se débarrassés de leurs produit expiré</i>	80
<i>Figure III-33: graphique de la possibilité que le citoyen algérien soit conscient par l'importance de l'économie circulaire</i>	81
<i>Figure III-34: : graphique qui montre la conscience des gens aux nouveaux produits commercialisés en Algérie</i>	81
<i>Figure IV-1: distribution des centrales de production d'énergie électrique</i>	88
<i>Figure IV-2: la répartition des puissances de production d'électricité des groupes installés par les producteurs d'électricité</i>	88

Figure IV-3: constitution d'une turbine à gaz	91
Figure IV-4: constitution d'un moteur diesel en forme I	
Figure IV-5: constitution d'un moteur diesel en forme V	92
Figure IV-6: composition d'un alternateur	92
Figure IV-7: Le cycle PHM	93
Figure IV-8: Diagramme PARETO	94
Figure IV-9: le processus technique de remis à neuf	95
Figure IV-10: classification des pièces maitresses selon la méthode ABC	98
Figure IV-11: tunnel de dégraissage	
Figure IV-12: machine de lavage automatisée [179]	100
Figure IV-13: traitement soustractive [182].	101
Figure IV-14 : Traitement additive [182]	103
Figure IV-15: bras de mesure métrologique FARO [229]	111
Figure IV-16: Figure IV 18: machine de mesure tridimensionnelle [230]	111
Figure V-1: RUIZE, RZ VMC 850.	127
Figure V-2: RENISHAW Le RenAM 500M (SLM)	131
Figure V-3: BeAM Magic 800 (DMD)	131
Figure V-4: la solution obtenue par le solveur Cplex	141

Liste des tableaux

Tableau I-1: Les différences entre les trois types de modélisation	11
Tableau I-2: classification des déchets	15
Tableau III-1: liste des sociétés privées investent dans le recyclage certains substances des DEEE	68
Tableau III-2: les catégories et sous-catégories selon la nomenclature	73
Tableau IV-1: LCA results for new and remanufactured product parts – case examples	Invalid source specified. Error! Bookmark not defined.
Tableau IV-2: les différents types de solvant	99
Tableau IV-3 : Instruments de mesures utilisées [228]	108
Tableau V-1: matrice de décision pour les 02 machines du traitement soustractive	127
Tableau V-2: matrice de décision pour les 02 machines de la technologie DMLS	128
Tableau V-3: matrice de décision pour les 02 machines de la technologie EBM	128
Tableau V-4: troisième matrice de décision pour les 02 machines de la technologie SLM	129
Tableau V-5: matrice de décision pour le choix des techniques convenable	130
Tableau V-6: listes des composants d'un groupe électrogène	139
Tableau V-7: les points de collecte des groupes électrogènes	140
Tableau V-8: les quantités des groupes récupérés par apport à ses puissances et points de collecte	141
Tableau V-9 : les sites choisis par le solveur Cplex par rapport à la puissance 4(630 kVA)	142
Tableau V-10: les sites choisis par le solveur Cplex par rapport à la puissance 6 (2230 kVA)	143

Liste des abréviations

- SCM: Supply Chain Management.

- ERP: Enterprise Resource Planning.
- APS: Advanced Planning and Scheduling.
- OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques.
- EMF : Établissement de Microfinance.
- ADEME : Agence nationale pour la gestion de l'environnement et de l'énergie.
- PIB : produit intérieur brut.
- CIEH: Chartered Institute of Environmental Health.
- PME : petite ou moyenne entreprise.
- CEI : Commission Électrotechnique Internationale.
- RUL : Remaining Useful Life.
- FRW : Free replacement warranty.
- AFNOR : Association Française de Normalisation
- EFNMS : European Federation of National Maintenance Societies.
- PHM: Prognostics and Health Management.
- ISO: International Standard Organisation.
- TQM : Total quality management.
- DEEE : Déchets d'Équipements électriques et électroniques.
- EEE : Équipements électriques et électroniques.
- EOL : End of life.
- EOLPS : End of life Products.
- TIC : Technologies de l'information et de la communication.
- OCDE : l'organisation de coopération et de développement économiques.
- MATE : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.
- AND : Agence National des Déchets.
- ONEDD : Observatoire national de l'environnement et du développement durable.
- CNTPP : Centre National de technologies plus propres.
- DEW : Directions de l'environnement de Wilayas.
- SCM: Supply Chain Management.
- ERP: Enterprise Resource Planning.
- APS: Advanced Planning and Scheduling.
- OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques.

- EMF : Établissement de Microfinance.
- ADEME : Agence nationale pour la gestion de l'environnement et de l'énergie.
- PIB: produit intérieur brut.
- CIEH: Chartered Institute of Environmental Health.
- PME : petite ou moyenne entreprise.
- CEI : Commission Électrotechnique Internationale.
- MTTF: mean time to failur, Le temps moyen de fonctionnement avant panne.
- RUL : Remaining Useful Life.
- FRW: Free replacement warranty.
- AFNOR: Association Française de Normalisation.
- EFNMS: European Federation of National Maintenance Societies.
- PHM: Prognostics and Health Management.
- ISO: International Standard Organisation.
- TQM : Total quality management.
- DEEE/D3E : Déchets d'Équipements électriques et électroniques.
- EEE : Equipements électriques et électroniques.
- REX: Retour d'expériences.
- PRW: garantie Pro-Rata.
- EOL: End of life.
- TIC : Technologies de l'information et de la communication.
- OCDE : l'organisation de coopération et de développement économiques.
- EOLP: End of life Product.
- MATE : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.
- AND : Agence National des Déchets.
- ONEDD : Observatoire national de l'environnement et du développement durable.
- CNTPP : Centre National de technologies plus propres.
- DEW : Directions de l'environnement de Wilayas.
- APC : Assemblée populaire communale.
- EPWG-CET : Etablissement Public de Gestion des Centres d'Enfouissement Technique.
- EPIC : Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial.

- OEM: original equipment manufacturers.
- OER: original equipment remanufacturers.
- CR: contracted remanufacturers.
- IR: independent remanufacturers.
- REPRO2: Remanufacturing and Product Profile.
- CLOEE: Close Loop Environmental Evaluation.
- EIS: Environmental Impact Simulator.
- RDMF: Remanufacturing Decision-Making Framework.
- RNDM: Remanufacturing Network Design Modeling.
- reCORE: Research for efficient Configuration of Remanufacturing Enterprises.
- FMOLP: Fuzzy multi-objective linear programming.
- CNC: machine-outil à commande numérique.
- CAM: Computer Aided Manufacturing.
- EDM: Electrical Discharge Machining.
- ECM: Electro Chemical Machining.
- DMD: Direct metal deposition.
- CAO: conception assistée par ordinateur ou CAD en anglais.
- LENS: Laser Engineered Net Shaping.
- EBM: Electron beam melting.
- DMLS: Direct Metal Laser Sintering.
- SLM: selective laser melting.
- CND : Contrôle Non Destructif.
- MMT : machine de mesure tridimensionnelle.
- UVA : rayonnement ultraviolet.
- TIG : Tungstène Inerte Gaz.
- MIG : Metal inert gaz.

Introduction générale

La vie moderne nous a habitué au progrès technologique continu, lui-même à l'origine d'une amélioration permanente des niveaux de vie. Cependant, ce processus de changements technologiques rapides est un phénomène historiquement récent, qui a débuté avec la révolution industrielle qui reste une étape très importante dans l'histoire de l'industrie, durant laquelle l'industrie a connu un basculement très fort, avec un passage d'une société agraire et artisanale vers une société commerciale et industrielle [1]. L'étendu de ce basculement, a affecté non seulement la société -ce qui se manifeste dans l'explosion démographique ou les pays ayant connu la révolution industrielle ont également tous connu un accroissement démographique qui crée des problèmes sociaux importants, ainsi que l'apparition des classes sociales : les élites urbaines avec la bourgeoisie financière et industrielle, la classe ouvrière et les classes moyennes (cette classe très diversifiée: artisans, employés, fonctionnaires, professions libérales)- , mais aussi il a apporté des grandes transformations politiques et culturelles

Tout succès à un prix, celui de la révolution industrielle est surtout environnemental. Le besoin de satisfaire les exigences d'une société en expansion a conduit à une production croissante des biens de catégories variées. Cet essor a amené les populations à une consommation accélérée notamment par les usages et appropriations de ces technologies, et a entraîné la négligence de l'aspect environnementale, en matières première, l'émission de produits polluants, l'exploitation de ressources naturelles telles que les énergies fossiles, les forêts, les pêcheries ou l'eau, mais aussi le manque de responsabilité des auteurs concernés, et plus précisément les industriels et les états, sur les produits hors service [2]. Par conséquence, cet essor a engendré l'augmentation de la quantité des déchets chaque année à une vitesse exponentielle. Les statistiques actuelles montrent que la quantité de déchets émis par les habitants de notre planète s'élève à 4 milliards de tonnes par année, ou les déchets solides représentent 80 % selon What a Waste 2.0.

Suite à cette surconsommation des ressources, l'humanité cherche d'accueillir les déchets en découlant à l'aide des politiques variées sur tous les plans : industriels, politiques et sociétal impliquant plusieurs démarches, avec une étape préalable à la collecte (qui comprend la séparation et le stockage à la source), la collecte elle-même, le transport par des camions à ordures et enfin, l'élimination ou le recyclage. Cependant, elles restent insuffisantes pour gérer les flux énormes des déchets solides.

Dans le cas des déchets des équipements et produits hors service, le recyclage, dans la majorité des cas, ne conforme pas avec les lois mondiales et ce fait de manière totalement aléatoire et en absence d'une valorisation efficace. Après la collecte des déchets, ces derniers sont triés selon la nature de matière dont ils se composent, et vendu avec des prix symboliques au KG ou par lots sans prendre en considération la valeur et l'estimation des pièces qu'il le compose, sachant que le fait de décortiquer un produit peut s'avérer très avantageux parce que chaque produit peut procurer des pièces en bon état ou bien des pièces réparables [3].

Dans ce travail, nous allons aborder le problème de la valorisation des équipements électriques et électroniques mis hors service au niveau de l'Algérie dont l'objectif est d'instaurer une stratégie de gestion appropriée de ces déchets de la collecte jusqu'au client final en passant par les différentes étapes au niveau du cycle logistique dans un cadre d'une économie circulaire convenable.

Tout ça a pour objectif d'un côté, de réduire le calibre des déchets et d'autre côté, de fournir au client une large gamme de choix selon son capacité financière.

*I. Chapitre 1 : Le remanufacturing
dans le cadre de l'économie
circulaire*

1.1 Introduction

La première partie de ce chapitre consiste à présenter la définition d'un produit en montrant ses caractéristiques, la politique de gamme ainsi que le cycle de vie d'un produit. Dans la deuxième partie, nous allons parler sur la chaîne logistique dans le cadre de l'économie linéaire et circulaire. Avant de conclure ce chapitre, la troisième partie exposera les différentes stratégies de gestion de déchet et le remanufacturing comme une politique optimale pour la valorisation de ces derniers.

1.2 La politique d'un produit

Dès la mise en œuvre de son plan marketing, l'entreprise doit d'abord prendre des décisions et faire des choix en matière de politique produit. Cette politique est liée aux caractéristiques du produit, à la politique de gamme, aux marques ou affiches, au design et packaging, voire à la prise de nombreuses décisions stratégiques liées à l'innovation. Cela permet de fournir un produit qui répond précisément à la demande du marché.

1.2.1 Définition d'un produit

Un produit correspond à n'importe quel bien ou service. C'est en fait une notion très complexe :

Kotler & Dubois 1997 disent « On appelle produit tout ce qui peut être offert sur un marché de façon à satisfaire un besoin » [4]. Th. Levitt a défini le produit comme « l'ensemble des satisfactions qu'un acheteur retire de sa consommation ».

Défini de manière classique, le produit est un bien ou un service, offert sur un marché, permettant de satisfaire les besoins et les désirs des consommateurs.

1.2.2 Le cycle de vie d'un produit

Le cycle de vie d'un produit est l'ensemble de toutes les phases qu'il traverse, de sa conception jusqu'à son extraction du marché. Ces principales étapes sont les suivantes [5] :

- Étape 0 : Recherche ou pré-lancement : L'entreprise investit beaucoup pour créer un produit. Tout doit être identifié et testé avant le lancement. Les prototypes de produits et les tests fréquents devraient permettre au produit d'être aussi proche que possible des besoins de client.
- Étape 1 : Le lancement : C'est la première fois qu'un produit est introduit sur le marché. Cette étape est la plus difficile car le produit est nouveau pour le consommateur et parce qu'il existe des produits concurrents. Il est dans l'intérêt de l'entreprise de ne pas produire de grandes quantités tant que le produit n'est pas entièrement approuvé par le consommateur. Au cours de cette phase, l'entreprise doit mettre en œuvre des stratégies de produit, de prix, de distribution et de communication appropriées et convenables.
- Étape 2 : La croissance : Au cours de cette étape, le volume des ventes augmente à un rythme très rapide et l'entreprise enregistre ses premiers bénéfices. Elle peut rendre le

produit plus populaire en remplissant les moyens d'information nécessaires, comme elle peut également lancer d'autres modèles de produits pour présenter leur offre.

- Étape 3 : Maturité : A ce stade, le chiffre d'affaires continue d'augmenter mais à un rythme de croissance plus lent. Les bénéfices sont importants. L'entreprise doit avoir déjà pensé à repositionner son produit et à le refaire.
- Étape 4 : Le déclin : Les ventes et la rentabilité des produits commencent à diminuer. La saturation du marché ou la concurrence commence à limiter les ventes. L'entreprise doit soit abandonner le produit, soit préparer un nouveau programme de reprise.

La courbe de vie peut être divisée en plusieurs étapes. La durée ou la présence des étapes elles-mêmes peut être très différente selon le produit, conduisant à des cycles de vie atypiques :

- Type « feu de paille » : la croissance des ventes est très rapide mais la demande chute également très rapidement [6].
- Type « échec » : le produit ne parvient pas à trouver sa place sur le marché et il est rapidement retiré de la vente [6].
- Type « nouveau départ » : le produit en phase de déclin connaît un redémarrage des ventes. L'entreprise décide d'investir à nouveau sur ce produit pour faire remonter la courbe des ventes, soit par des actions promotionnelles, ou par un changement de plan marketing [7].

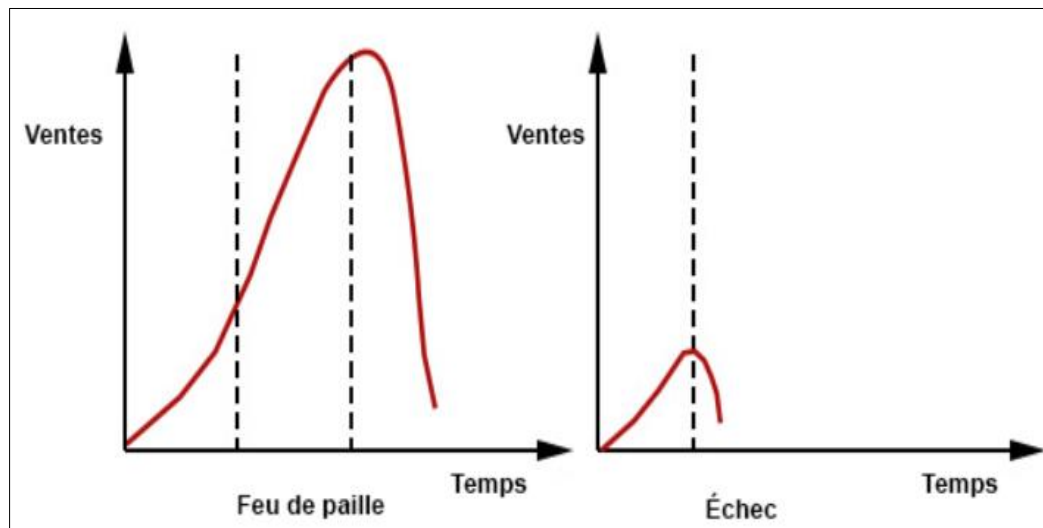


Figure I-1: cycle de vie d'un produit (Feu de paille/Echec) [10].

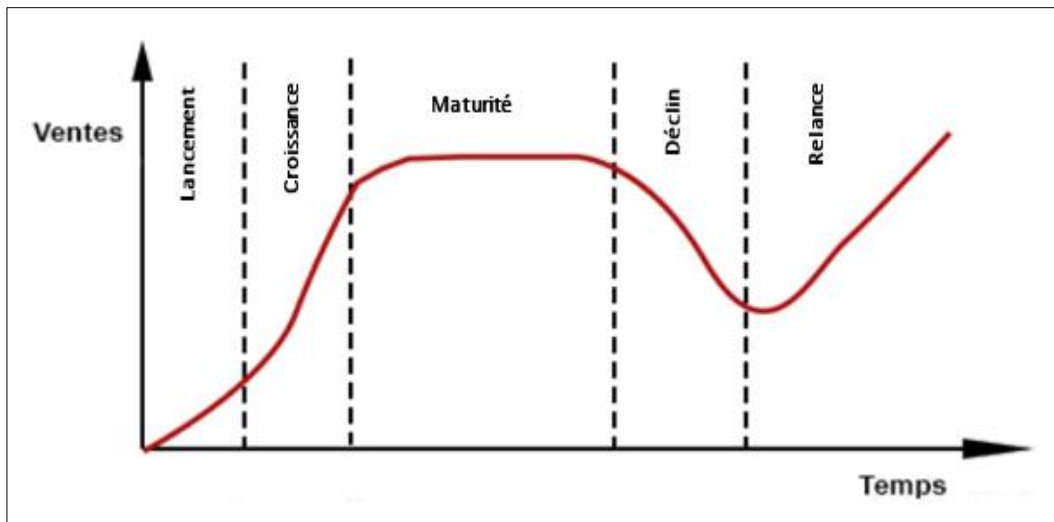


Figure I-2: cycle de vie d'un produit (nouveau départ) [6].

Aujourd'hui, le commerce évolue de plus en plus au niveau national et international et les entreprises de production développent leurs marchés plus qu'on avant. Cette évolution massive nécessite un suivi pour pouvoir produire des biens et services pour satisfaire les besoins des consommateurs. Pour mieux organiser toutes les opérations liées à cette production sans contraintes, la gestion de production classique laisse la place à la gestion de la chaîne logistique pour faire face aux nouvelles attentes du marché, aux nouveaux concurrents et aux nouveaux liens entre les entreprises et leurs partenaires.

1.3 Chaîne logistique dans le cadre de l'économie linéaire

1.3.1 L'économie linéaire

L'économie linéaire ou bien extraire, produire, consommer puis jeter ; au service du régime d'accumulation capitalistique prend naissance dès le développement du marché triangulaire (XV^{ème} siècle). Elle s'intensifie à travers les vagues d'innovations des révolutions industrielles, et s'amplifie de façon alarmante sous l'effet des besoins de la société de consommation devenue nécessaire pour créer et renouveler les débouchés des productions industrielles. La conséquence est un niveau de prélèvement sur les ressources naturelles qui a été multiplié par 10. Voici une représentation schématique de l'économie linéaire :

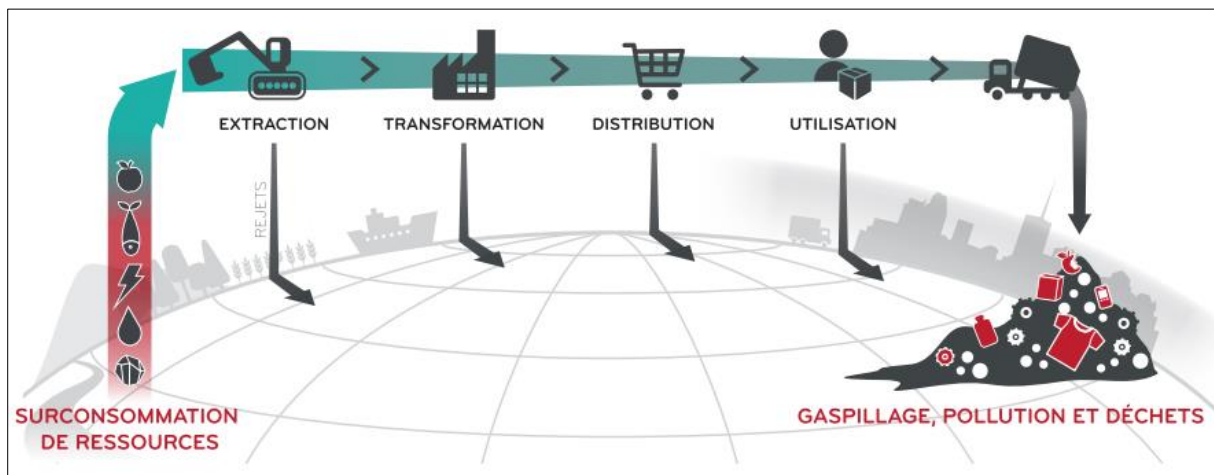


Figure I-I-3: L'économie linéaire [8].

1.3.2 La chaîne logistique

La chaîne logistique est un champ d'étude important qui a donné lieu à une littérature très abondante. Il n'y a pas une définition universelle de ce terme. C'est pour cela qu'il existe plusieurs définitions similaires qui ont été données pour définir la chaîne logistique (supply chain). Commençant tout d'abord par la logistique :

La logistique est l'activité qui a pour objet de gérer les flux physiques, et les données (informatives, douanières et financières) s'y rapportant, dans le but de mettre à disposition les ressources correspondant à des besoins (plus ou moins) déterminés en respectant les conditions économiques et légales prévues, le degré de qualité de service attendu, les conditions de sécurité et de sûreté réputées satisfaisantes [9]. Tout ça se fait sur ce qu'on appelle une chaîne où les activités sont enchaînées l'une après l'autre.

Dans l'un des livres les plus importants concernant les chaînes logistiques, Chopra et Meindl donnent la définition suivante à la chaîne logistique : « une chaîne logistique consiste en toutes les étapes impliquées directement ou indirectement dans la satisfaction de la requête d'un client. La chaîne logistique inclut non seulement le fabricant et ses fournisseurs, mais aussi les transporteurs, les centres d'entreposage, les détaillants et les clients eux-mêmes » [10].

En résumé, la chaîne logistique (supply chain) occupe une place primordiale dans le fonctionnement de l'entreprise. Elle commence du fournisseur du fournisseur et se termine au

client du client tout en passant par la fabrication et le stockage des produits en amont et en aval. Pour faire face à la concurrence, chaque entreprise donc se voit intéressée par la maîtrise de ce processus de façon à avoir toutes les informations nécessaires à la mise en place d'une politique commerciale, lui permettant de suivre la concurrence et préserver ses parts du marché.

1.3.2.1 Fonctions de la chaîne logistique

Les fonctions d'une chaîne logistique vont de l'achat des matières premières à la vente des produits finis en passant par la production, le stockage et la distribution [11].

- A. L'approvisionnement : Il est considéré comme la fonction la plus en amont de la chaîne logistique, en générale. Réduire les coûts d'approvisionnement contribue à réduire les coûts des produits finis, et donc avoir plus de marges financières. La tendance générale des relations clients/fournisseurs va vers plus de coopération via un partage d'informations plus rapide en utilisant les nouveaux systèmes d'informations basées sur les technologies de l'information et de communication.
- B. La production : Elle est située au cœur de la chaîne logistique. Elle se résume à des compétences que détient l'entreprise pour fabriquer, développer ou transformer les matières premières en produits ou services. Cette fonction montre quelle capacité à la chaîne logistique pour produire et donne ainsi un indice sur sa réactivité aux demandes fluctuantes du marché.
- C. Le stockage : Le stockage inclut toutes les quantités stockées tout au long du processus en commençant par le stock de matières premières, le stock des composants, le stock des en-cours et finalement le stock des produits finis. Il est évident que plus on a de stocks, plus la chaîne logistique est réactive aux fluctuations des demandes. Cependant, avoir des stocks engendre des coûts et des risques. La gestion des stocks est l'une des clés de la réussite et l'optimisation de toute une chaîne logistique. Une meilleure gestion de cette fonction peut engendrer des économies importantes.
- D. Distribution et transports : La fonction transport intervient tout au long de la chaîne : le transport des matières premières, le transport des composants entre les usines, le transport des composants vers les centres d'entreposage ou vers les centres de distribution, ainsi que la livraison des produits finis aux clients. Le rapport entre la réactivité de la chaîne et son efficacité peut être aussi vu par le choix du mode de transport. Si on choisit par exemple les avions, ça cout chère, mais il permet de réagir rapidement. Les trains ou les camions sont plus au moins coûteux mais moins rapides. Donc ça reste à l'entreprise à choisir les modes de transport ou bien même de les combiner pour les adapter à certaines situations selon l'importance de la demande et le gain total engendré.
- E. La vente : La fonction de vente est la dernière fonction dans une chaîne logistique. Son efficacité dépend des performances des fonctions en amont. Si l'optimisé a été très bien faite pendant les étapes précédentes, alors la tâche du personnel chargé de la vente devient plus facile, car ils seront capable d'offrir des prix plus compétitifs que la concurrence, sinon les marges seront proches et les bénéfices ne seront pas très importants, voire même engendrent des pertes.

1.3.2.2 Types de chaînes logistiques

- Chaîne logistique globale : les sites sont localisés dans différents pays. On parle alors de la chaîne logistique globale. Dans ce cas, tout ce qui est en relation avec l'importation et à l'exportation comme le taux de change, les taxes douanières, les assurances, et les législations doivent être pris en compte. De nos jours, une grande partie des chaînes logistiques sont globales, c'est une des conséquences de la globalisation. La figure suivante montre un exemple d'une chaîne logistique typique [11].

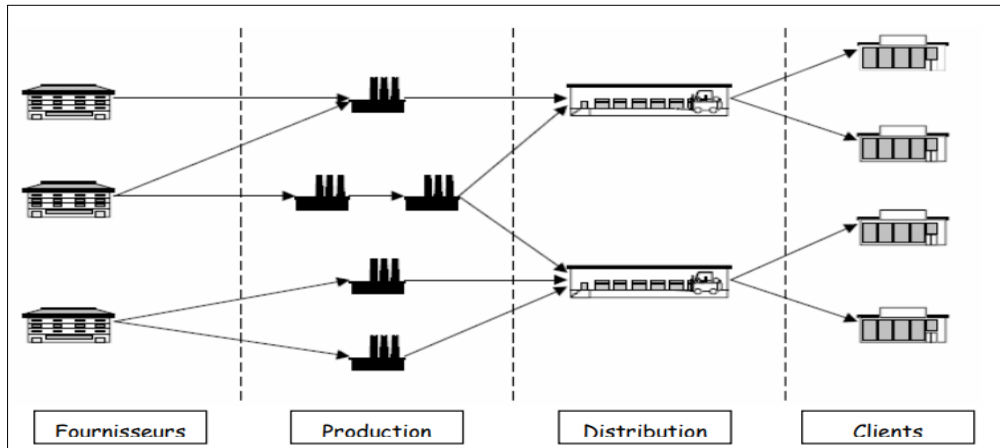


Figure I-4: chaîne logistique globale [12].

- Chaîne logistique interne : les partenaires appartiennent tous à la même entité juridique (même si l'entreprise est multi sites) alors on parle de chaîne logistique interne.



Figure I-5: chaîne logistique interne [13].

1.3.2.3 Les décisions dans la chaîne logistique

La conception d'une chaîne logistique nécessite de prendre un ensemble de décisions. Cet ensemble de décisions peut s'envisager sur trois niveaux hiérarchiques : décisions stratégiques, décisions tactiques et décisions opérationnelles.

- Les décisions stratégiques : Les décisions stratégiques définissent la politique de l'entreprise sur le long terme, une durée s'étalant souvent sur plusieurs années. Elles comprennent toutes les décisions de conception de la chaîne logistique et de ce fait, elles ont une influence importante sur la stratégie concurrentielle et donc sur la viabilité à long terme de l'entreprise. Elles sont prises normalement par la direction de l'entreprise. Nous donnons dans ce qui suit des exemples sur des décisions stratégiques :
 - Choisir les implantations des sites de production et des entrepôts. Cela inclut aussi la décision d'affecter les activités aux sites. Les décisions concernant la localisation des sites de production sont très importantes et très stratégiques car elles conditionnent les décisions de transport et de distribution.
 - Choisir les technologies utilisées dans les sites de production et d'entreposage.
- Les décisions tactiques : Les décisions tactiques sont prises sur un horizon de moins de 18 mois en général. Il s'agit de produire au moindre coût pour les demandes prévisibles avec une connaissance des ressources matérielles et humaines. Il s'agit en effet de faire la planification dépendant de la structure conçue au niveau stratégique. Nous donnons dans ce qui suit des exemples sur des décisions tactiques :
 - Obtenir les prévisions les plus fiables possibles : Les quantités à produire pour chaque produit et les quantités des matières premières nécessaires.
 - Définir la politique de transport : on doit décider si les livraisons aux clients se font de manière individuelle pour chaque client ou bien on essaye de regrouper les livraisons pour livrer le plus de clients possibles lors d'une même tournée. Cette décision dépend du mode de transport et de la quantité demandée par chaque client.
- Les décisions opérationnelles : Les décisions opérationnelles sont prises pour un horizon de très court terme pour assurer la gestion des moyens et le fonctionnement quotidien de la chaîne logistique. Dans le cadre des chaînes logistiques, les entreprises ont besoin à tout moment de prendre des décisions avec un temps de réponse très court. La réactivité de la prise des décisions opérationnelles est un élément de mesure de la performance de la chaîne logistique. Nous donnons dans ce qui suit des exemples sur des décisions opérationnelles :
 - Ordonnancement et pilotage en temps réel des systèmes de production.
 - Tournée de véhicules ou programme des livraisons qui donne les produits, la destination et les quantités à livrer.
 - Allocation des moyens de transports : ces moyens étant limités, cette allocation est basée sur le programme des livraisons.

1.3.2.4 Modélisation des chaînes logistiques

Un modèle n'est qu'une représentation simplifiée d'un système réel qui permet de l'analyser, le contrôler et le piloter. Ils sont à la base des systèmes d'aide à la décision. Nous allons voir trois types de modélisations : modèles par simulation, modèles mathématiques et modèles conceptuels [14].

- Modèles par simulation : Les modèles par simulations sont très pratiques dans le cas des systèmes où il est difficile de représenter toutes les hypothèses par des équations, et de ce fait, on ne peut pas utiliser les modèles mathématiques. Ces modèles essaient d'imiter le comportement des composants d'un modèle et donc de pouvoir faire des prévisions et des évaluations de performances. Ils ont la capacité de capturer les incertitudes et de traiter l'aspect dynamique des systèmes complexes et des systèmes à grandes échelles.
- Modèles mathématiques : Les modèles mathématiques sont très utilisés pour la conception des chaînes logistiques et pour l'optimisation des coûts. Ils consistent à modéliser un système réel par un ensemble d'équations exprimant les contraintes et les objectifs. Ces modèles mathématiques résolvent les problèmes d'optimisation.
- Modèles conceptuels : Les modèles conceptuels sont de loin les plus simples. Il s'agit en fait d'une description basique d'un système économique comme la chaîne logistique qui peut s'exprimer sous formes de diagrammes ou d'explications verbales. Le format utilisé dépend en grande partie de l'expérience du modélisateur. Dans ces modèles, il faut trouver un bon équilibre entre la précision et l'aisance de communication.

Tableau I-1: Les différences entre les trois types de modélisation

	Modèles conceptuels	Modèles mathématiques	Modèles par simulation
Représente la chaîne comme	Diagrammes et descriptions	Formules et équations	Objets et interactions
Solutions trouvées par	Raisonnement verbal	Les solveurs (comme Cplex ou Express)	Expériences (monte carlo)
Meilleure application pour	Partage de la compréhension	Performances optimales	Prévisions réalistes

La gestion de la chaîne logistique se hisse parmi les premières préoccupations des chefs d'entreprise. Il s'agit, étape par étape, d'estimer la juste valeur ajoutée à apporter au produit en fonction des attentes du client et de vos contraintes et d'être capable à proposer les meilleurs produits à un minimum coût. L'entreprise utilise sa chaîne d'approvisionnement comme un véritable avantage concurrentiel.

1.3.2.5 Gestion de la chaîne logistique

1.3.2.5.1 Définition

Mentzen et al en 2001 définissent le supply chain management comme « la coordination systémique, stratégique des fonctions opérationnelles classiques et de leurs tactiques respectives à l'intérieur d'une même entreprise et entre partenaires au sein de la chaîne logistique, dans le but d'améliorer la performance à long terme de chaque entreprise membre et de l'ensemble de la chaîne » [15].

Hugos en 2003 donne la définition suivante : « le supply chain management est la coordination de la production, du stockage, de la localisation, et des transports à travers tous les participants

à la chaîne logistique afin d'avoir la meilleure combinaison de réactivité et d'efficacité par rapport au marché desservi » [16].

La gestion de la **chaîne logistique** désigne l'ensemble des méthodes, moyens, ressources et processus destinés à gérer et à améliorer les **performances de la chaîne logistique**. L'objectif de son responsable est d'estimer son juste besoin à chaque étape, de la mise en production jusqu'à la livraison du bien au client final [17].

Toutes ces définitions ont un sens commun à savoir : le SCM¹ est le processus qui intègre toutes les fonctions de la chaîne logistique, et avec une vision globale des choses, c'est-à-dire qu'il voit le tout comme une seule entité même s'il s'agit d'une organisation hétérogène juridiquement. L'intégration de toutes ces fonctions dans le même système permet de faire une optimisation tout au long de la chaîne.

1.3.2.5.2 Les objectifs de la gestion de la chaîne logistique

Les besoins et les attentes en logistique ont évolué avec la globalisation des marchés et de la demande ainsi qu'avec les exigences croissantes de réactivité et de réduction des délais. L'application de la gestion de la chaîne logistique dans l'organisation permet une meilleure circulation des informations entre les partenaires. Pour une entreprise, c'est une garantie de réactivité, c'est l'assurance de pouvoir répondre aux attentes des clients et la possibilité de se démarquer des concurrents.

L'entreprise qui souhaite avant tout mettre en place une gestion de la chaîne d'approvisionnement souhaite améliorer sa visibilité dans la chaîne d'approvisionnement mondiale, anticiper les flux et améliorer ses opérations afin de répondre aux exigences logistiques en termes de [18] :

- ✓ Réduction des coûts et l'optimisation des délais ;
- ✓ Amélioration de la productivité ;
- ✓ Amélioration de la qualité de service et assure la satisfaction du client.

La réduction des stocks est l'un des résultats les plus tangibles de la mise en œuvre de la gestion de la chaîne d'approvisionnement. En effet, la gestion de la chaîne d'approvisionnement permet d'affiner les attentes afin qu'elles prennent mieux en compte les faits sur le terrain, modifient et relancent le plan de production pour les quantités requises et les livrent à temps et à temps aux clients. En assurant une meilleure adéquation entre l'offre et la demande, l'entreprise produit le meilleur rapport qualité-prix tout en réduisant ses parts.

1.3.2.5.3 Fonctions de la gestion de la chaîne logistique

En principe, le système de gestion de la chaîne d'approvisionnement a 04 fonctions principales [19].

¹ SCM: supply chain management.

- Collecte : SCM requiert des informations à jour (commandes soumises, prévisions et capacités disponibles) collectées à partir d'ERP², du système de gestion de la production (CAPM) et du système commercial,).
- Informations sur les processus : les outils spécialisés APS³ sont une aide essentielle pour le gestionnaire en proposant des scénarios applicables.
- Diffusion des informations en interne et en externe : les informations sont distribuées à toutes les parties prenantes internes et externes concernées. Ils ajustent leurs besoins et optimisent l'utilisation des ressources
- Mesure du rendement : le système de gestion de la chaîne d'approvisionnement fait partie de la dimension de l'amélioration continue. Le manager doit disposer d'un tableau de bord pour gérer ses performances en fonction des objectifs initialement fixés.

1.3.3 Limite de l'économie linéaire

De plus en plus de voix s'élèvent pour dénoncer les limites du modèle linéaire de notre économie. Ce constat n'est pourtant pas nouveau. Nathaniel Southgate Shaler dans son ouvrage *Man And The Earth* en 1905 ou encore Theodore Roosevelt en 1907 lors de son 7ème message annuel au Congrès, furent parmi les premiers à signaler le risque de notre système économique sur l'environnement et les ressources naturelles [20]. Après, à la demande du club de Rome, le rapport *The limit to growth*, parut en 1972, démontra les conséquences dramatiques que peut engendrer une croissance économique exponentielle dans un monde avec des ressources limitée [21]. Aujourd'hui, les dénonciations de ces limites continuent de croître ce qui a mené à l'apparition de plusieurs impacts. On cite parmi eux :

- Les impacts économiques : la surconsommation des ressources naturelles est la cause principale de la raréfaction de ces derniers. Cette consommation dans le système linéaire a conduit à l'augmentation de prix de la matière première, Lors des 10 premières années du deuxième millénaire, le prix réel de l'énergie est monté de 190% et celui des matériaux et des aliments est monté de 135% [20].

- Les impacts environnementaux : Les prévisions de l'OCDE⁴ fournies dans le rapport d'EMF⁵ en 2012 montrent que nous utilisons mondialement environ l'équivalent d'une planète et demie en ressources chaque année. Si nous continuons sur ce rythme, nous consommerons l'équivalent de trois planètes d'ici 2050 [22]. Concernant les déchets, leurs production est un problème central dans l'économie. Les industriels n'ont que très peu d'incitants financiers pour réduire la production de déchets bien que la perte des déchets représente une réelle perte de valeur. L'ADEME en 2016 révèle que tous les ans, 10 millions de tonnes de produits sont perdues ou gaspillées, d'une valeur théorique de 16 milliards d'euros.

² ERP: Enterprise Resource Planning

³ APS: Advanced Planning and Scheduling.

⁴ OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques ;

⁵ EMF : Établissement de Microfinance.

1.4 Déchet

La consommation de ressources naturelles : pétrole, gaz naturel, bois, eau, ressource alimentaire...etc. pour fabriquer un produit a fortement augmenté depuis une cinquantaine d'années à cause de nos mode de production et de consommation, ce qui a poussé notre économie de se développer de manière linéaire : extraire des ressources, produire, consommer et jeter. Le monde utilise actuellement l'équivalent de 1,7 planète pour soutenir les activités humaines. Il s'agit d'un taux insoutenable aux niveaux de consommation actuels [23]. Cela est dû à l'augmentation massive de la production pendant ces dernières années. Face à cette augmentation, les déchets poursuivent toujours leur courbe exponentielle d'où leurs impacts sur l'homme et l'environnement deviennent importants.

1.4.1 Définition

Hicks et al en 2004 précisent les définitions juridiques de référence sur le plan international du terme «déchet» [24] :

- La directive-cadre européenne relative aux déchets [25] définit les déchets comme "toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou a l'intention ou obligation de se défait".
- La Convention de Bâle⁶, qui concerne les déchets dangereux et industriels, donne la définition suivante : "Les déchets sont des substances ou objets que l'on élimine ou que l'on est tenu d'éliminer en vertu des dispositions du droit national" (UNEP 1989, article2).

Selon le Code de l'Environnement (art. L541-1), un déchet est « *tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien, meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon* » [26]. Autrement dit, tout élément qui est abandonné est un déchet.

1.4.2 Classification et types de déchets

La classification des déchets n'est pas une chose facile et universelle. Ils peuvent être classés de différentes manières selon les objectifs recherchés et selon l'intérêt des informations qui peuvent en être tirées. Bien qu'il soit clair que plusieurs classifications existent dans différents pays. Les classifications les plus couramment utilisées sont illustrées dans le tableau suivant :

⁶ La Convention de Bâle : officiellement Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination est un traité international qui a été conçu afin de réduire la circulation des déchets dangereux entre les pays.

Tableau I-2: classification des déchets

Classe	Type
État physique	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Déchets liquides ; ✓ Déchets gazeux ; ✓ Déchets solides.
La source	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Déchets ménagers / domestiques ; ✓ Déchets industriels ; ✓ Déchets agricoles ; ✓ Déchets commerciaux ; ✓ Déchets de démolition et de construction (inerte / non inerte) ; ✓ Déchets miniers ;
Impact environnemental	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Déchets dangereux ; ✓ Déchets non dangereux.

1.4.2.1 Classification selon l'état physique

Selon la nature de déchet, le guide des techniques communales pour la gestion des déchets ménagers et assimilés du ministère d'aménagement du territoire et environnement en 2003, présente une classification des déchets selon leur nature physique en 03 catégories :

- Déchets liquides : Selon l'Agence de protection de l'environnement (EPA), les déchets liquides sont définis comme tout déchet répondant à la définition d'un «liquide». Cela signifie que le matériau doit «passer à travers un filtre de 0,45 micron à une pression différentielle de 75 psi» [27]. Elles peuvent être : huiles usagés, peintures, rejet de lavage, réseaux d'eaux usées et pluviales, des fosses septiques, etc.
- Déchets gazeux : ce sont les gaz ou vapeurs produits par les anneaux de fabrication, d'incinération, qui montent dans l'air directement ou à travers les cheminées des usines. Ils peuvent être des biogaz, des fumés, etc.
- Déchets solides : un déchet solide est défini comme tout matériau mis au rebut qui est abandonné en étant éliminé, brûlé ou incinéré, recyclé ou considéré comme «semblable à un déchet». Il peut physiquement être un solide, un liquide, un semi-solide ou un conteneur de matière gazeuse. Les déchets solides comprennent les ordures, les débris de construction, les déchets commerciaux, les boues provenant des usines d'alimentation en eau ou des usines de traitement des déchets, ou des installations de contrôle de la pollution de l'air, et d'autres matériaux mis au rebut. Ils peuvent provenir d'opérations industrielles, commerciales, minières ou agricoles, et des activités domestiques et communautaires ordures ménagères [28].

1.4.2.2 Classification selon la source

- Déchets ménagers / domestiques : ceux sont des déchets dont le détenteur final ou le producteur est un ménage. Ils peuvent être classés en cinq groupes : les ordures ménagères, les encombrants (électroménager, meubles, literie, etc.), les déchets dangereux (huiles usagées, piles, peintures, solvants, pesticides), les déchets de jardin (terre, feuilles, etc.), les déchets de l'automobile (huiles de vidange, batteries, pneus, etc.) [29].
- Déchets industriels : Ngoc et Schnitzer 2009 ont décrit les déchets industriels comme des déchets produits à la suite de la transformation de matières premières pour la production de nouveaux produits. Ils ont souligné que ceux-ci pouvaient être dans des usines, des mines ou même des moulins [30].
- Déchets agricoles : Tchobanoglous 1993 ont noté que les déchets agricoles sont des déchets résultant d'activités telles que l'élevage de bétail, le semis de plantes et de la production laitière [31]. Williams 2005 [32] a signalé que les déchets agricoles comprennent des animaux fumiers, divers résidus de récolte et effluents d'ensilage. Les déchets agricoles sont, pour la plupart réutilisables dans l'énergie et secteur industriel.
- Déchets commerciaux : Les déchets commerciaux sont des déchets produits à la suite d'activités dans les magasins, restaurants, marchés, bureaux, hôtels, motels, imprimeries, stations-service, ateliers de réparation automobile entre autres [31].
- Déchets de démolition et de construction : font partie des déchets du bâtiment et des travaux publics qui sont tout déchet provenant du même secteur. Ils peuvent être : des déchets inertes comme les briques, les tuiles, les céramiques, la pierre, les bétons, ou bien des déchets non dangereux non inertes comme : le bois, le plâtre, les terres humiques, etc. voire des déchets dangereux par exemple déchets amiantés, plomb, , goudrons etc. [33].
- Déchets miniers : ceux sont des sous-produits miniers de deux types :
 - Les déchets d'extraction minière et d'extraction en carrière qui sont des sols stériles retirés des sites d'extraction et de carrière pendant la préparation de l'exploitation minière et de l'exploitation en carrière et qui n'entrent pas dans les processus de dressage et d'enrichissement.
 - Les déchets de traitement et d'enrichissement des mines et des carrières qui sont obtenus au cours du processus de séparation des minéraux des minerais et d'autres matériaux extraits au cours des activités d'extraction et d'exploitation en carrière [34].

1.4.2.3 Classification selon l'impact environnemental

- Déchet dangereux : un déchet dangereux est un déchet dont les propriétés le rendent potentiellement dangereux ou nocif pour l'homme ou l'environnement. L'univers des déchets dangereux est vaste et diversifié. Les déchets dangereux peuvent être des liquides, des solides ou des gaz contenus. Ils peuvent être les sous-produits de la fabrication, les matériaux usagés jetés ou les produits commerciaux non utilisés jetés, tels que le nettoyage fluides (solvants) ou pesticides. En termes réglementaires, un déchet dangereux est un déchet qui présente l'une des quatre caractéristiques d'un déchet dangereux : inflammabilité, corrosivité, réactivité ou toxicité [35].

- Déchets non dangereux : les déchets non dangereux sont tous les déchets qui ne causent aucun dommage aux personnes ou à l'environnement. Les réglementations relatives à l'élimination des déchets non dangereux sont moins strictes. Ces déchets comprennent les déchets ou le recyclage ne nuisent pas à la santé humaine ou environnementale. Cela peut inclure les déchets ménagers généraux comme les déchets alimentaires, et les déchets commerciaux, y compris ceux qui proviennent de sources industrielles ou agricoles. Les déchets peuvent être offensants mais pas dangereux [36].

1.5 Chaîne logistique dans le cadre de l'économie circulaire

L'industrie manufacturière est un grand consommateur de ressources matérielles et énergétiques générant une quantité importante de déchets [37]. Par conséquent, la récupération des ressources est considérée comme l'un des aspects importants de la gestion des déchets [38]. Les économies développées se sont donc engagées à promouvoir la soi-disant « économie circulaire » comme notre avenir commun nécessaire.

1.5.1 L'économie circulaire

1.5.2 Définition

Aujourd'hui, il n'existe pas de définition « normalisée » du concept d'économie circulaire. La définition ci-dessous, concise, constitue une définition spécifique à l'ADEME⁷ et une autre pour *François Michel Lambert* :

Le concept est apparu dans les années 1970, selon l'ADEME, " *l'économie circulaire est un système économique d'échange et de production visant à accroître l'utilisation efficace des ressources et à réduire notre impact sur l'environnement. Il est lié à séparer la consommation des ressources de la croissance du PIB⁸ avec Veiller à réduire les impacts environnementaux et à accroître le bien-être.* " [39].

Selon François Michel Lambert, président de l'Institut d'économie circulaire : "*L'économie circulaire suggère en effet de convertir les déchets en matières premières pour les réutiliser pour la conception de produits ou d'autres usages. Les systèmes industriels et naturels n'absorbent pas, la boucle est bouclée, ce qui représente clairement un gain majeur dans la compétitivité des industries qui contrôlent Dans le flux des matières premières*".

1.5.3 Les 7 piliers de l'économie circulaire

L'économie circulaire comprend de nombreux secteurs d'activité et peut s'exprimer à travers sept logiques complémentaires de production et de consommation [40] :

⁷ ADEME : Agence nationale pour la gestion de l'environnement et de l'énergie ;

⁸ PIB : produit intérieur brut

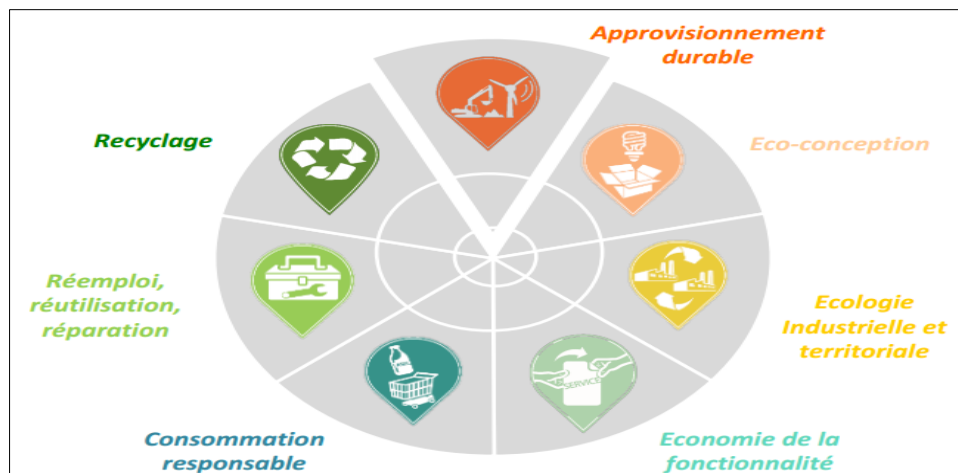


Figure I-6 : Les 7 différentes pratiques qui fondent l'économie circulaire [41].

- Approvisionnement durable : Développer et mettre en œuvre une politique d'approvisionnement responsable (sélection des fournisseurs en fonction des normes environnementales, accompagnement des fournisseurs dans l'amélioration de leurs pratiques, etc.).
- Écoconception : c'est une approche qui consiste à limiter les impacts environnementaux d'un produit ou service, dès la conception, tout au long de son cycle de vie.
- Écologie industrielle et territoriale : trouver une synergie entre l'industrie environnementale à travers le domaine d'activité ; par exemple les déchets d'une entreprise peuvent devenir des ressources pour une autre entreprise.
- Économie de la fonctionnalité : c'est une forme d'économie coopérative qui préfère utiliser la possession plutôt que de vendre des services liés aux produits plutôt que des produits eux-mêmes ; Par exemple, Xerox a décidé pendant de nombreuses années de ne plus vendre de copieurs, mais de le mettre à la disposition de ses clients pour une facturation basée sur l'utilisation. Il est resté propriétaire des appareils, et a été repensé sur le principe du «démontage, réparable, récupération» afin que les nouvelles générations de machines représentent aujourd'hui 70 à 90% des composants des anciennes machines. Cela génère des gains environnementaux importants qui se traduisent par d'importants gains financiers (gains nets supérieurs à 250 millions de dollars par an).
- Consommation responsable : c'est une méthode de consommation qui prend en compte les normes de développement durable, c'est-à-dire une consommation respectueuse de l'environnement, bénéfique pour le côté économique, bonne pour la santé, mais aussi positive pour la société. En termes de nourriture, il est probable que le «consommateur responsable» soit le consommateur qui essaie d'éviter au maximum de gaspiller de la nourriture, et préfère consommer plus de sa nourriture de manière écologique (en choisissant des aliments moins polluants), qui préfère les bons produits de la planète, mais aussi les circuits courts.
- Allongement de la durée d'usage : par le recours au : réemploi qui est considéré comme un nouvel emploi d'un produit pour un usage analogue à celui de sa première utilisation. C'est, en quelque sorte, prolonger la durée de vie du produit avant qu'il ne devienne un déchet, par la réparation et le remanufacturing...etc. qui sont expliqués ultérieurement.

- Recyclage : le recyclage est un ensemble de technologies de transfert de déchets après valorisation, visant à les réintroduire en tout ou partie dans un nouveau cycle de production.

1.5.4 Les enjeux de l'économie circulaire

Contrairement à l'économie linéaire classique, qui produit de la richesse sans se soucier de la conservation des ressources, l'économie circulaire apporte sa réponse aux défis du monde de demain [42].

- Avantages environnementaux :
 - Réduire la consommation de ressources telles que les matières premières, l'eau, l'énergie, etc., en réduisant les déchets,
 - Lutter contre le réchauffement climatique, c'est-à-dire réduire les émissions de gaz à effet de serre.
- Avantages socio-économiques :
 - Création de meilleur champ de compétitivité par la réduction et la rationalisation des dépenses d'échelle des entreprises.
 - Sécurité relative des besoins en matières premières.
 - Opportunités de développement sur de nouveaux secteurs d'activité (recyclage, innovations techniques...).
 - Créations d'emplois induites.
 - Responsabilisation des entités de production, en harmonie avec celle des citoyens/consommateurs...

1.5.5 Chaîne logistique inverse

1.5.5.1 Définition

La logistique des retours est l'ensemble des activités mises en œuvre pour réaliser le flux inverse des marchandises, partant du consommateur jusqu'à l'entrepôt de l'unité commerciale ou du fabricant. Elle est aussi connue sous les différentes appellations suivantes : « Reverse Logistics », « logistique à rebours », « logistique inverse » ou « rétrologistique ». Contrairement à la livraison de produits auprès d'un client, la logistique des retours consiste à gérer les flux du consommateur vers le fabricant [43].

La fusion des deux chaînes logistiques classique et inverse forme la chaîne logistique en boucle fermée. Cette composition de chaîne logistique est définie par Guide et Van Wassenhave en 2009 comme étant " la conception, le contrôle et l'exploitation d'un système afin de maximiser la création de la valeur durant le cycle de vie complet d'un produit avec la récupération dynamique de la valeur des différents types et volumes de récupération dans le temps " [44]. Ainsi, la chaîne logistique en boucle fermée est une chaîne logistique classique avec la reprise des produits auprès des clients et la récupération de la valeur ajoutée par la réutilisation de la totalité du produit, ou certains de ses modules, composants et pièces. La figure 8 illustre le schéma type d'une chaîne logistique en boucle fermée.

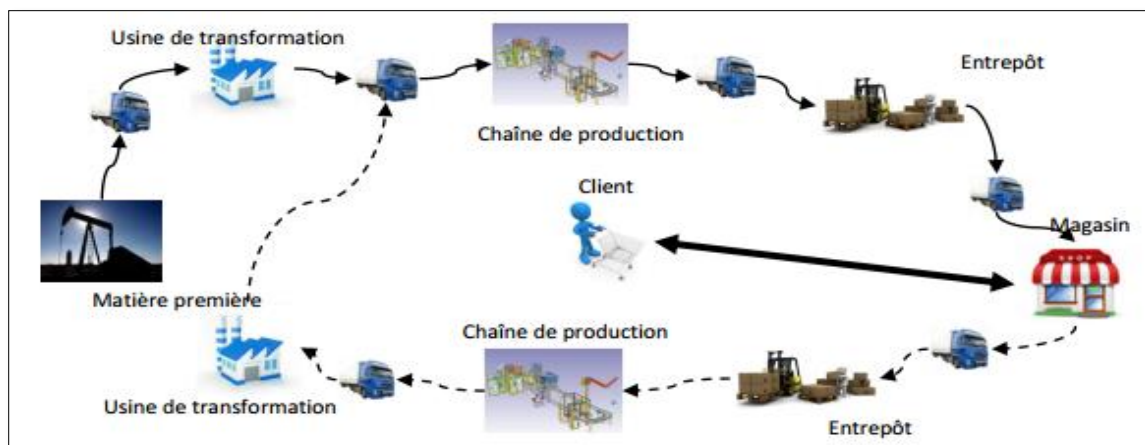


Figure I-7: chaîne logistique en boucle fermée.

1.5.5.2 Les types de retours

Les retours logistiques concernent :

- Retour de marchandise en raison de ventes médiocres (journaux invendus, livres, anciens articles, restes promotionnels, produits périmés, anciens produits ...)
- Retour des marchandises en raison d'erreurs de commande ou de rappel du produit défectueux par le produit ;
- Retour des stocks saisonniers excédentaires : le manque de stockage accumulé signifie que de nouveaux produits peuvent être mis sur le marché et que les anciens produits peuvent être recyclés pour la revente.
- Retour des produits pour les défauts ;
- Retour des équipements obsolètes, en fin de vie et des matériaux dangereux et / ou provoquer des risques environnementaux.

Ce processus, qui vise principalement à assurer le retour des marchandises, peut être initié par le consommateur ou le fabricant :

- Retour préparé par les consommateurs pour la réparation ou le remplacement ;
- Le retour créé par l'entreprise pour assurer :
 - ✓ La réutilisation pure (emballage, par exemple : palettes, cartons, bouteilles, conteneurs, etc.) ;
 - ✓ La restauration (réparation, reconditionnement, remontage, cannibalisme ou recyclage) des produits et composants à remettre sur le marché (vente d'occasion, don de bienfaisance) ;
 - ✓ Traitement des déchets de production, les eaux usées, les huiles usées ... qui reste un sujet important en logistique industrielle. Tous les produits retournés n'appartiennent

pas nécessairement au fabricant. Ils peuvent être directement acheminés vers un partenaire qui s'en occupera ou retournera au cycle de production.

1.5.6 Chaîne logistique verte

Le secteur de la logistique s'est fortement développé ces dernières années et est devenu aujourd'hui une activité majeure de régulation économique. Ce développement rapide de la logistique intervient à un moment où les préoccupations environnementales deviennent plus visibles et les effets de l'activité humaine de plus en plus nombreux. Il est important que les acteurs de la supply chain s'inscrivent dans une démarche progressive et continue de développement durable, notamment en alignant leurs méthodes et processus sur des pratiques logistiques vertes.

1.5.6.1 Définition

La littérature contient de nombreuses définitions de « la gestion de la chaîne logistique verte ». Ces définitions varient d'un achat vert jusqu'à une chaîne logistique intégrée en boucle fermée. Wu et Dunn 1995 mentionnent que la logistique verte est plus que la logistique inverse car elle cherche à économiser les ressources, à éliminer les déchets et à améliorer la productivité [45]. Hart 1997 indique que la logistique verte doit avoir la plus petite empreinte environnementale [46].

Beamon 1999 a défini la chaîne logistique verte comme étant l'extension de la chaîne logistique traditionnelle pour y inclure des activités qui cherchent à minimiser les impacts environnementaux d'un produit tout au long de son cycle de vie, tels que l'écoconception, l'économie des ressources, la réduction des matières dangereuses, la réutilisation et le recyclage des produits [47].

Selon Hervani, Helms et Sarkis 2005, la chaîne logistique verte comprend l'achat vert, la fabrication écologique, la distribution/marketing verte et la logistique inverse [48].

En résumé, la chaîne logistique verte se définit comme étant une démarche visant à réduire l'empreinte environnementale d'un produit, et ce, tout au long de son cycle de vie. Le niveau d'intérêt pour cette démarche devient de plus en plus important et les entreprises sont de plus en plus préoccupées par les questions environnementales. Cette préoccupation est motivée par les principaux facteurs suivants :

- La conformité aux réglementations gouvernementales qui deviennent de plus en plus strictes à l'égard de l'environnement ;
- La hausse des coûts logistiques ;
- L'accès au marché qui devient restreint dans le cas où l'entreprise ne prend pas le virage vert ;
- L'amélioration de l'image de l'entreprise et l'obtention d'un avantage concurrentiel.

1.5.6.2 Maillons d'application

La pensée verte peut s'appliquer au niveau de tous les maillons de la chaîne logistique, depuis l'approvisionnement jusqu'à la distribution. Voici quelques exemples [18] :

- **Production** : la modification des processus de production et l'investissement dans des technologies propres (matériaux et équipements de fabrication moins polluants) sont susceptibles de permettre la réduction de la pollution au niveau de la production.
- **Emballage** : à ce stade, on parle principalement de la réduction de produits d'emballage utilisés, de leur réutilisation, de la réduction de leur taille. Le choix des emballages et la favorisation des emballages plus verts, avec plus de matière recyclée, constituent également une nouvelle tendance dans ce domaine.
- **Distribution et Transport** : C'est sans doute le volet où la démarche de chaîne logistique verte est la plus appliquée. En effet, les entreprises veillent de plus en plus à optimiser le transport notamment à travers la réduction des distances parcourues, le nombre de déplacements et les retours à vide. Ceci est rendu possible par l'analyse du réseau de transport et l'optimisation des tournées de véhicules. Outre ces mesures, les entreprises ont tendance à faire appel à des moyens de transport moins polluants notamment par le recours au transport combiné.

1.6 Politiques de gestion de déchet

Au cours des dernières décennies, avec le développement du changement climatique et l'augmentation de la pollution, il y a eu une préoccupation croissante mondiale sur l'environnement, assortie à des législations plus strictes pour contrôler l'impact écologique des produits humains par leur utilisation et de fabrication. Les entreprises de production intègrent des stratégies de fabrication durable et de fin de vie pour répondre aux règlements, et attirent maintenant les consommateurs soucieux de l'environnement. Outre le recyclage, la réparation et le remanufacturing est une autre stratégie où un produit utilisé est apporté, à travers une série de processus industrialisés, en l'offrant un autre cycle de vie. Dans ce qui suit, nous présentons les différentes politiques qui existent :

1.6.1 Allongement de la durée d'usage

1.6.1.1 La réparation

La réparation consiste à rectifier les défaillances d'un produit retourné afin de le remettre à un état de fonctionnement, ce qui permet de prolonger sa durée de vie. Ce type de récupération nécessite un niveau de désassemblage limité puisque seulement les pièces défectueuses doivent être réparées ou remplacées au niveau des centres de distribution ou des points de vente [49].

1.6.1.2 La réutilisation

La réutilisation consiste à **intervenir sur les déchets pour les introduire, en entier ou sous forme de pièces détachées, dans un autre circuit** ou une autre filière économique [50]. Les produits destinés à une réutilisation directe nécessitent seulement une inspection, un nettoyage et parfois une maintenance mineure. Généralement, les produits de cette classe conservent leur condition initiale et ils peuvent être directement revendus par les détaillants [49].

1.6.1.3 La rénovation

La rénovation est un procédé qui consiste à faire une inspection complète de tous les organes, une reprise dimensionnelle complète ou un remplacement des pièces déformées, une

vérification des caractéristiques et éventuellement une réparation des pièces et sous-ensembles défectueux et une conservation des pièces bonnes [51].

1.6.1.4 Le reconditionnement

C'est l'entretien, le réajustement et le recalibrage d'équipements ou d'instruments pour les amener à un niveau opérationnel quasi-neuf ou d'origine. Autrement dit, le reconditionnement est un procédé qui doit comprendre la vérification et le réglage des fonctions du système en vue de leur mise en conformité avec les tolérances spécifiées [52].

1.6.1.5 Refurbishment

Le Refurbishment est un terme utilisé pour décrire une gamme de processus, de l'exécution de quelques tests simples à une reconstruction complète. La plupart des produits qui subissent ce traitement ont été vendus, peu ou même pas du tout utilisés, puis retournés au fabricant ou à un vendeur pour diverses raisons. Une fois qu'un article est ouvert, il ne peut être légalement vendu comme un nouveau produit, donc ils doivent être normalement nettoyés, testés puis emballés dans de nouvelles boîtes avant d'être vendus [53].

1.6.1.6 Cannibalisation

La cannibalisation est la suppression de composants pour une réutilisation, rendant l'unité parente inutilisable, peut-être seulement temporairement ou définitivement, afin de permettre au périphérique destinataire de fonctionner à nouveau correctement [54]. La cannibalisation des pièces de machines, dans la maintenance de systèmes mécaniques ou électroniques à pièces interchangeables, fait référence à la pratique de retirer les pièces ou sous-systèmes nécessaires à la réparation d'un autre appareil similaire, plutôt que de l'inventaire. Elle est généralement due à l'indisponibilité des pièces de rechange, en raison d'une urgence, de longs délais de réapprovisionnement, d'une distance physique ou d'une planification ou d'un budget insuffisant.

1.6.1.7 La remise à neuf

La remise à neuf est un procédé industriel permettant de remettre les produits utilisés à un état comme neuf ou plus. A travers une série de processus dans un environnement industriel, un produit utilisé peut être retourné à des spécifications de performance au moins égale à celle d'un produit neuf avec une garantie qui est au moins égale à celle d'un produit neuf.

1.6.2 Valorisation de déchet

La valorisation des déchets permet d'obtenir à partir de déchet de l'énergie quand on les incinère (valorisation énergétique), un autre produit quand on les recycle (valorisation matière).

1.6.2.1 Le recyclage

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets qui consiste à réutiliser les matériaux existant dans les déchets pour la production de nouveaux produits. La finalité du recyclage est d'extraire le maximum de minéraux qui deviendra de la matière première secondaire. Cette technique permet de réduire les volumes des déchets, et donc leur pollution, et de préserver les ressources naturelles au travers de leur réutilisation [55].

1.6.2.2 Incinération énergétique

L'incinération sert à la gestion des déchets comme un moyen de traiter les déchets par un brûlage contrôlé. L'objectif de l'incinération énergétique des déchets, comme la plupart des traitements de déchets, est de les traiter de manière à réduire leur volume et leur danger, tout en captant ou en détruisant des substances potentiellement nocives [56]. Elle permet de récupérer de l'énergie sous forme de chaleur qui est utilisée en l'état ou bien pour générer de l'électricité. Autrement dit, elle consiste à exploiter le gisement d'énergie que contiennent les déchets.

1.6.3 Elimination de déchet

Avant d'entamer cette partie, il est préférable de commencer par définir qu'est-ce qu'un déchet ultime ? Ceux sont des déchets qui ne sont plus valorisables, ni par recyclage, ni par valorisation énergétique. Selon l'article L 541-1 du Code de l'Environnement, le déchet ultime est défini comme un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux. Ce type de déchet doit être inertes ou enfouis.

1.6.3.1 Inertage

L'inertage consiste à supprimer le risque de phénomène accidentel causé par un ou plusieurs produits réactifs mal confinés [57], soit par :

- Une solidification qui consiste à transformer le déchet en une forme stable et durable possédant certaines propriétés physiques, qui permettent de le stocker, de le mettre en décharge ou de l'utiliser ;
- ou par la stabilisation par la faite de fixer chimiquement ou physiquement les contaminants du déchet en diminuant leur mobilité pour éviter leur dispersion et donc le risque qu'ils contaminent l'environnement.

1.6.3.2 Enfouissement

Une décharge est un site d'élimination des déchets en les enfouissant dans le sol. Les déchets enfouis sont également des matériaux qui ont été éliminés dans le sol mais qui ne sont pas aussi gros ou réglementés qu'une décharge. Une bonne partie des déchets peut se décomposer dans le sol mais certains peuvent être nocifs. Les déchets enfouis sont généralement confinés dans une zone aussi petite que possible, puis compactés pour réduire le volume occupé par les déchets. Dans les décharges, les déchets sont généralement recouverts de couches de sol pour briser le volume et permettre la décomposition des matériaux [58].

1.7 Le remanufacturing comme une politique optimale pour la valorisation des déchets

Étant donné que l'industrie a consommé de manière excessive les ressources et l'énergie de la terre et a généré une grande quantité de pollution pour l'environnement, les gouvernements ont légiféré plusieurs lois et règles pour exercer une pression juridique ou financière sur les entreprises industrielles afin qu'elles changent la situation actuelle. Pour cela, les politiques de

gestion de déchet cités précédemment sont apparus. La question qui se pose est : qu'elle est la stratégie qui donne le meilleur compromis entre son impact sur l'environnement, sur l'économie et qui assure la bonne valorisation du produit périmé ?

La stratégie de réutilisation utilise le produit en fin de vie avec peu ou pas de traitements. La stratégie de recyclage prend le produit en fin de vie comme matériau principal. Un équipement reconditionné est une unité qui a été démontée, nettoyée et qui peut avoir eu des composants endommagés remplacés avant d'être reconstruite. La même chose pour la réparation où seulement les éléments défectueux vont être réparé, en revanche la stratégie de remise à neuf est un processus plus approfondi qui porte le produit utilisé comme «Noyau», et dans laquelle l'équipement utilisée pourrait être réparé comme le nouveau voire même plus [59].

Cependant, en plus des limites du reconditionnement et de la réparation qui rendent le produit à ses spécifications initiales et plus, de la pollution et la consommation d'énergie dans les processus d'extraction des matériaux (tels que la séparation, la fusion, etc.) pendant le recyclage qui sont très importants, le remanufacturing pourrait bien être la meilleure stratégie. La remise à neuf permet de maintenir l'énergie intrinsèque de la production vierge, préserve la «valeur ajoutée» conservée du produit pour le fabricant et permet aux produits résultants d'être vendus «comme neufs» ou restaurés avec des fonctionnalités mises à jour si nécessaire [60].

De plus à ses avantages par rapport aux autres stratégies de valorisation, la remise à neuf a le potentiel d'être assez rentable pour un fabricant d'équipement d'origine (OEM). Dans l'étude de Sutherland, l'utilisation d'énergie pour la remise à neuf des composants d'un moteur diesel à six cylindres ne représente que 10,22% de l'énergie nécessaire pour créer de nouveaux composants [61].

1.7.1 Définition de la remise à neuf

Une autre définition dit que le remanufacturing est un procédé qui permet de revitaliser un équipement ancien. Il utilise un équipement ancien comme noyau, et fait une nouvelle fabrication sur la base d'un équipement original. Ce procédé dépend de la performance de l'équipement au moment de sa mise en arrêt. Cela va de la réparation où les pièces visiblement défectueuses sont remplacées jusqu'à une remise à neuf plus approfondie où l'équipement de production est complètement désassemblé. Les pièces et les composants sont ensuite récupérés ou remplacés dans le but d'amener l'équipement remis à neuf à un niveau qui satisfait ou dépasse les normes d'un nouvel équipement [62].

1.7.2 Avantages de la remise à neuf

L'industrie de la remise à neuf deviendra une industrie importante qui comprend de nombreux secteurs du marché et offre d'importants avantages économiques, sociétaux et environnementaux :

- pour les remanufacturiers [63] :

- ✓ Emplois locaux : les activités de remise à neuf se déroulent généralement à proximité du marché. Par conséquent, même si un produit peut avoir été initialement fabriqué à l'étranger, la remise à neuf offre la possibilité de créer des emplois locaux ;

- ✓ La plupart des remanufacturiers sont de petites sociétés tierces orientées vers l'ingénierie et ne comptent que quelques employés. Ces entreprises doivent réagir aux opportunités de remise à neuf de produits et de composants qui sont contrôlées par les conceptions originales des OEM. La promotion de produits conçus pour la remise à neuf peut augmenter le niveau d'activité de démarrage d'entreprise en augmentant les possibilités de remise à neuf.
- ✓ Marges bénéficiaires plus élevées : les produits remanufacturés ont souvent des marges bénéficiaires plus élevées que pour la fabrication traditionnelle. Dans l'étude de XU, en comparant les produits remis à neuf et les produits virginaux, la consommation d'énergie dans le remanufacturing est inférieure de 50% à celle de la production manufacturière. La consommation de main-d'œuvre est de 67% et la consommation de matières premières n'est que de 11,1% - 20% de la production manufacturière [64].
- ✓ Nouvelles techniques de fabrication : l'application de diverses technologies visant à restaurer des composants usés et endommagés pour leur redonner des performances fonctionnelles identiques à celles de produits neufs.

- Pour le consommateur [63] :

- ✓ Prix plus bas : les produits reconditionnés représentent généralement 60 à 80% du coût d'un nouveau produit en raison des économies réalisées grâce à la récupération des matériaux et du contenu énergétique du produit, avec des performances et une fiabilité identiques à celles des pièces neuves ;
- ✓ Disponibilité : pour les produits fabriqués sur commande, un produit remanufacturé peut être disponible avec un délai d'exécution plus court. De plus, la remise à neuf peut permettre au client de continuer à utiliser du matériel, qui ne peut plus être fabriqué ;
- ✓ Flexibilité d'achat : comme les remanufacturiers ont un réel intérêt à savoir où se trouvent leurs produits et à les récupérer, ils peuvent offrir à leurs clients une gamme de services offrant plus qu'une simple vente.

- Pour l'environnement :

La remise à neuf a des conséquences environnementales positives inhérentes. Une grande quantité d'impacts environnementaux, générés par l'extraction de matériaux et la production d'énergie, tels que les émissions de CO₂ [65], ont été réduits pour protéger l'environnement et la santé humaine.

La remise à neuf utilise généralement 85% moins d'énergie que la fabrication [66]. Des études réalisées à l'Institut Fraunhofer de Stuttgart, en Allemagne, estiment que les économies d'énergie grâce à la remise à neuf dans le monde est équivalent à l'électricité produite par 5 centrales nucléaires. Cela correspond à 10 744 000 barils de pétrole brut ou à une flotte de 233 pétroliers par an, en nécessitant beaucoup moins d'énergie que la fabrication elle-même.

Grâce à la réutilisation des ressources, la remise à neuf entraîne une réduction des décharges, de la pollution et de l'utilisation des ressources naturelles, ce qui peut préserver la qualité de l'environnement naturel et bâti. L'Institut Fraunhofer a déterminé que les matières premières

économisées grâce à la remise à neuf dans le monde en un an rempliraient 155 000 wagons formant un train de 1 100 miles de long.

La pollution de l'air est réduite par la remise à neuf de produits qui auraient dû être refondus ou retraités d'une autre manière lors de la fabrication. CIEH⁹ déclare que les processus industriels tels que la fusion et le traitement des métaux nécessitent que des mélanges de carburant à base d'huile et de solvants soient brûlés, libérant des particules fines mesurant 2,5µ ou moins (PM2,5s), qui ont été liées à un certain nombre de maladies en raison de leur capacité à pénétrer profondément dans les poumons. Au cours des 10 dernières années, les experts affirment que les PM2,5s ont augmenté «astronomiquement» au Royaume-Uni [67].

Les avantages cumulatifs de la remise à neuf des économies d'énergie et de matériaux, des décharges et de la réduction de la pollution placent la remise à neuf comme un contributeur majeur au développement durable.

1.7.3 Processus de remise à neuf

Le processus de remanufacturing lui-même est organisé comme un processus industriel, et existe principalement dans un environnement de fabrication afin qu'il puisse bénéficier des avantages de la production en volume. Des contrôles constants au niveau de la qualité devraient en faire partie, et tous les efforts sont faits pour intégrer la rationalisation des processus utilisés.

- Démontage : Au cours de ce processus, l'article serait démonté à des modules, qui sont ensuite démontés à des composants individuels. Ce processus implique généralement des outils à usage général tels que la perceuse électrique, etc., bien que parfois des bras de robot puissent être nécessaires pour le démontage de produits utilisés complexes ou de pièces dangereuses.
- Inspection et identification des défauts : Au cours de cette étape, les pièces sont inspectées afin d'évaluer leur état en s'assurant que chaque pièce est exempte de dommages structurels.
- Nettoyage : Après le démontage, chaque pièce entre dans un processus de nettoyage en profondeur qui comprend un lavage convenable (dégraissage). Si nécessaire, les procédés de grenaillage sont utilisés pour atteindre les normes d'apparence de surface souhaitées. Tous les matériaux utilisés dans les processus de nettoyage doit être respectueux de l'environnement et biodégradables.
- Tri : Les composants sont classés soit comme pièces en bon état ou destiné à la remis à neuf soit elles doivent être recyclés.
- Préparation des composants (remise à neuf) : Cette étape implique la réparation des pièces réparables dans le but de les restaurer dans leur état d'origine.
- Assemblage : Dans le processus de remontage, la pièce est assemblée en utilisant généralement des outils à usage général pour le réassemblage des composants constitutifs en produits remis à neuf avec une structure simple. Cependant, il peut parfois être nécessaire

⁹ CIEH : Le Chartered Institute of Environmental Health ;

d'utiliser des bras de robot pour le réassemblage des composants constitutifs avec une structure complexe.

- Contrôle : 100% de tous les produits fabriqués sont testés avec les outils convenables pour assurer un bon fonctionnement et que l'appareil est exempt de fuites. Les données de test sont collectées et conservées pour chaque unité et peuvent être rappelées en cas de réclamation de garantie. Chaque pièce est marquée de manière unique par un identificateur spécifique indiquant l'exécution de la production, la date de production et le technicien d'assemblage.

1.7.4 Types d'opérations de la remise à neuf

Le noyau remis à neuf doit être idéalement exempt de tout dommage de sa phase d'utilisation précédente, ainsi que des effets secondaires des processus de reconditionnement. Par conséquent, en sélectionnant la séquence de processus, les effets secondaires de chaque étape sur la partie doivent être pris en considération pour éviter de retravailler. Par conséquent, les types de processus de reconditionnement peuvent être classés en cinq catégories principales comme suit :

- a) Enlever les défauts de surface et de forme, tels que les fissures, les rayures, les entailles et les bavures, les régions brûlées ou corrodées. Les inclusions sont enlevées par des procédés d'usinage comme le tournage, le fraisage, le forage. La finition et les tolérances de surface ne sont pas de première priorité, mais plutôt la suppression de tous les collecteurs de stress. Toutefois, si une pièce est en bon état et n'a pas besoin d'être traitée encore, l'usinage avec la qualité de surface finale peut être effectué s'il est techniquement possible. Lorsque les défauts de surface tels que les fissures sont profonds, le matériau autour du défaut est arraché si le remplissage d'une telle découpe n'affecte pas la force et les exigences de sécurité de la pièce. Les défauts de forme, tels que les courbes ..., sont également supprimés si techniquement faisable.
- b) L'addition de surface ou le remplacement de surface d'une pièce avec des cavités de la taille peut être restaurée à sa forme et dimension brute grâce à des procédés d'additifs matériels, tels que le soudage, le revêtement en poudre, le revêtement laser. Selon les exigences et la nature de la surface, la méthode appropriée est sélectionnée. En raison de l'application de la température élevée, le préchauffage est nécessaire pour éviter la fissuration. Des rainures de secours peuvent être appliquées si nécessaire. Dans certains cas, des inserts et des manches peuvent être utilisés pour fournir de nouvelles surfaces. Cette approche est employée dans les cas où la condition de surface/matière requise ne peut pas être restaurée par les processus normaux de conditionnement, et fournissant ainsi une nouvelle surface. Ce traitement serait plus pratique et offrirait de meilleures performances. Le processus de finition est appliqué par la suite aux inserts pour correspondre aux spécifications.
- c) Restaurer : les propriétés matérielles souhaitées sont restaurées grâce à des processus de conditionnement, tels que le traitement thermique, qui soit enlever les conditions résiduelles indésirables (recuit, normalisation,...etc.) ou de préparer la pièce pour être plus résistant à sa charge et l'état de fonctionnement de l'environnement. Ce traitement peut être appliqué

soit sur tout le matériel ou jusqu'à une couche au-dessous de la surface, comme dans le cas durcissement (carburateur, durcissement d'induction,).

- d) Manipulation d'assemblage et de fixation : Dans le cas des sous-assemblages avec de nombreuses parties constituantes, la manipulation de l'assemblage est nécessaire lorsque les pièces sont assemblées. Une telle manipulation peut altérer les dimensions qui nécessitent des tolérances spécifiques et les amener à être hors de dimensions.
- e) Finition superficielle de la surface où une finition de haute qualité finale ou tolérances dimensionnelles sont exigées, peuvent être obtenues en utilisant des processus, tels que le broyage, le rodage, le tournant dur, et le brûlage. Dans d'autres types de surfaces, la peinture, le revêtement, le polissage et les opérations similaires pertinentes à la pièce sont exécutés. Cette étape est exécutée en dernier parce que tout processus ultérieur affectera la qualité de la surface.

1.7.5 Paramètres de remise à neuf réussie

En théorie, tout produit pouvant être fabriqué peut-être remise à neuf, mais la conception du modèle commercial de certains produits et leur conception détaillée permettent à certains produits d'être remis à neuf de manière plus rentable que d'autres.

1.7.5.1 Paramètres du produit

Les critères requis pour qu'un produit soit correctement remis à neuf et vendu sont décrits par William Hauser et Robert Lund sur la base de 25 années de recherche dans le secteur du remanufacturing :

- La technologie existe pour restaurer le produit : la technologie doit pouvoir extraire un composant sans l'endommager [68] ; par exemple la conception en tenant compte le démontage permet le retrait des pièces sans l'endommager et peut donc réduire le processus de réparation et les exigences pour les nouvelles pièces de rechange ;
- Le produit est composé de pièces standard interchangeables : les pièces interchangeables sont des parties (composants) qui sont, à des fins pratiques, identiques. Ils sont faits pour les spécifications qui assurent qu'ils sont si presque identiques qu'ils seront insérés dans l'assemblage du même type. Une telle partie peut librement remplacer une autre, sans ajustement personnalisé. Cette interchangeabilité permet un montage facile de nouveaux appareils et de réparation plus facile des dispositifs existants, tout en réduisant le temps et les compétences requises de la personne qui effectue l'assemblage ou la réparation [69] ;
- La technologie du produit est stable sur plusieurs cycles de vie où la demande est influencée par les réalités technologiques. Dans ce contexte, les produits ont un cycle de vie long, sur plusieurs années ;
- Demande suffisante du marché pour soutenir l'entreprise.

1.7.5.2 Paramètres de conception

Nasr et Thurston ont établi l'impératif de relier la conception et le remanufacturing, affirmant que les avantages sociétaux de la transformation (réduction de la consommation d'énergie et de

matériaux et de déchets) ne peuvent être atteints que si la conception de remanufacturing devient partie intégrante du développement du produit /processus [68].

La remise à neuf commence par le noyau et tout le noyau est conçu avant la fabrication. La forme, le matériau, les fixations, etc. sont des composants qui peuvent tous affecter la facilité avec laquelle un produit subit les différentes étapes de la remise à neuf, par ex. démontage ou nettoyage. Par conséquent, la conception de remanufacturing a un rôle clair à jouer dans l'amélioration de l'efficacité de la remise à neuf.

Contrairement aux pratiques actuellement suivies dans les technologies de la remise à neuf, le développement de produits ayant une capacité de remanufacturing plus élevée réduirait les besoins énergétiques et matériels de l'ensemble du processus industriel plutôt que de les décomposer et de les reconditionner avec des processus de remise à neuf compliqués [70].

En combinaison avec d'autres stratégies, les différents processus de réflexion requis pour la conception de remanufacturing peuvent être en mesure de nourrir l'innovation et de nouveaux modèles commerciaux pour l'industrie. Xerox est un exemple de la manière dont le design pour le remanufacturing peut être bénéfique pour une entreprise. Xerox a commencé ses activités de remise à neuf au début des années 90 et est maintenant un leader mondial dans ce domaine. Donc il est désormais nécessaire de convaincre les concepteurs de produits d'accepter la conception pour la remise à neuf plutôt que d'améliorer les processus de remise à neuf.

1.7.6 Produit remanufacturé vs produit neuf

Avant de commencer la comparaison, il est important de définir la cannibalisation dans le côté économique, où elle est considérée comme un phénomène par lequel, les ventes d'un nouveau produit proviennent en partie d'une diminution des ventes d'un autre produit plus ou moins substituable et proposé par la même marque [71].

Il y a de nombreux avantages financiers potentiels à prolonger le cycle de vie du produit en plus de la marge bénéficiaire pure obtenue en vendant le produit remanufacturé [72]. De nombreux équipementiers ignoraient initialement la remise à neuf des produits usagés, ce qui a conduit les PME¹⁰ à se lancer dans cette politique, ce qui a provoqué une énorme cannibalisation. Aujourd'hui, de nombreux OEMs entrent dans la zone de remanufacturing pour conquérir le marché secondaire [73].

Comme déjà expliqué, la remise à neuf est le processus dans lequel une entreprise effectue de nombreuses opérations sur des produits utilisés pour les ramener dans des conditions presque ou comme les neuves avec la même garantie que la nouvelle [74]. La vente du produit remanufacturé supplantera la vente de nouveau produit provoquant la cannibalisation [75].

Jusqu'à présent, de nombreuses entreprises craignent énormément la cannibalisation des produits. Ce concept n'est pas encore entièrement compris par de nombreux OEMs. Une étude détaillée de la cannibalisation des produits en vue du développement du produit et de la phase de commercialisation est très nécessaire. Il est très intéressant d'étudier le lancement d'un produit remis à neuf et son effet sur la vente d'un nouveau produit [76]. De nombreux managers

¹⁰ PME : petite ou moyenne entreprise ;

ne pensent pas à lancer des produits remis à neuf. Ils estiment que seuls les nouveaux produits feront plus de bénéfices sur le marché, ce qui n'est pas tout à fait vrai [77].

Il est difficile d'ignorer l'importance des produits remis à neuf pour le développement durable de produits. De nombreux équipementiers réalisent de bons bénéfices dans les secteurs de la remise à neuf. La sensibilisation au produit remanufacturé est nécessaire chez les consommateurs des PME pour le développement durable. Les gens ne connaissent vraiment pas le concept exact de la remise à neuf. Dans les années à venir, le remanufacturing deviendra un secteur en croissance dans le monde.

La cannibalisation des produits ne deviendra pas un problème lorsque le produit remanufacturé est un substitut parfait au nouveau produit. Lorsque le coût de remise à neuf d'un produit est inférieur au coût d'un nouveau produit, l'entreprise peut bénéficier de plus de bénéfices grâce à un produit remis à neuf [78]. La société «Xerox» propose aux clients un nouveau produit remanufacturé et mis à jour à moindre prix. Ici, l'entreprise fait plus de bénéfices dans la remise à neuf du produit. La société «Xerox» a traité la question de la cannibalisation de nouveaux produits pour des produits remis à neuf en réalisant plus de bénéfices sur le marché.

1.8 Conclusion

L'application de la remise à neuf est plein d'espoir en industrie sur la grande quantité de produits en fin de vie qui existe actuellement. Ce chapitre décrit une vue d'ensemble complète sur le remanufacturing dans le cadre de l'économie circulaire, commençant par la description des différents systèmes de gestions de déchet qui existe, arrivant à la remise à neuf qui est considéré comme la méthode la plus optimale pour la valorisation de ces derniers, en montrant ses avantages et en expliquant ses caractéristiques d'une manière générale. Le chapitre suivant montre les différents concepts relatifs au remanufacturing et comment influence t'il sur la fiabilité, la garanti et la qualité du produit.

*II. Chapitre 2 : concepts
fondamentaux relatifs à
l'industrie du remanufacturing*

2.1. Introduction

Dans un contexte international extrêmement concurrentiel, les entreprises doivent maîtriser les différents outils qui leur permettent de rester compétitives et doivent s'engager dans des actions d'amélioration à tous les niveaux. La complexité croissante des systèmes, la réduction de leurs coûts de conception et d'exploitation, leur utilisation de plus en plus importante dans la vie quotidienne font que la sûreté de fonctionnement est devenue incontournable dans le développement de tout système industriel, y compris l'industrie de remanufacturing. Cette notion désigne à la fois un ensemble de moyens et un ensemble de résultats produits par ces moyens [79]:

- des méthodes et des outils pour caractériser et maîtriser les effets des aléas, des pannes et des erreurs ;
- la quantification des caractéristiques des systèmes pour exprimer la conformité dans le temps de leurs comportements et de leurs actions.

2.2 La défaillance et la fiabilité

Dans cette partie, nous allons exposer les principales définitions utilisées dans les analyses de la fiabilité des systèmes ainsi que les indicateurs et les paramètres utilisés dans ce domaine.

2.2.1 La défaillance

Selon la norme *NF-EN-13306-X-60-319*, la défaillance est par définition est la " *cessation de l'aptitude d'un bien à remplir une fonction requise.* " [80]. L'évènement de défaillance est succédé par un état de panne, qui peut être complète ou partielle. La défaillance peut être causée durant la conception, la fabrication, l'utilisation ou même durant la maintenance. Ces causes pouvant être classifié en deux classes principales :

- La défaillance due à l'usure, dont la probabilité d'occurrence augmente avec la durée d'utilisation, le nombre d'unités d'usage du bien ou avec les sollicitations auxquelles il est soumis.
- La défaillance due au vieillissement, dont la probabilité d'occurrence augmente au cours du temps calendaire. Ce temps est indépendant du temps de fonctionnement du bien.

Classification de la défaillance par cause

- Défaillances aléatoires : se manifestent par une dégradation physique du système, causant la diminution de sa performance. Elle est composée de deux sous-classes :
 - des défaillances liées à la dégradation du système, dues à l'usage ou au vieillissement du système ;
 - des défaillances liées au stress, qui peuvent être dues à une cause extérieure ou erreurs humaines commises durant la phase opératoire ou de maintenance. [81]

- Défaillances systématiques : qui proviennent d'une erreur commise lors de la conception, la fabrication ou l'utilisation du système sans qu'il soit dégradé physiquement. Cette classe est composée de deux sous classes :

- des défaillances liées à la conception, dues à une erreur commise avant la phase opératoire du système fabrication, installation... ;
- des défaillances liées aux interactions humaines, en commettant des erreurs à la phase opératoire ou lors de la maintenance. [81]

2.2.2 La fiabilité

D'après la norme AFNOR X NF, 06-501, « *la fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise ou à satisfaire les besoins des utilisateurs, dans des conditions données, pendant une durée donnée* » [82] .

La définition adoptée par le groupe de travail numéro 56 de la **CEII** est comme suit : "*la fiabilité est une caractéristique d'un dispositif, exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données, pendant un temps donné*".

2.2.2.1 Fiabilité d'un composant

La fiabilité $R(t)$ d'un composant élémentaire à l'instant t est généralement mesurée par la probabilité qu'il n'y ait pas de défaillance sur l'intervalle de temps $[t_0, t]$ sous des conditions de fonctionnement données, sachant que le système est en bon fonctionnement à l'instant t_0 . D'autres fonctions peuvent être déterminées à partir de $R(t)$ par exemple $Q(t) = 1 - R(t)$:

La fonction complémentaire de la fiabilité définie par la probabilité qu'un composant soit défaillant entre t_0 et t [83].

Par ailleurs, le taux de défaillance $\lambda(t)$ permet d'estimer la probabilité conditionnelle qu'une défaillance se produise sur le composant élémentaire pendant un temps δt à l'instant t , sachant que le composant n'a pas eu de défaillance sur $[t_0, t]$ [84] [85].

Les figures au-dessous illustrent des exemples de fonctions de répartition et la densité de probabilité. $F(t_1)$ est la surface délimitée par la courbe $f(t)$ et la droite qui coupe l'axe de t à l'instant t_1 , pour cette raison la fonction de répartition est appelée également la probabilité cumulée.

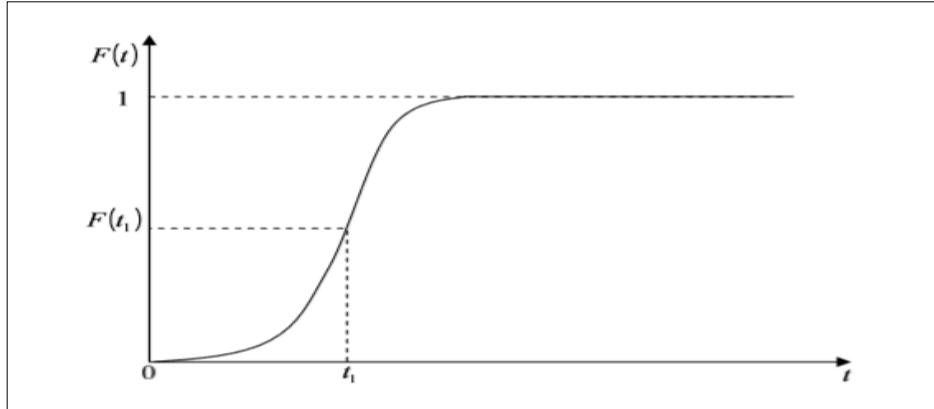


Figure II-1: exemple de la fonction de répartition

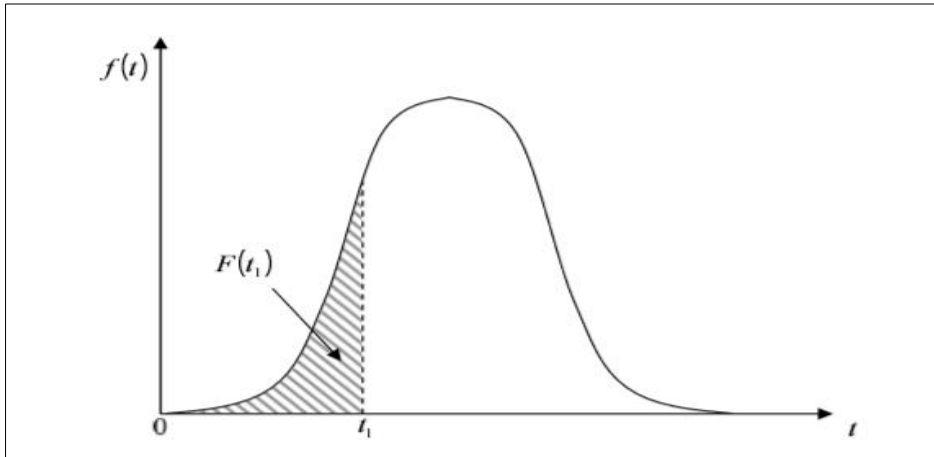


Figure II-2: exemple de la densité de la probabilité

Rappelons que par définition :

$R(t) = P[T > t]$ et $Q(t) = 1 - R(t) = F(t)$, par conséquent, la fonction complémentaire de la fiabilité (défiabilité) $Q(t)$ est la fonction de répartition de T et $R(0) = 1$, $R(\infty) = 0$.

D'après la définition précédente, nous pouvons écrire le taux de défaillance $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\delta t} P [t < T \leq t + \delta t | T > t] \quad (2.2)$$

Nous pouvons l'écrire également :

$$\lambda(t) dt = P[t < T \leq t + dt | T > t] \quad (2.3)$$

D'après le théorème des probabilités conditionnelles, l'équation devient :

$$\lambda(t)dt = \frac{P[t < T \leq t + dt \cap T > t]}{P[T > t]} \quad (2.4)$$

Sachant que $T > t$ est inclus dans l'événement $t < T \leq t + dt$

$$\text{Donc } P[t < T \leq t + dt \cap T > t] = P[t < T \leq t + dt] = f(t)dt = -\frac{dR(t)}{dt} dt.$$

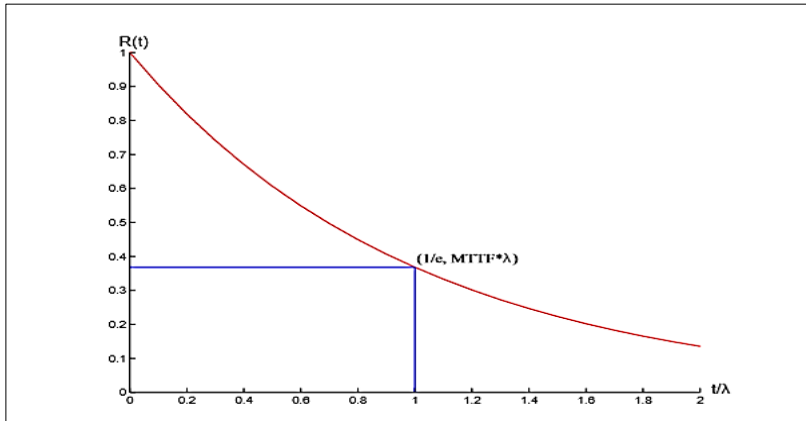


Figure II-3: courbe $R(t) = e^{-\lambda t}$

Notons que $R(t) = P[T > t]$. Nous pouvons en déduire, une relation entre le taux de défaillance et la fiabilité :

$$\lambda(t) = -\frac{dR(t)/dt}{R(t)} \mid_{t_0 = 0} \quad (2.5)$$

En intégrant les deux membres de 0 à t , sachant que $R(0) = 1$:

$$R(t) = \exp\left\{\int_0^t \lambda(t). dt\right\} \quad (2.6)$$

Comme l'indique la courbe en baignoire de la figure (II-3), le taux de défaillance est dépendant du temps sur toute la durée de vie du composant élémentaire. Durant la période de jeunesse, les pannes nombreuses du début diminuent avec le temps contrairement à la période de vieillissement où le nombre de pannes s'accroît sans cesse. La période la plus importante est la période de vie utile durant laquelle le nombre de pannes est le plus faible. Pour simplifier les calculs, il est communément admis pendant la période de vie utile que le taux de défaillance soit approximé par une constante appelée λ .

Sinon, le problème posé est de modéliser ces grandeurs par des lois de probabilité connues. En effet, il existe plusieurs lois, à titre d'exemple la loi exponentielle, la loi normale, la loi log-normale, la loi de Wei bull et la loi Gamma.

Sous l'hypothèse que la distribution des durées de vie est représentée par une loi exponentielle, la fiabilité peut être exprimée comme suit :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

La figure (II-3) présente la courbe $R(t)$ en fonction du temps t avec λ constant. Notons que la loi exponentielle représente correctement la fonction de distribution lorsque :

- Les défaillances sont indépendantes.
- Le taux de défaillance est constant.

Elle est caractérisée par les relations suivantes :

- $\lambda(t) = \lambda = \text{constant}$ (2.8)

- $R(t) = e^{-\lambda t}$ (2.9)

- $F(t) = Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ (2.10)

- $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ (2.11)

2.2.2.2 Fiabilité des systèmes

Dans le cas des systèmes multi composants, la défaillance du système dépend de la défaillance d'un certain nombre de composants suivant la structure du système. Pour calculer la fiabilité d'un système, son taux de défaillance et son MTTF à partir des propriétés de ses composants (fiabilité, taux de défaillance et MTTF), il faut définir la structure de propagation des défaillances dans le système.

En fiabilité, deux structures possibles sont à distinguer : structure élémentaire et structure complexe.

Une structure élémentaire contient des composants indépendants en série ou en parallèle ou toutes combinaisons possibles de ces deux cas. Un système pouvant être décomposé en plusieurs modules à structure élémentaire est considéré comme un système simple ou compliqué si sa taille est très importante.

À l'inverse, nous parlons de systèmes complexes quand le système n'est pas constitué de structure élémentaire et si les composants ne sont pas indépendants.

2.2.3 Fiabilité des systèmes remanufacturés

Tout produit neuf ou de deuxième main est caractérisé par plusieurs critères de performance qui nous permet de déterminer son état de santé, et l'impact de la maintenance. La fiabilité est l'un des critères les plus importants des produits pour caractériser l'état de santé technique [86]. Dans une application industrielle, on pourra compléter la fiabilité avec des indicateurs de dégradation spécifiques ou des durées de vie résiduelles (*RUL* produit, *RUL* composants, niveaux d'usure, ...). [87]

- Les stratégies de mise à niveau optimales pour les articles d'occasion sous l'âge virtuel ainsi que les méthodes de développement de la fiabilité des tests de dépistage sont présentées par Saidi-Mehrabad, Noorossana et Shafiee. [88]
- Les travaux de Shafiee, Chukova, Yun et Akhavan-Niaki qui ont construit un modèle stochastique conçu pour examiner le degré optimal d'investissements pour augmenter la

fiabilité des produits remanufacturés en vertu des politiques de la garantie gratuite de réparation (*FRW13*). Ils ont conclu qu'un plus grand nombre d'investissements signifiait une diminution plus importante de l'âge virtuel et des niveaux de fiabilité plus élevés du produit mis à niveau. [89]

- Un modèle d'amélioration de fiabilité stochastique pour les produits usants avec garantie et fonction de production Cobb-Douglas pour atteindre le niveau optimal de mise à niveau a été présenté par Shafiee, Finkelstein et Chukova. [90]

2.3 La maintenabilité et la maintenance

Pour un personnel de maintenance, la maintenabilité est la capacité d'un équipement à être rétabli lorsqu'un besoin de maintenance apparaît. L'idée de « facilité de maintenir » se matérialise par des mesures réalisées à partir des durées d'intervention. Il est évident que la maintenabilité intrinsèque est le facteur primordial pour que la maintenance soit performante sur le terrain. En effet, une amélioration ultérieure de la maintenabilité initiale n'est jamais chose facile. Il est donc indispensable que la maintenance sache définir ses besoins et les intégrer au cahier des charges d'un équipement nouveau afin que celui-ci puisse être facilement maintenable. [91]

2.3.1 La maintenabilité

La maintenabilité (Maintainability en anglais) est l'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est réalisée à l'aide des procédures et des moyens prescrits dans des conditions données. Elle est caractérisée par la probabilité $M(t)$ que l'entité E soit en état, à l'instant t , d'accomplir ses fonctions, sachant que l'entité était en panne à l'instant 0. [92]

$$M(t) = P [E \text{ est réparée sur } [0, t]] \quad (2.12)$$

On distingue trois types de maintenabilité [91]:

- La maintenabilité intrinsèque : Elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc.)
- La maintenabilité prévisionnelle : Elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.
- La maintenabilité opérationnelle : Peut être mesurée à partir des historiques d'interventions déjà appliqués.

- 13 Free replacement warranty

2.3.2 La maintenance

L'AFNOR 14 en 1994 selon (norme NFX 60-010) a défini la maintenance comme « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

En 2001, la norme (NF EN 13306 X 60-319) a donné une nouvelle définition comme « Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. »

2.3.2.1 Types de maintenance

Les types de la maintenance sont définis selon les normes française AFNOR X60 - 010 et X60 - 010 de la façon suivante :

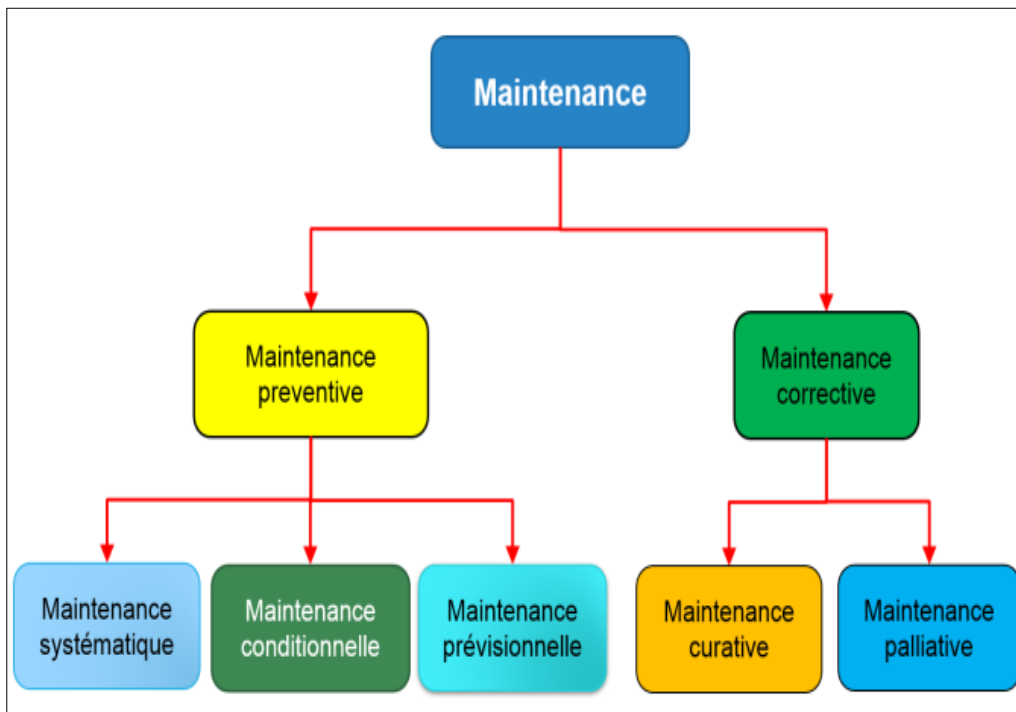


Figure II-4: les types de maintenance industrielle

2.3.2.1.1 Maintenance corrective

C'est l'ensemble des activités réalisées après défaillance d'un bien ou dégradation de sa fonction, afin de lui permettre d'accomplir, au moins provisoirement, une fonction requise. [93]

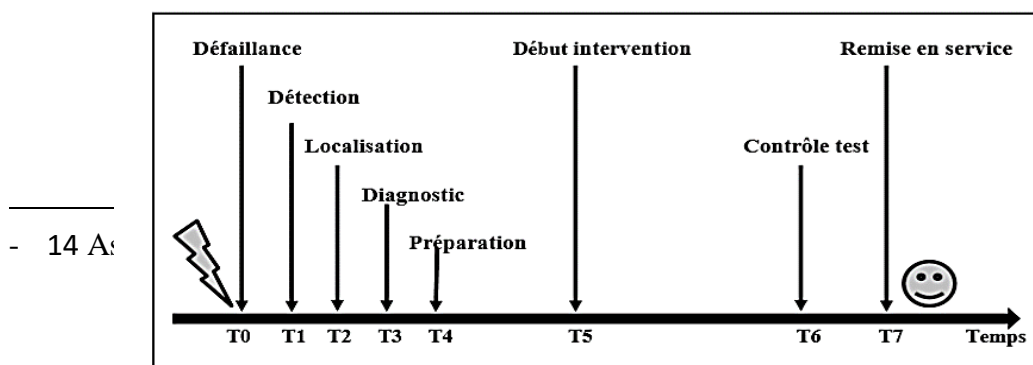


Figure II-5: processus de déroulement d'une maintenance corrective d'un

On distingue :

➤ Maintenance palliative

Elle regroupe les activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Ces activités sont considérées comme un dépannage qui présente un caractère provisoire qui devra être suivi par des activités curatives.

➤ Maintenance curative

Ce type regroupe les activités de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Ces activités du type réparation, modification ou amélioration doivent présenter un caractère permanent.

2.3.2.1.2 Maintenance préventive

La maintenance préventive est effectuée selon des normes prédéterminées dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service. [94]

Ce type contient trois subdivisions :

➤ Maintenance systématique

Elle s'effectue selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage. Les unités d'usage peuvent être retenues : la quantité, la longueur et la masse des produits fabriqués, la distance parcourue, le nombre de cycles effectués, etc. [95]

Elle s'applique à des équipements :

- soumis à une réglementation sécuritaire comme les matériels d'incendie et les installations sous pression.
- présentant des coûts de défaillance très élevés tel que les systèmes avec processus de production continu et les lignes de fabrication automatisée.
- Les cas où une défaillance peut entraîner des accidents graves par exemple les matériels de transport en commun.
- Les personnes, appareils et constituants utilisés dans l'énergie nucléaire, etc.

➤ Maintenance conditionnelle

La maintenance préventive conditionnelle est une maintenance subordonnée au franchissement d'un seuil prédéterminé significatif de l'état de dégradation du bien [96]. L'intervention a lieu si certains paramètres mesurables atteignent un seuil critique. La mise en place d'une maintenance conditionnelle nécessite :

- Une recherche des points de surveillance du matériel et des paramètres à mesurer,
- L'établissement des seuils d'admissibilité pour chaque paramètre,
- Le choix et l'achat de l'instrumentation de mesure,
- La formation d'un personnel qualifié pour les relevés de mesures et leur exploitation.

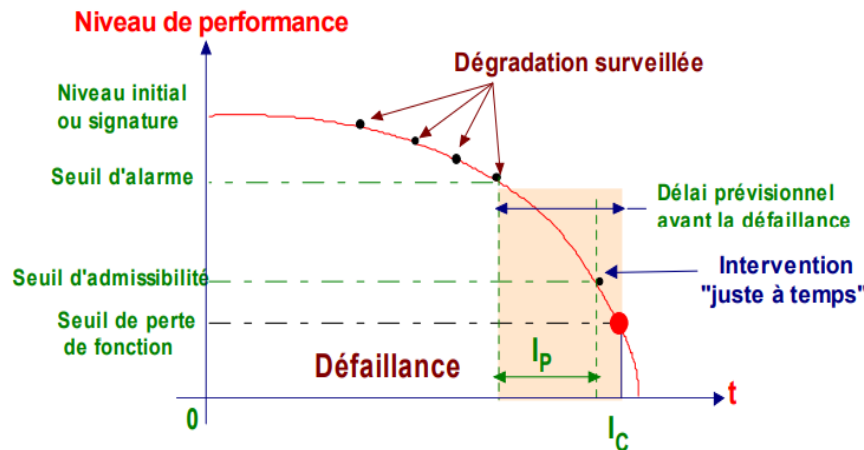


Figure II-6: principe de la maintenance conditionnelle

➤ Maintenances prévisionnelles

La maintenance préventive prévisionnelle est subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions. Encore appelée maintenance prédictive, mais ce terme n'est pas normalisé, Elle peut s'appliquer à tous les matériels. Son efficacité est grandement accrue par l'utilisation de l'outil informatique, mais elle est en général coûteuse.

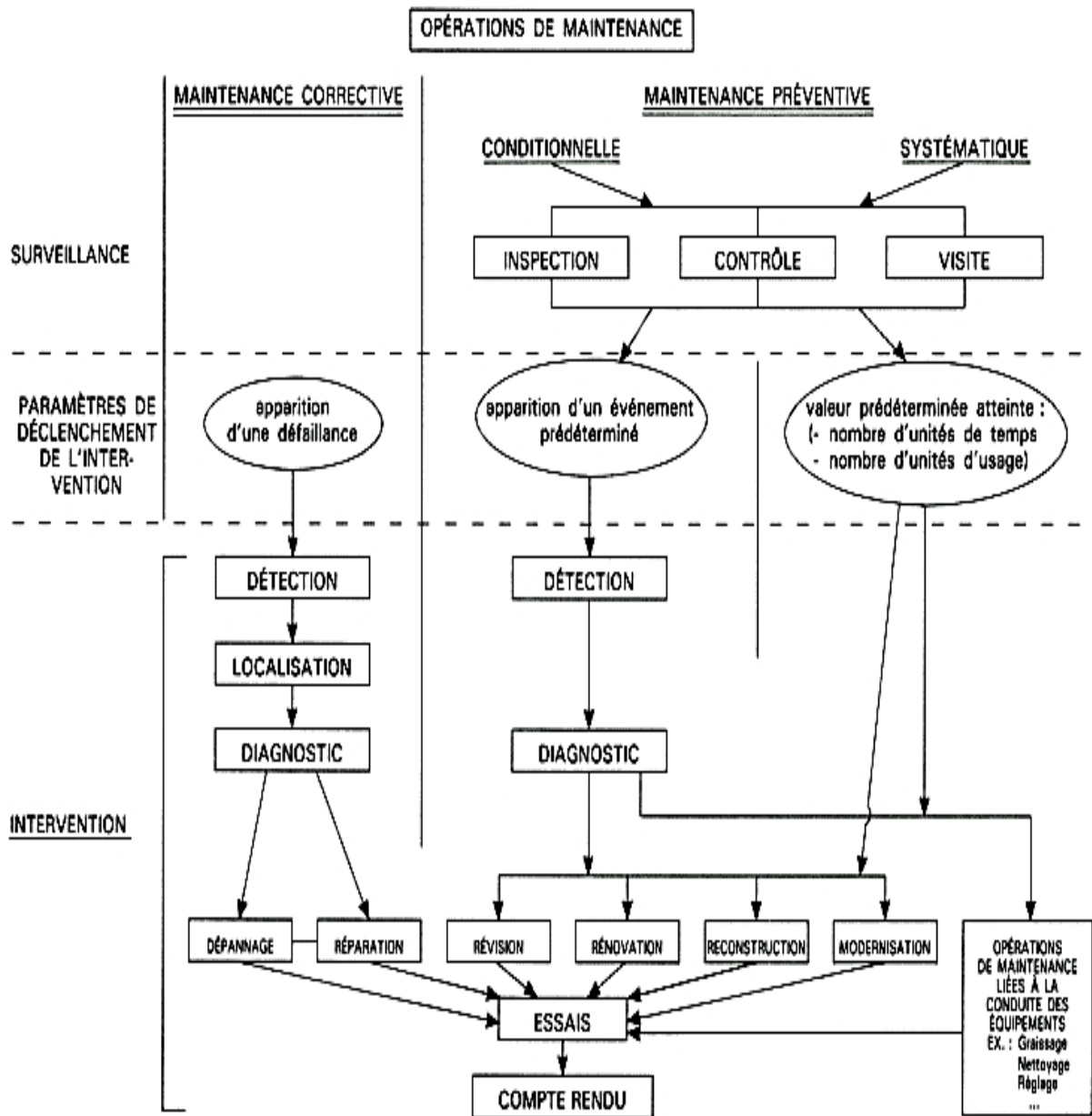


Figure II-7: organigramme synoptique des opérations de maintenance

2.3.2.2 Service de maintenance

Au sein d'une entreprise industrielle, la fonction « maintenance » est prise en charge par une structure plus ou moins importante et peut varier d'une direction autonome qui relève de la direction générale à un simple service rattaché à la production. L'organigramme de la fonction « maintenance » est une représentation schématique de la structure mettant en évidence les domaines de responsabilité de chaque élément composant.

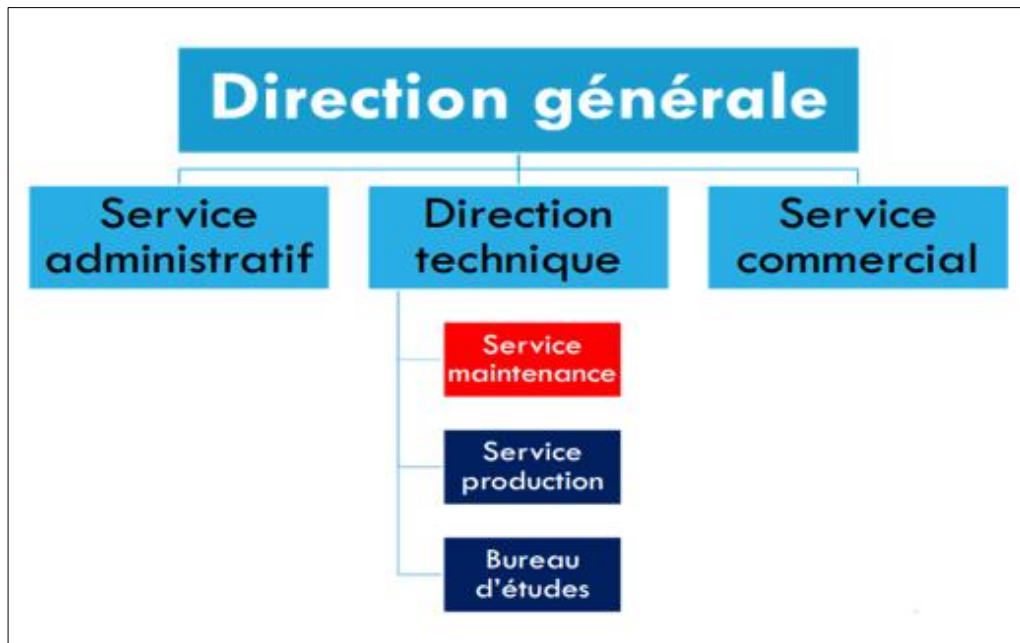


Figure II-8: Organigramme représente le positionnement de la fonction « maintenance »

2.3.2.2.1 Relations service maintenance

Le service de maintenance est lié à pratiquement tous les autres services :

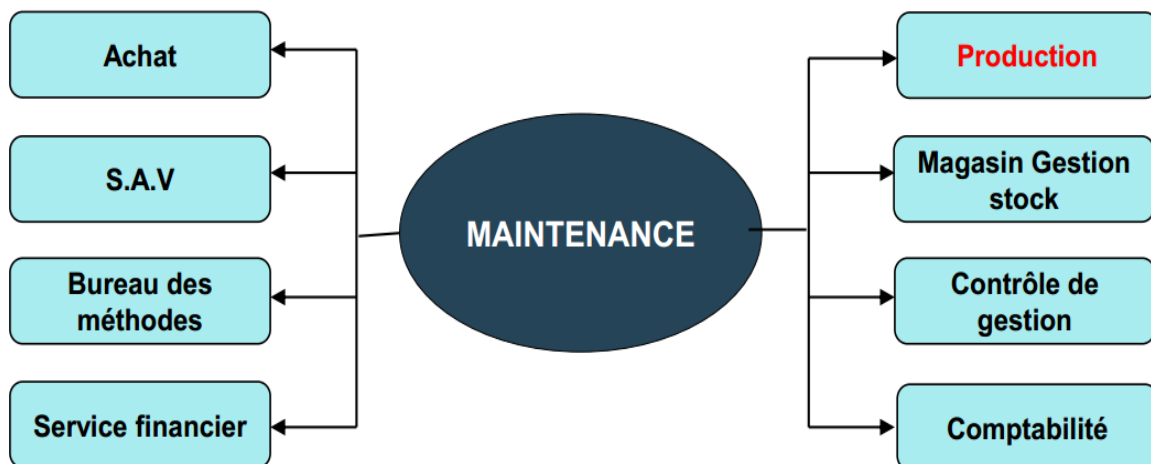


Figure II-9: les relations entre service maintenance et les autres services

2.3.2.2.2 Le système de gestion de la maintenance

Le cadre de référence du système de gestion de la maintenance comporte plusieurs étapes. Aussi importantes les unes que les autres :

Premièrement, la réception du matériel et la documentation. Ensuite, le choix du type de maintenance à effectuer en fonction des paramètres choisis. A partir de ce dernier, nous précisons les étapes du processus de maintenance telles que la planification des interventions, les procédures de détection des défaillances, l'exécution et le suivi de l'intervention. Finalement, la réalisation et le suivi de l'opération de maintenance. [97]

2.3.2.2.3 Organisation du service maintenance

La fonction « maintenance » regroupe un certain nombre de tâches qui doivent collaborer étroitement afin d'atteindre l'objectif qui leur a été assigné. De façon générale, la fonction maintenance englobe les tâches telles que : méthodes, ordonnancement et réalisation. [98]

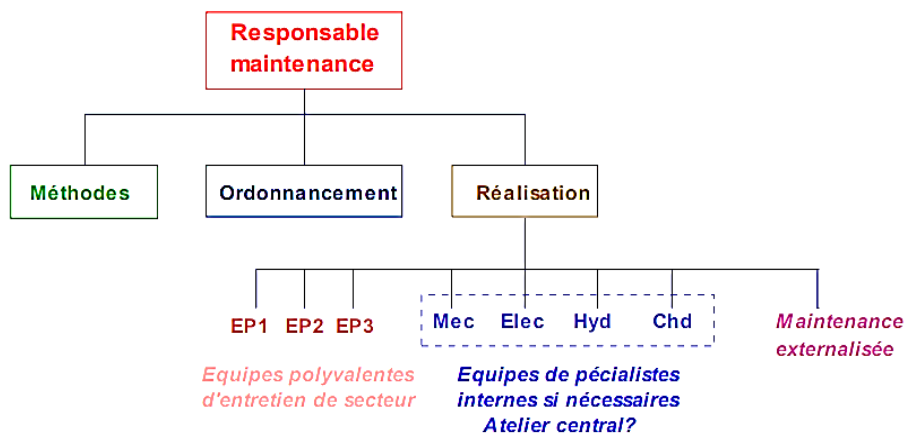


Figure II-10: structure type avec sectorisation partielle

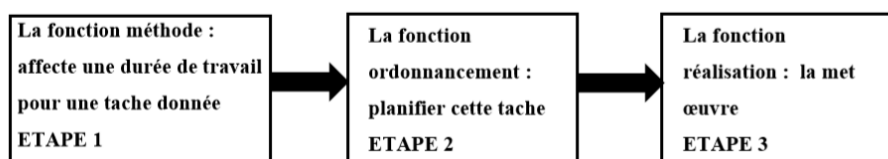


Figure II-11: Chronologie d'intervention

➤ Méthodes

Le responsable du service « méthodes de maintenance » définit les cahiers de charge et les règles d'actions liées aux spécifications techniques, aux délais, aux coûts et à l'approvisionnement.

Ce service assure le bon déroulement du système de maintenance en respectant les consignes de sûreté de fonctionnement tout en identifiant et optimisant les coûts des activités de maintenance. Parmi les responsabilités de ce service, on cite :

- Etudes d'améliorations.
- Études de la conception et de la ré-conception des équipements.
- Analyse des conditions du travail.
- Ordonnancement

La fonction « décision et ordonnancement » est chargée de définir les tâches à effectuer par le service « réalisation » et des moyens à mettre en œuvre, et de s'assurer de l'exécution de ces interventions dans le respect des règles de sécurité, des délais impartis et des procédures existantes. Sommairement, ce service a pour mission :

- Établissement des fiches et gammes d'instructions.
- Constitution de la documentation pour les interventions.
- Établissement des plannings d'interventions.
- Réalisation

Dans ce service, sont regroupés tous les appareils et postes de taille importante pour réaliser les différentes phases de maintenance en général. La fonction « réalisation » est pluriethniques et de composition adaptée au matériel. Par exemple, un chef d'équipe, un électricien, un mécanicien, un hydraulicien et un tuyauteur, ce service prend la responsabilité du :

- Gestion de l'intervention de maintenance.
- Installation des machines et du matériel.
- Établissement du diagnostic de défaillance du matériel.
- Information du personnel sur les équipements.
- Application des consignes et règles d'hygiène, sécurité et conditions du travail.

2.3.3 La maintenance et la remanufacturation

Les procédures de maintenance opérationnelle ont un impact direct sur la rentabilité des systèmes de chaîne d'approvisionnement en boucle fermée dans l'industrie de remanufacturing. Les fabricants ont utilisé plusieurs stratégies d'entretien pour soutenir les produits pour des périodes plus longues.

La maintenance est un élément principal dans son concept de Circular Manufacturing. C'est dans cette direction, on considère que la maintenance est comme la tour de contrôle de la remanufacturation. En effet, le processus de maintenance est le témoin de la vie de tout équipement réparable (par la mémorisation des actions de maintenance préventive et corrective), qui permet d'avoir une image à chaque instant de mesure, du niveau d'usure ou de dégradation de l'équipement et de l'évolution des paramètres significatifs de cette dégradation. [99]

L'adaptation de ce processus à la remanufacturation permet de prévoir l'évolution de l'état de santé, afin de déterminer la durée de vie qui reste avant la perte du potentiel de régénération de

produit, et permettre à l'exploitant/utilisateur de ne jamais dépasser des limites irréversibles de remanufacturing.

Parmi les différentes approches utilisées, l'approche de la maintenance **PHM15** est considérée comme un outil de l'actualité. Elle vise à étendre le rôle de la maintenance de la simple réparation après défaillance au management de la santé des équipements. Cette vision de management de l'état de santé est étendue à la remanufacturing, et donc, à l'optimisation du cycle de vie des produits. Elle s'appuie sur un processus pronostic afin d'estimer l'évolution des dégradations futures des différents composants du système et l'évolution de ses performances. [100]

- 15 Prognostics and Health Management

2.4 La qualité et la garantie

Aujourd'hui, l'environnement économique et concurrentiel de l'entreprise est tendu et plein. L'offre est souvent supérieure à la demande, qui pose l'industrie de remanufacturing dans un grand challenge pour le mettre dans le marché. La solution qui se révèle possible est d'offrir des produits /des services mieux que les concurrents pour garantir sa pérennité. Là où on peut considérer la qualité comme le variable stratégique le plus performant et crouteux de la compétitivité. Jouer sur la qualité renforce l'image de la marque présentée par l'entreprise, valorise ses produits et augmente sa part de marché. Cela est obtenu à travers une gestion efficace de la qualité.

2.4.1 La qualité

SELON *ISO 16 9000* (Version 2015), la qualité est « *L'aptitude d'un ensemble de caractéristiques intrinsèques d'un objet à satisfaire des exigences* » [101]

Selon l'*AFNOR* : "*un produit ou service de qualité est un produit dont les caractéristiques lui permettent de satisfaire les besoins exprimés ou implicites des consommateurs*".

Les exigences ou bien les besoins sont habituellement traduites en caractéristique de forme, de dimension, d'odeur, de goût et de puissance avec des critères spécifiés. Ils peuvent inclure aussi les aspects de performance, de fiabilité, de disponibilité, de durabilité, de facilité d'emploi, de sécurité, de prix bas, de délai de livraison et de caractère non polluant. Lorsque le client est satisfait au produit vendu, la qualité est atteinte. Donc, la qualité n'est pas la recherche de la perfection et de l'excellence, mais la réalisation des tâches conformément aux exigences de l'utilisation. Le produit de qualité est donc celui qui donne une complète satisfaction que possible à son utilisation sur ces aspects. [102]

2.4.2 La qualité dans l'industrie de remanufacturing

Plusieurs secteurs industriels ont reconnu le rôle de la remanufacturing, et ont commencé à exploiter de façon créative des nouvelles offres de services, afin de réduire simultanément la consommation des ressources de matière première et les déchets de matériaux. En plus de ça, les recherches menées aux États-Unis ont évalué la rentabilité des produits remanufacturés. Dans de nombreux cas, ils montrent une plus grande valeur ajoutée que les OEM en démontrant la valeur inhérente de l'équipement en fin de vie. [103]

Avec un tel avantage, les produits remanufacturés sont en concurrence avec de nouveaux produits. La compétitivité est basée principalement sur deux facteurs : le prix et la qualité. Plus le prix est faible, plus il est difficile d'offrir un produit de qualité. Malheureusement, certain nombre de remanufacturiers afin de rester compétitifs doivent sacrifier des normes de qualité pour le prix. Parce que pour remanufacturer un produit de haute qualité, un montant important de l'investissement dans le processus de remanufacturing est nécessaire. Certains fabricants ne peuvent pas rivaliser sur la qualité et donc vendre à des prix inférieurs sans garantie. La

- 16 International Standard Organisation

plupart des grands remanufacturiers respectent les certifications de l'*ISO*. De plus, les entreprises avec des capacités de recherche et de développement solides peuvent offrir des produits qui sont de meilleure qualité que les originaux, car ils sont capables d'identifier et corriger la mauvaise conception ou des matériaux inadéquats. [104]

Le remanufacturing peut récupérer les fonctions originales des produits utilisés, de sorte que la différence entre les produits neufs et remanufacturés semblent être indiscernable pour les clients. Cependant, les qualités et les capacités des produits nouveaux et remanufacturés peuvent être perçues différemment par les clients.

Les clients s'inquiètent que les nouveaux produits et remanufacturés produits sont différents. Pour les produits remanufacturés, les clients sont concernés par la qualité et la fiabilité, en plus du prix inférieur de la volonté de payer. Pour les clients ayant la conscience environnementale ou la préférence de prix, si la qualité perçue et la fiabilité du produit remanufacturé sont suffisamment élevées, elles seront transférées à la qualification du produit remanufacturé. Par conséquent, le marketing des produits remanufacturés peuvent être augmentés par améliorer la qualité perçue des clients. Toutefois, pour les nouveaux produits, les clients sont plus préoccupés par le prix, un détail qui exerce une plus grande influence sur les clients dont la volonté d'acheter est plus que d'autres facteurs. [105]

Par conséquent, dépasser l'avantage du marketing de produits nouveaux et remanufacturés en prenant des décisions basées sur les préoccupations des clients pour les deux produits est gagnant, et un mode de compétition de différenciation entre l'*OEM* et le remanufacturier est mieux pour eux.

2.4.3 La garantie

2.4.3.1 Définitions

Littéralement, la garantie (nom féminin) agit « *l'engagement par lequel le contractant assure la qualité d'un objet vendu, l'exécution ou le respect de quelque chose* ». [106]

D'un point de vue juridique, la garantie est « l'obligation que la loi ou le contrat impose à celui qui transmet la propriété ou la jouissance d'un bien ou d'une créance, de prendre fait et cause pour celui auquel il a transféré ses droits lorsqu'un tiers vient à contester ceux de ce dernier ». [107]

2.4.3.2 Types de garantie

2.4.3.2.1 Les garanties légales

Il existe deux garanties légales.

- La garantie de conformité : Si le produit n'est pas conforme à ses promesses ou à celles de la publicité, de l'étiquetage, ou encore si l'objet ne peut pas être utilisé, il est possible de réclamer au minimum pour réparer gratuitement le produit en temps qu'il est possible, le remplacement de l'objet, ou bien le rembourser si les deux premières solutions ne peuvent pas être mises en œuvre. [108]

La garantie légale de conformité s'applique uniquement aux contrats [109]:

- de vente de biens corporels (par exemple, objets, mobiliers ou marchandises) neufs ou d'occasion,
 - de fourniture de biens à fabriquer ou à produire (par exemple, réalisation de meubles de cuisines, fenêtres sur mesure).
- La garantie des vices cachés : couvre les défauts qui surviennent après l'expiration de la garantie de conformité. On dispose alors de deux ans à partir de la découverte du problème dans la limite de 5 ans à compter de l'achat. Dans ce cas, le vendeur répond des défauts cachés de la chose vendue. Le défaut doit être antérieur à la vente et rendre les produits impropres à l'usage destiné. A l'inverse à la garantie de conformité, c'est l'acheteur qui doit apporter la preuve du vice caché devis de réparation, existence de nombreuses plaintes concernant des cas de pannes similaires, expertise. [108]

2.4.3.2.2 Les garanties commerciales

La garantie commerciale est une garantie proposée par le vendeur. Il s'agit d'un engagement gratuit ou payant du professionnel envers le consommateur de rembourser le prix d'achat du bien, de le remplacer ou encore de le réparer.

Il existe des garanties commerciales gratuites et payantes [110] :

- La garantie commerciale gratuite est comprise dans le contrat d'achat, et couvre le plus souvent les produits « techniques ». Elle émane du distributeur ou du fabricant. C'est l'engagement contractuel du professionnel de réparer, rembourser ou de remplacer le bien

pendant la durée qu'il a choisi. Il faut en même temps mentionner dans son contrat qu'il reste tenu parallèlement des garanties de conformité et des vices cachés.

- Les grandes enseignes de distribution proposent quelque fois une extension de la garantie commerciale avec un coût d'environ 10 à 20 % du prix du produit. Ce contrat prolonge la garantie commerciale généralement jusqu'à 5 ans. Il s'agit en fait d'une assurance de bon fonctionnement. Il faut toujours prendre en considération de bien lire entre les lignes ces contrats : exclusions de certaines pièces, pas de dépannage à domicile si l'équipement pèse moins d'un certain poids, pas de prêt d'un équipement de remplacement si la réparation ne dure pas un certain temps, limitation géographique...

2.4.3.3 Période de garantie

C'est une durée mentionnée dans le contrat d'achat écrit par le fabricant ou le fournisseur pendant laquelle celui-ci garantit au client la réparation ou le remplacement de tout équipement qui se révélerait défectueux. (Elle dure généralement entre six mois et deux ans vérifier JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 03 dans l'annexe pour plus de détaille).

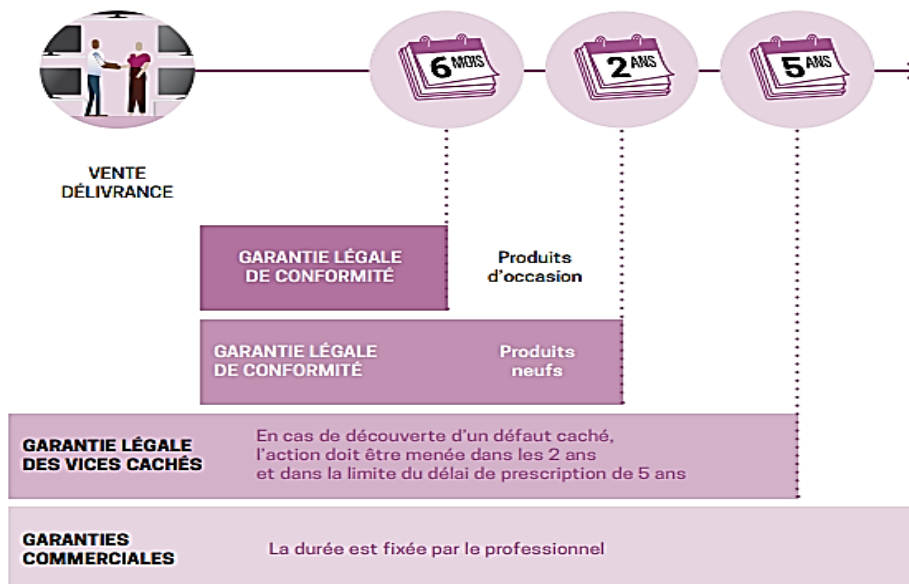


Figure II-12: les périodes de garantie légale et commerciale

2.4.4 La garantie pour des biens remanufacturés

La remise à neuf regroupe les actions permettant de redonner aux produits abandonnés les caractéristiques pour répondre aux exigences du client. Lors de la remise en état de ces produits, certains composants peuvent être remplacés et suivent le processus de régénération. En vue d'une remise sur le marché, la requalification se fait en fin de remise en état, et fait appel aux mêmes compétences que celles déployées lors des activités de diagnostic. Cette activité a pour objectif de vérifier la conformité de produit aux exigences fixées par les clients, et de lui associer une classe avant sa remise sur le marché. Une durée de garantie peut également être déterminée, à partir d'un retour d'expériences (**REX**) sur les précédents produits régénérés. [87]

Les produits remanufacturés plus que d'être respectueux de l'environnement, sont de tel sort populaires auprès des consommateurs, car ils peuvent offrir la dernière technologie avec des prix plus bas en comparaison de produits neufs. Cependant, certains consommateurs hésitent à acheter des produits remanufacturés parce qu'ils sont doutés à la qualité du produit remanufacturé et ne sont donc pas sûrs de la mesure dans laquelle le produit rendra les services par rapport à un nouveau produit. Cette incertitude concernant un produit remanufacturé pourrait conduire le consommateur à prendre une décision contre son achat. Avec une telle appréhension de consommateurs, les remanufacturiers emploient souvent des stratégies de marketing dans les tentatives de fournir l'affirmation sur la durabilité des produits, un stratagème que les remanufacturiers emploient souvent pour encourager la sécurité des clients présenté par les différentes garanties de produits. [111]

Contrairement aux politiques de garantie pour les nouveaux articles, jusqu'à présent, les études sur les politiques de garantie pour les articles d'occasion reçoivent moins d'attention.

- La politique de garantie et son effet sur le comportement des consommateurs du point de vue des consommateurs ont été étudiés par Liao, Li et Cheng. [112]
- Un nouveau modèle mathématique-statistique a été proposé où les décisions impliquant le prix des produits utilisés retournés (noyaux), avec le degré de leur remanufacturation, prix de vente, et la période de garantie pour les produits finis était d'enquêter sur l'optimisation conjointe de la remanufacturation, la tarification et la prise de décision de garantie pour les produits de fin de vie. [113]
- Des modèles mathématiques pour examiner deux types de politiques de garantie prolongées ont été proposées pour les fabricants afin qu'ils puissent faire les comparaisons de leurs possibles profits tirés des produits remanufacturés par les fabricants qui les ont fournis. [114]
- En revanche, l'analyse des coûts de garantie pour les produits remanufacturés n'a pas encore reçu une attention significative. Cependant, il y a peu de papiers qui considèrent la garantie pour les produits remanufacturés pour la gestion de la chaîne d'approvisionnement inversée et fermée. Une politique de garantie peut être offerte pour les produits de remanufacturation en utilisant la garantie de remplacement libre (*FRW*), la garantie Pro-Rata (*PRW*) et les polices de *FRW/PRW*. [115] [116]
- Aussi, des politiques de garantie renouvelables et non renouvelables à une et deux dimensions peuvent être offertes pour les produits dérivés d'*EOL* 17 . Là où la technologie « Sensor Embedded Remanufactured Products » devient plus en plus demandée. Dans cette technique, des capteurs intégrés ou des détecteurs sont implantés dans les produits pendant leur processus de production. Ces capteurs sont utiles pour prédire la meilleure garantie et la période de garantie à offrir aux clients pour les composants et les produits remanufacturés. Les conditions et les vies restantes des composants et des produits peuvent être estimées avant d'offrir une garantie basée sur les données fournies par ces capteurs. Cela permet de réduire le nombre de réclamations

- 17 End of life

pendant les périodes de garantie, de déterminer la bonne gestion préventive de la politique et élimine les coûts inutiles infligés sur les remanufacturiers. [117]

2.5 Conclusion

Ce chapitre a été une récapitulation terminologique des concepts techniques et économiques relatifs avec la remis à neuf. Ces concepts représentent des critères primordiaux pour la continuité de l'industrie de remanufacturing. Cette dernière, bien qu'elle est dans les pays développés comme les états unis, UK et la chine mais elle est encore un secteur inexploité en Algérie.

*III. Chapitre 3 : Etat de lieu des D3E
en Algérie*

3.1 Introduction

Depuis un passé récent, l'époque industrielle a généré des déchets de plus en plus nombreux et présentant une problématique nouvelle : leur volume considérable, la non-biodégradabilité ou la toxicité de certains d'entre eux, leur durée de vie et leur impact sur l'environnement. La mise en décharge a été la solution qui a d'abord paru être la plus pratique, passant au fil du temps, des décharges sauvages aux décharges contrôlées. Ces dernières reçoivent en vrac des déchets de tous types et finissent ainsi par être elles-mêmes une menace pour l'environnement. Aujourd'hui, les nécessités de réduction de la pollution, d'économies d'énergie et de gestion des ressources naturelles ont transformé le traitement des déchets en une donnée incontournable pour la survie de la planète.

Les DEEE représentent, aujourd'hui, l'un de flux de déchets les plus difficiles à gérer. Ce sont des produits qui n'ont pas été conçus en prenant compte leur fin de vie. Ils sont même considérés comme de produits conçus pour finir dans une décharge causant une urgence toxique mondiale [118]. En effet, l'industrie électronique est devenue la plus grande industrie au monde [119]. En 2014, elle est estimée à 41,8 millions de tonnes (Mt), contre 33,8 Mt générées en 2010. Les estimations les plus récentes montrent que, suivant de près la croissance des réseaux et des services TIC¹⁸, environ 50 millions de tonnes de DEEE sont mis au rebut chaque année dans le monde, dont seulement 20% sont recyclés. En 2016, plus de 35 millions de tonnes de DEEE n'ont pas été enregistrés, car ils ont été mis en décharge, ont été brûlés ou ont fait l'objet d'un commerce illégal et d'un traitement non conforme aux normes [118].

3.2 Définitions

- Un Équipement Électrique et Électronique (EEE) est un équipement fonctionnant grâce à un courant électrique ou à un champ électromagnétique [120]. Ceci signifie que l'équipement a besoin de courants électriques ou de champs électromagnétiques pour remplir sa fonction de base, ou un équipement de production, de stockage, de transfert ou de mesure de ces courants et champs, conçu pour être utilisé à une tension ne dépassant pas 1000 volts en courant alternatif et 1500 volts en courant continu [121]. Ce terme regroupe donc un grand nombre d'appareils aux dimensions et poids très variés d'une lampe à un distributeur automatique.
- Le terme « déchets d'équipements électriques et électroniques (**DEEE, D3E**) » agit d'une catégorie de déchets constituée des équipements en fin de vie qui fonctionnent à l'électricité ou via des champs électromagnétiques, ainsi que les équipements de production, de stockage, de transfert et de mesure de ces courants et champs.

3.3 Composition des DEEE

Les DEEE contiennent de grandes quantités de matières valorisables, telles que des métaux ferreux et non ferreux et précieux, du plastique ou du verre, qui sont parfois des gisements plus intéressants que les minerais. L'extraction de ces métaux à partir des DEEE est une alternative rentable à l'extraction des matières premières primaires. Pour cette raison, les déchets

- 18 TIC : Technologies de l'information et de la communication

d'équipements électriques et électroniques sont considérés comme une véritable «mine urbaine» [122]. Dans l'autre part, ce type de déchets présente des substances potentiellement polluantes et considéré comme dangereux.

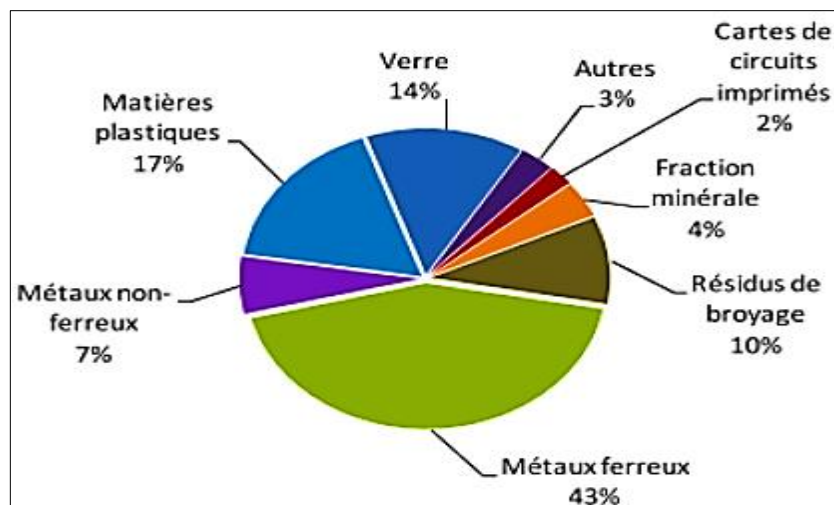


Figure III-1: Composition des DEEE [122]

Certaines substances contenues dans les déchets électriques doivent être traités séparément. Parmi ces substances on a [123] [124]:

- Condensateurs contenant du polychlorobiphényle (PCB) et polychloroterphényles (PCT).
- Composants contenant du mercure, tels que les interrupteurs ou les lampes à rétroéclairage, piles et accumulateurs.
- Cartes de circuits imprimés si la surface de la carte de circuit imprimé est supérieure à 10 cm².
- Cartouches de toner, liquide ou en pâte et les toners de couleur.
- Matières plastiques contenant des retardateurs de flamme bromés.
- Déchets d'amiante et composants contenant de l'amiante.
- Les tubes cathodiques.
- Gaz et huiles comme les Chlorofluorocarbones (CFC), hydrochlorofluorocarbone (HCFC) ou hydrofluorocarbures (HFC), hydrocarbures (HC).
- Écrans à cristaux liquides avec une surface supérieure à 100 cm² et tous les écrans rétroéclairés par des lampes à décharge.
- Câbles électriques extérieurs.
- Composants contenant des fibres céramiques réfractaires
- Composants contenant des substances radioactives à l'exception des composants en quantité ne dépassant pas les valeurs d'exemption fixées par les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants.

- Condensateurs électrolytiques contenant des substances dangereuses.

3.4 Catégories des DEEE

Afin de faciliter le processus de la gestion de flux des déchets d'équipements électriques et électroniques depuis le tri au traitement, il est préféré de les classés en catégories et suivant certains critères. Par exemple, l'union européenne a proposé la *Directive 2002/96/CE*¹⁹ qui classe les appareils concernés en onze catégories [125]:

- Catégorie 1 : gros appareils ménagers
- Catégorie 2 : petits appareils ménagers
- Catégorie 3 : équipements informatiques et de télécommunication
- Catégorie 4 : matériels grand public
- Catégorie 5 : matériel d'éclairage
- Catégorie 6 : outils électriques et électroniques
- Catégorie 7 : jouets, équipements de loisirs et de sport
- Catégorie 8 : dispositifs médicaux
- Catégorie 9 : instruments de surveillance et de contrôle
- Catégorie 10 : distributeurs automatiques
- Catégorie 11 : panneaux photovoltaïques

En 14 août 2018, celles-ci ont été révisées à 7 catégories. De nouvelles familles d'équipements rejoignent les DEEE comme les luminaires, les cartouches d'imprimantes, les groupes électrogènes et les appareillages électroniques. Et d'autre part, les engins spatiaux, les grosses machines industriels et les équipements de l'armée en sont exclus, ce qui nous donne les catégories suivantes [126] :

- Catégorie 1 : équipements d'échange thermique
- Catégorie 2 : écrans, moniteurs
- Catégorie 3 : lampes
- Catégorie 4 : gros équipements
- Catégorie 5 : petits équipements
- Catégorie 6 : petits équipements informatiques et appareils de télécommunication
- Catégorie 7 : panneaux photovoltaïques.

- 19 La directive européenne de gestion des déchets électroniques a été mise en place en octobre 2005.

Les nouvelles catégories sont plus proches des flux de collecte, c'est-à-dire qu'elles correspondent davantage aux types de DEEE collectés et traités séparément. Cette nouvelle classification permet de comparer plus facilement les types d'équipements collectés par rapport aux équipements mis sur le marché qui étaient, à partir de 2018, classés dans l'une de ces sept catégories.

3.5 Gestion des DEEE

Le problème de la gestion des DEEE, qui représentent des déchets complexes, se pose non seulement compte tenu de leur volume croissant, mais aussi de la présence de substances dangereuses qui représentent un risque pour la santé humaine et l'environnement [127]. A titre exemple, on cite le mercure, le cadmium ou le plomb, qui peuvent finir par polluer la terre, l'air et l'eau, et présenter des risques pour la santé des personnes qui travaillent dans l'élimination de ces déchets et sont, de ce fait, exposés à l'intoxication et à l'empoisonnement. Ainsi, la mauvaise gestion de ces déchets peut entraîner la perte inutile de matériaux naturels rares et précieux, tels que l'or, le platine et le cobalt, qui ne sont pas recyclés, exerçant de ce fait une pression sur les ressources naturelles disponibles en quantités limitées [128].

Afin d'obtenir un changement dans la pratique, les concepteurs doivent considérer l'ensemble de la totalité du cycle de vie d'un produit de l'extraction des matières premières, par la fabrication, l'utilisation du produit et la disposition finale. Et à partir de ce faisant, un concept clé de la durabilité véritable est identifié comme une boucle fermée où les flux d'élimination sont détournés pour devenir de nouvelles matières premières / flux de fabrication.

L'ADEME distingue cinq types de stratégies de fin de vie que les fractions sortantes peuvent suivre [129]. Elle sont classés par ordre prioritaire:

1. Préparation en vue du réemploi : le réemploi de l'équipement entier ;
2. Réutilisation de pièces ou sous-ensembles de l'équipement ;
3. Recyclage matière ;
4. Valorisation énergétique : incinération avec récupération d'énergie ;
5. Élimination sans valorisation (mise en décharge, incinération sans récupération d'énergie).

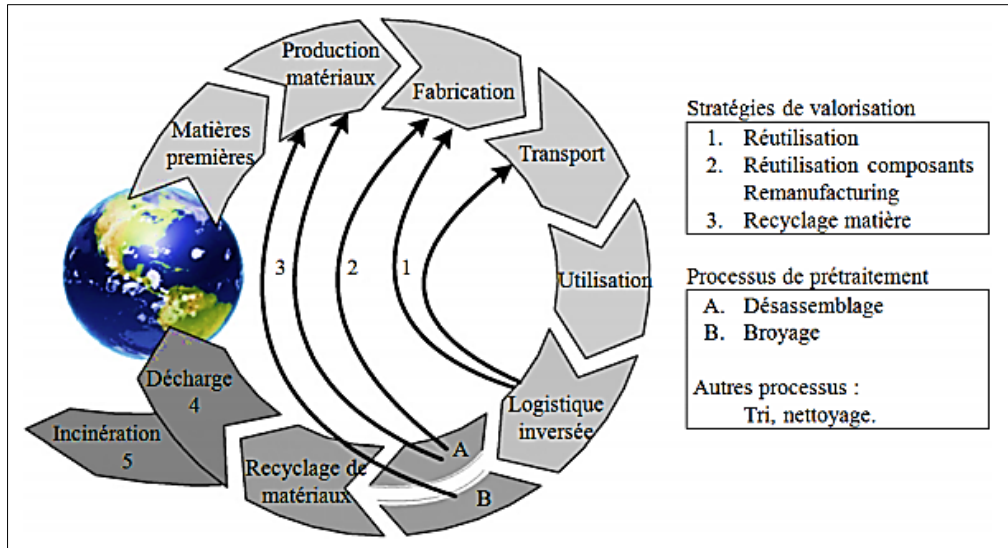


Figure III-2 : Cycle de vie de produit avec les principales stratégies de valorisation [130]

3.6 État de lieu des D3E

3.6.1 Les DEEE dans le monde

Aujourd'hui, la plus part de la population mondiale utilisent Internet. Les adultes et les jeunes sont devenus accros et possédant presque tous un smartphone, un ordinateur ou une tablette. Sur le plan technologique, des équipements tels que réfrigérateurs, climatiseurs, pompes à chaleur, lave-vaisselle, sèche-linge, fours à micro-ondes, aspirateurs, bouilloires, etc. sont devenus plus abordables et la classe moyenne de la planète ne cesse de grandir. L'obsolescence technologique des équipements, souhaitée par les fabricants, accélère l'abandon de vieux équipements et l'achat de nouveaux matériels. Ces données impressionnent mais elles s'accompagnent d'un phénomène moins glorieux : les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE).

Selon un rapport de l'Université des Nations Unies [131] en 2016, plus de 44 millions de tonnes (équivalant au poids de 4.500 tours Eiffel) de déchets d'équipements électroniques et électriques (DEEE) a été atteint dans le monde C'est le poids record avec une hausse de près de 10% par rapport à 2014, puisque ce chiffre était de 41 millions de tonnes. Sur ces 44 millions de tonnes de déchets, seulement 20% ont été recyclés par le biais de canaux appropriés.

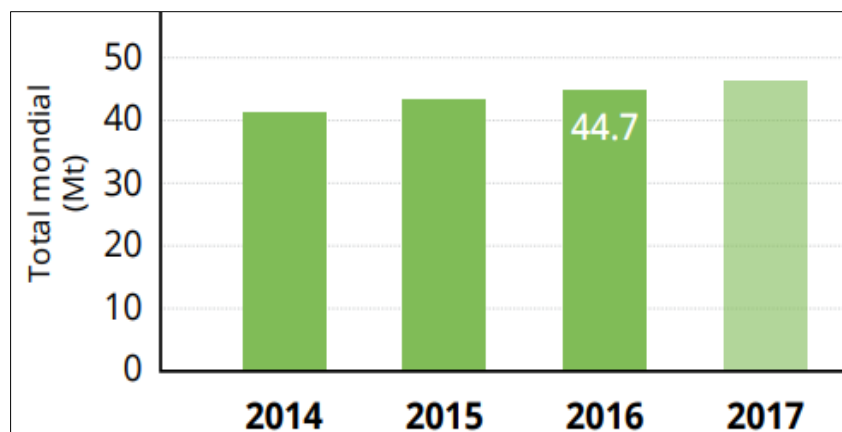


Figure III-3: Déchets d'équipements électriques et électroniques générés dans le monde en 2016

Le troisième rapport du Global E-Waste Monitor pour 2020 [132] a révélé que l'Europe du Nord était le plus grand producteur mondial de DEEE en 2019 avec 22,4 kg par habitant. Cependant, l'étude indique également que l'Europe du Nord a l'un des taux de recyclage des DEEE les plus élevés au monde, à 59%. Le rapport a révélé que l'or, le platine et d'autres métaux précieux d'une valeur de 7,9 milliards de livres sterling étaient «jetés» chaque année en tant que DEEE [131].

En 2019, un record de 54 millions de tonnes de DEEE a été généré dans le monde, indique le rapport. Cela équivaut à 7,3 kg pour chaque personne sur Terre. Cela signifie que la quantité de DEEE produite augmente trois fois plus vite que la population mondiale. Le rapport attribue cette augmentation à un manque de réglementation et à la courte durée de vie des produits difficiles ou impossibles à réparer.

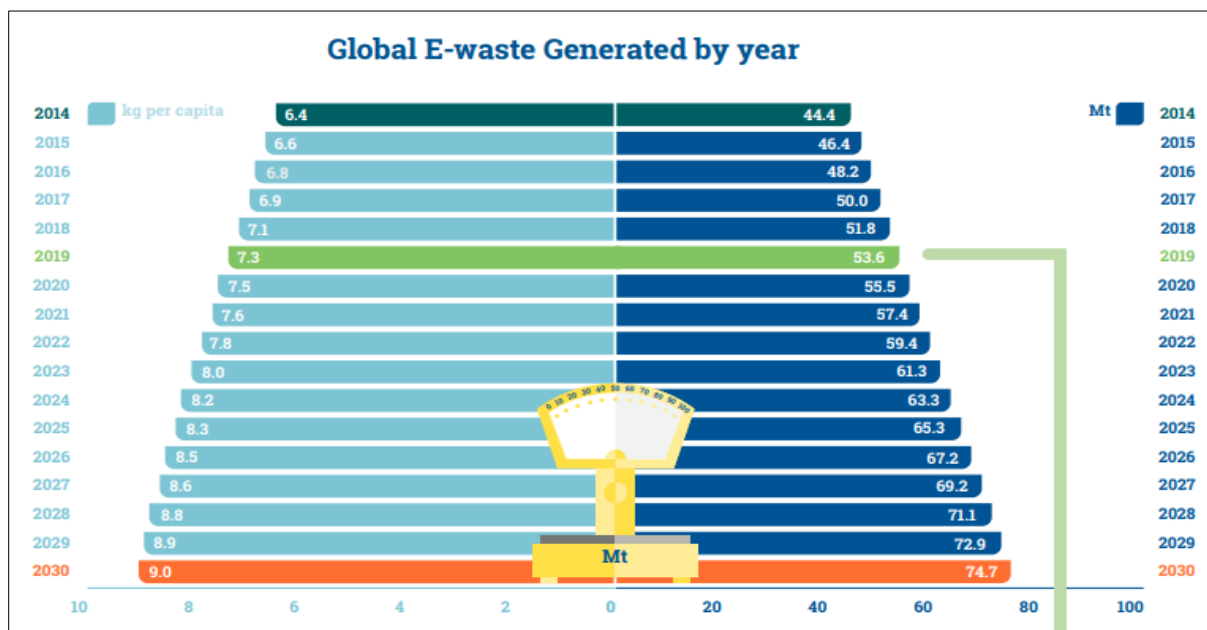


Figure III-4 : Déchets électroniques mondiaux générés par an [132].

La quantité mondiale de déchets électroniques en 2019 comprend principalement le petit équipement (17,4 Mt), le gros équipement (13,1 Mt) et l'équipement d'échange de température

(10,8 Mt). Les écrans et les moniteurs, les petits équipements informatiques et de télécommunication et les lampes représentent une part plus faible des déchets électroniques générés en 2019. Il a été estimé que la quantité de déchets électroniques générés dépassera 74 Mt en 2030.

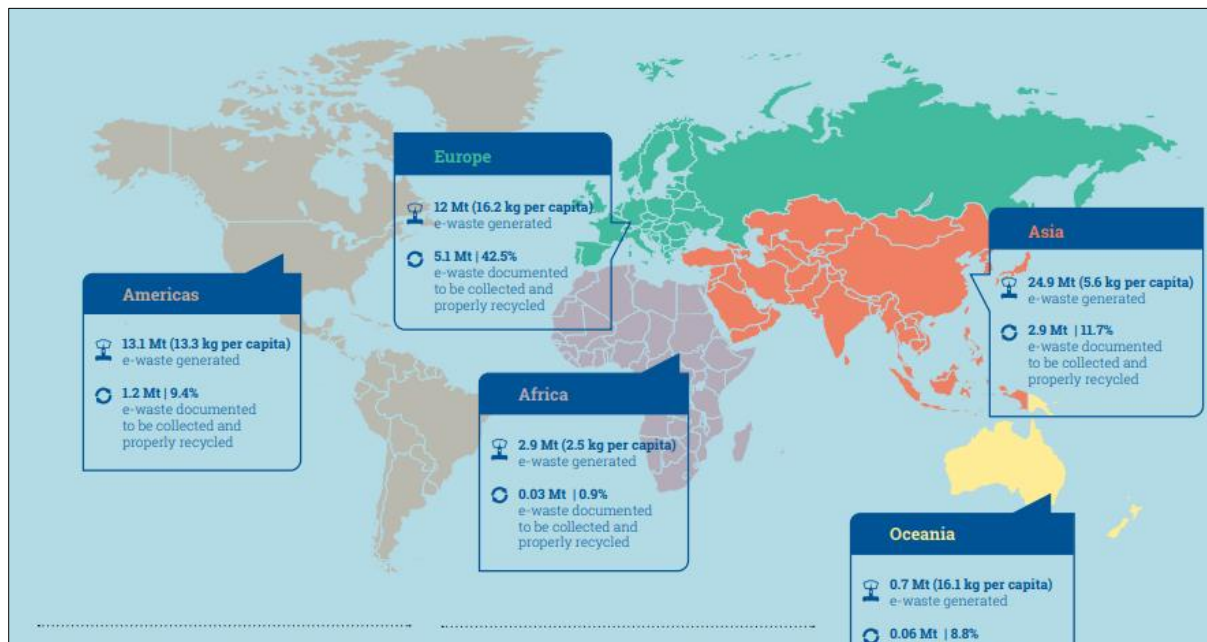


Figure III-5 : les quantités de DEEE générées et collectées dans chaque continent en 2019 [132]

En 2019, la plupart des déchets électroniques étaient générés en Asie (24,9 Mt), tandis que le continent qui en génère le plus en kg par habitant est l'Europe (16,2 kg par habitant). L'Europe est également le continent avec le taux formel de collecte et de recyclage des déchets électroniques le plus élevé (42,5%). Dans tous les autres continents, les déchets électroniques documentés comme étant officiellement collectés et recyclés sont nettement inférieurs aux déchets électroniques estimés générés.

Les statistiques actuelles montrent qu'en 2019, l'Asie se classait deuxième avec 11,7%, les Amériques et l'Océanie se situaient respectivement à 9,4% et 8,8%, tandis que l'Afrique se classait dernière avec 0,9%. Cependant, les statistiques peuvent varier considérablement d'une région à l'autre, car le comportement de consommation et d'élimination dépend d'un certain nombre de facteurs par exemple : le niveau de revenu, la structure du système de gestion des déchets, etc.

3.6.2 Les DEEE en Afrique

La quantité mondiale de DEEE atteint les 54Mt en 2019. La composition hétérogène des déchets électroniques, les défis logistiques énormes et l'organisation complexe des étapes de recyclage peuvent rendre la chaîne de recyclage globale économiquement insoutenable dans les

pays de l'OCDE²⁰ favorisant l'exportation vers les pays à faible revenu. Une application rigoureuse de la convention de Bâle est nécessaire tout en encourageant les États qui n'ont pas encore ratifié la convention à le faire, afin de parvenir à un régime de mise en œuvre global à l'échelle mondiale [133].

Selon les normes mondiales, la quantité d'EEE consommée en Afrique est relativement faible. Cependant, en plus des déchets électroniques générés par la consommation intérieure, une quantité considérable est importée en Afrique, principalement des pays de l'OCDE [134]. Pour aggraver la situation, un certain nombre d'études rapportées sous l'égide du projet E-Waste Africa, ainsi que d'autres évaluations africaines [135] [136] [137], indiquent que la consommation d'EEE en Afrique croît rapidement, ce qui, à son tour, augmentera la quantité de déchets électroniques produits localement à l'avenir [138].

Les pays les plus pauvres sont le marché habituel pour le travail des appareils électroniques usagés. Plus de la moitié des déchets électroniques collectés pour être recyclés dans les pays développés sont envoyés pour le traitement ou l'élimination dans les pays en développement. Au cours de la dernière décennie, des pays africains comme le Nigéria, le Kenya, le Ghana et le Bénin sont devenus les principales destinations d'élimination des déchets électroniques [139]. Il a été estimé que 500 conteneurs d'expédition d'appareils électroniques usagés entrent chaque mois à Lagos, au Nigéria. Chaque conteneur peut contenir environ 350 grands téléviseurs ou environ 800 moniteurs d'ordinateurs ou processeurs. L'absence d'infrastructure pour la collecte et le recyclage appropriés des DEEE et la législation traitant spécifiquement des DEEE font partie des défis auxquels est confrontée la gestion des déchets électroniques en Afrique [140].



Figure III-6 : déchets en Afrique [141]

Des niveaux appréciables de recyclage des DEEE sont en cours [142], principalement tirés par le secteur informel [137]. Les flux de D3E industriels et à grande échelle semblent être traités formellement par les grandes entreprises de recyclage, tandis que les flux domestiques sont

- ²⁰ OCDE (l'organisation de coopération et de développement économiques) : est une organisation internationale d'études économiques, dont les pays membres — des pays développés pour la plupart — ont en commun un système de gouvernement démocratique et une économie de marché.

dirigés vers des décharges. Cependant, il n'existe ni systèmes de reprise organisés ni dispositions de licence pour le tri et le démantèlement des DEEE [143]. Le recyclage des déchets électroniques est une activité lucrative en Afrique et dominée par le secteur informel [144].



Figure III-7 : incinération des DEEE a Agbogbloshie, Accra, Ghana [145]

Les pays africains les plus avancés tels que l'Afrique du Sud, l'Égypte et le Maroc auraient mis en place des installations formelles pour le recyclage des déchets électroniques. Cependant, les avantages écologiques du recyclage sont plus que compensés si les déchets doivent être transportés sur de longues distances en raison des effets environnementaux négatifs de la combustion de combustibles fossiles [146]. D'un autre côté, le Nigéria, le Kenya et le Ghana dépendent toujours fortement du recyclage du secteur informel. Ces techniques de recyclage brutes entraînent souvent une contamination environnementale généralisée.

Il semble que les quantités de DEEE en Afrique sont en augmentation. La contamination associée aux déchets électroniques a déjà provoqué une dégradation considérable de l'environnement sur le continent et affecté négativement la santé de sa population. Les pays riches ont intérêt à atténuer les effets environnementaux négatifs des déchets électroniques, car ils affecteront négativement la qualité et la quantité des aliments et des produits manufacturés importés des pays pauvres.

3.6.3 Les DEEE en Algérie

Par le temps, les D3E ont commencé à envahir les zones urbaines et par conséquent les centres de remblayage et le milieu naturel, annonçant le début de nouveaux problèmes pour le secteur de l'environnement et de la santé en Algérie, dans un défi majeur à l'avenir pour repousser cette énorme quantité de restes d'équipements qui sont destinés autour de l'horloge et partout. Ces déchets spéciaux sont devenus l'encombrement des déchets ménagers ordinaires, forçant les organismes responsables de nettoyage à s'en occuper et les transférant aux décharges et aux zones ouvertes de l'environnement naturel, où ils restent longtemps soumis à des stimuli climatiques tels que la chaleur et l'eau, qui conduit à la décomposition de certains ingrédients dangereux et leur transmission à l'environnement naturel comme le sol, l'eau et l'air [147].

L'Algérie s'emploie actuellement à envoyer des établissements de recyclage spécialisés dans le traitement de ce type de déchets, en raison de la multiplicité des composants des appareils

électroniques. Selon les informations actuelles, un quart des déchets produits chaque année par l'Algérie sont des DEEE, en attente d'unités de recyclage spécialisées dans le traitement des déchets électriques dans ces installations. Les D3E (les photocopieurs et autres équipements sont inclus dans de nombreuses industries mécaniques et médicales.) ont envahi les maisons algériennes, toutes les institutions économiques et diverses installations de services [148].

Les protecteurs de l'environnement en Algérie ont commencé à se diriger vers les décideurs pour trouver une solution rapide à la détérioration de la situation en construisant des entrepôts sûrs pour collecter ces déchets, en attendant l'achèvement des unités industrielles spécialisées dans la valorisation de ce type de déchets et la récupération de divers matériaux sensibles qui entrent dans la fabrication de l'équipement électronique polyvalent.

La section au-dessous à contribuer à l'étude de l'état de lieu de gestion des Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques en Algérie. De façon spécifique il s'agit de :

- Évaluer le flux de DEEE produit en Algérie dans la dernière décennie ;
- Faire l'état des lieux sur les modes de gestion actuelle des DEEE et le niveau de la conscience environnementale en Algérie ;
- Proposer une stratégie de gestion appropriée de ces déchets ;
- Application sur les équipements de production d'énergie électrique.

3.7 Flux de DEEE produit en Algérie

Les déchets électroniques connaissent une forte croissance en Algérie en corrélation étroite avec l'explosion de la production et de la consommation sur des cycles d'utilisation très courts. Cette présence massive de produits électriques et électroniques neufs, de seconde main et de déchets électroniques en Algérie est soutenue par la forte croissance de l'utilisation de l'informatique. Ainsi, on estime à environ 8000 tonnes d'appareils informatiques et 5000 tonnes d'appareils liés à la téléphonie importés en 2010, sachant que la durée de vie de ce type d'équipement varie entre 2 et 5 ans. Selon le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE), la quantité de déchets d'équipement électronique et électrique est estimée à environ 18000 T/an. [149]

3.7.1 Évolution quantitatives des D3E à l'échelle nationale

Les valeurs représentées dans le graphe au-dessous ne représentent que les quantités qui ont été déclarées au niveau des décharges publiques par les agents de l'agence nationale des déchets (AND). En réalité, les valeurs sont plus grandes et due au comportement de citoyen algérien qui préfère de stocker les *EOLPs* chez lui-même ou les vendre aux collecteurs de ferrailles.

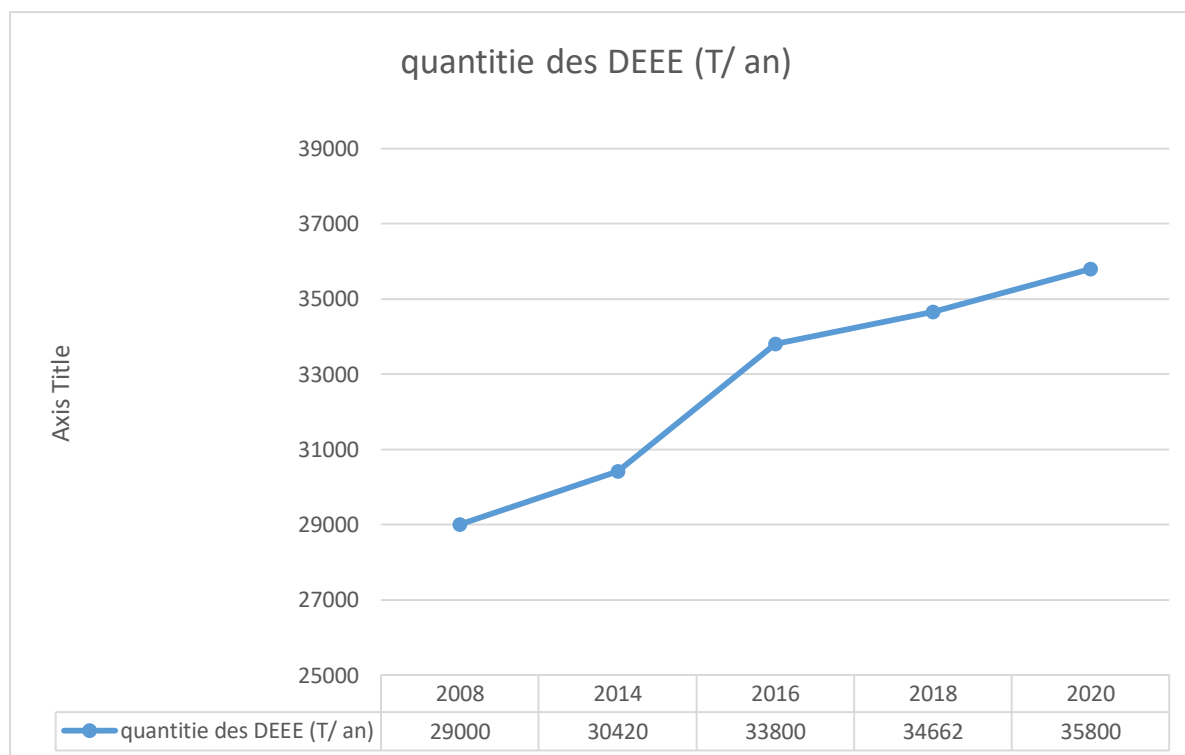


Figure III-8: évolution de la quantité des DEEE en Algérie entre 2008 et 2020

3.7.2 Répartition spatiale des DEEE sur le territoire algérien (2018)

La figure suivante représente la répartition spatiale des déchets d'équipements électriques et électroniques dans chaque wilaya. Les valeurs sont liées aux statistiques qui ont été fait en 2018 par l'équipe responsable des déchets dangereux en Algérie de l'AND. Toujours, ces valeurs expriment seulement l'état des D3E au niveau des décharges légales dans les 48 wilayas.

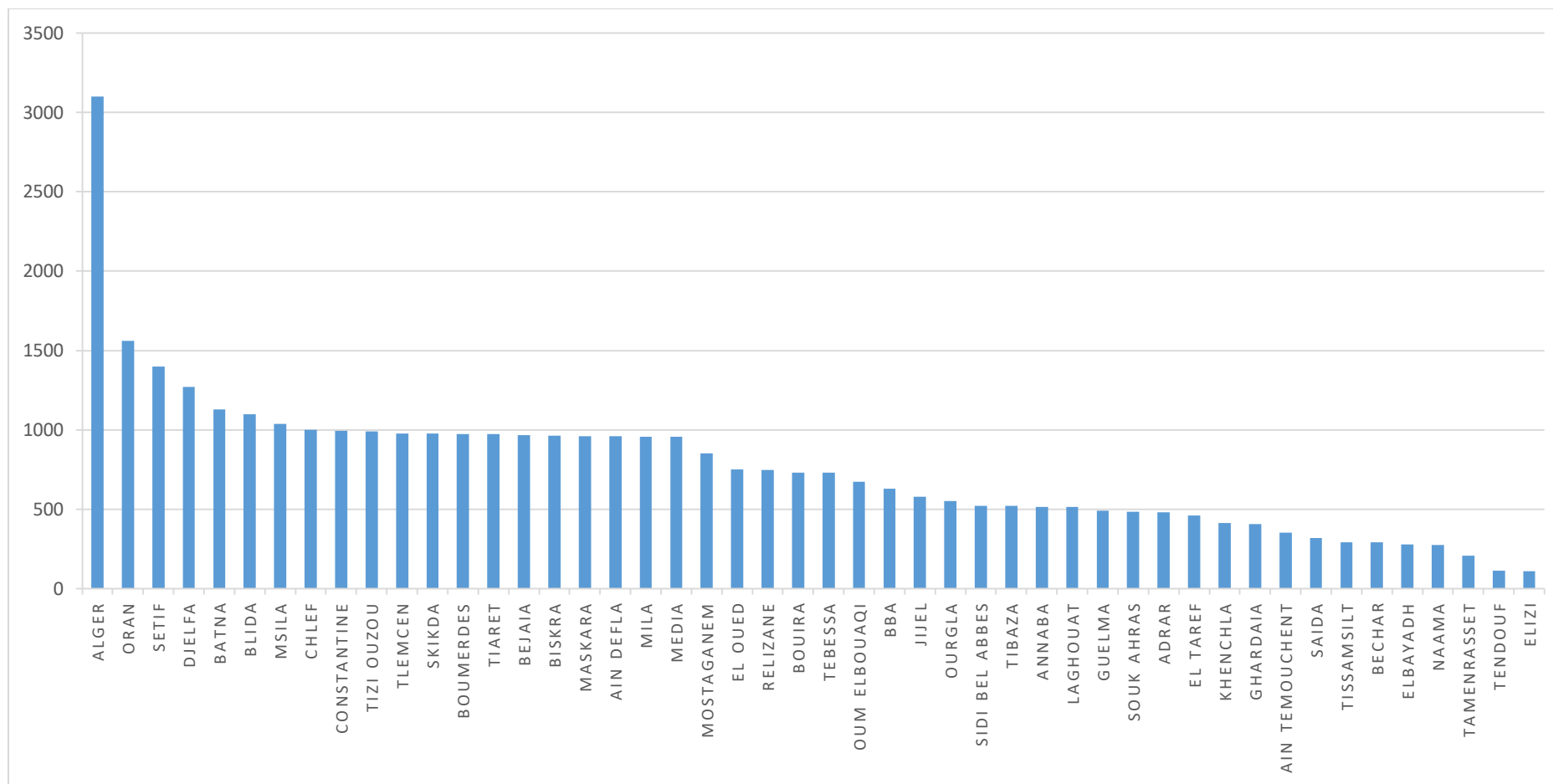


Figure III-9: Répartition spatiale des DEEE sur le territoire algérien

3.7.3 Répartition de la quantité des D3E en Algérie par catégorie

Ce graphique montre les ratios annuels des D3E par rapport à la densité populaire. Là où on remarque que les EEE caractérisés par une durée de vie fortement courte (matériel d'éclairage comme les lampes) représentent la portion la plus grande (54%), suivies successivement par le matériel de grande publique (13%) et les équipements de TIC (13%) avec une durée de vie proche de 5 ans ; puis, les petits appareils ménagers (10%) et les gros appareils ménagers (5%) qui durent jusqu'à 20 ans. Les autres catégories sont de portions inférieures de 2%. La catégorie des panneaux photovoltaïques n'était pas traitée dans cette étude établie par l'AND (un nouveau secteur ou les produits n'arrivent pas à la phase de maturité et avec une quantité négligeable).

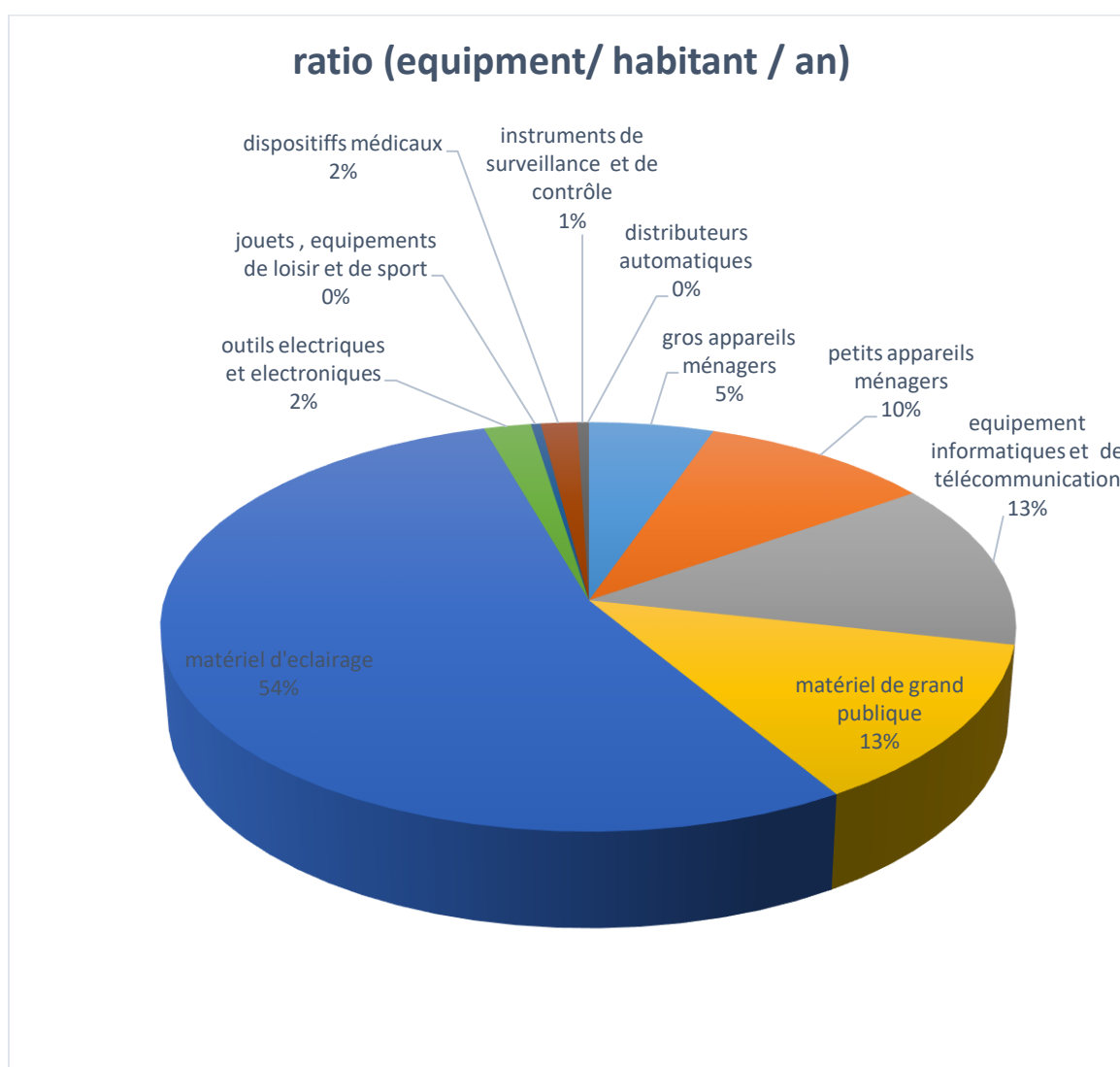


Figure III-10: la quantité des D3E en Algérie par catégorie

3.8 L'état des lieux sur les modes de gestion actuelle des DEEE

3.8.1 Cadre juridique et institutionnel

3.8.1.1 Cadre législative

L'Algérie ne dispose pas d'une législation spécifique aux déchets électroniques. Cependant, ces derniers sont soumis aux lois relatives aux déchets dangereux (déchets spéciaux) en vigueur. Concernant le transport transfrontalier de ces déchets, il obéit aux conventions de Bâle et de Basel²¹. Les lois et textes se résument comme suit :

- Loi n°01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, définit les principes de base qui conduisent à une gestion intégrée des déchets, de leur génération à leur élimination ;
- Loi n°03-10 de la 19/07/2003 relative à la protection de l'environnement et au développement durable, consacre les principes généraux d'une gestion écologique rationnelle ;
- Loi n°04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable, définit clairement les responsabilités de chacun des acteurs impliqués dans le domaine de la prévention au niveau des zones et des pôles industriels ;
- Décret exécutif N°03-477 du 9 décembre 2003 les modalités et procédures d'élaboration, de publication et de révision du plan national de gestion des déchets spéciaux ;
- Décret exécutif N°06-104 du 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets y compris les déchets spéciaux dangereux ;
- Décret exécutif N°06-138 du 15 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeur, particules liquides ou solides ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle.

3.8.1.2 Cadre institutionnel

- Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement *MATE* à travers ses différents instruments en particulier, l'Agence Nationale des Déchets *AND*²², l'Observatoire national de l'environnement et du développement durable *ONEDD*²³, le

- ²¹ Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal

- ²² Créée par le décret exécutif n°02-175 du 20 mai 2002. Elle permet de disposer d'un instrument adéquat pour apporter de l'aide aux collectivités locales en matière de mise en œuvre de la politique nationale des déchets.

- ²³ Créé le 3 avril 2002. C'est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. L'observatoire est régi

Centre National de technologies plus propres **CNTPP**²⁴ et les 48 Directions de l'environnement de Wilayas **DEW**²⁵ ;

- Ministère de l'industrie et des investissements ;
- Ministère du commerce.

3.8.2 Mode de gestion actuel

Malgré l'importance du gisement existant qui dépasse 36 000 tonnes, aucun investissement n'est programmé par l'état pour le traitement de ces déchets. Il faut noter qu'à ce jour, on ne dispose pas d'infrastructures de stockage, de dépollution, de recyclage et de valorisation adaptées aux **DEEE**. Ainsi, la grande portion de ces déchets est pris en charge par le secteur informel insuffisamment équipé et sans aucune formation pour les gérer dans de bonnes conditions en quête de matières de valeur (cuivre, composants, etc.) au moment où la gestion artisanale des D3E représente des risques pour l'environnement et la santé de milliers de travailleurs de l'économie informelle et de la population en général. Cependant, une organisation de la filière représente une véritable opportunité, car les déchets électroniques constituent de véritables mines de matières premières secondaires à forte valeur ajoutée. A ce stade, aucun projet sur la filière n'a été matérialisé par l'état d'une manière formelle. D'autre part, les récupérateurs (formels et informels) de ferraille ou de plastique représentent le seul investisseur de ces déchets (les matériaux récupérés sont dédiés à l'exportation) jusqu'à 2012 ou des sociétés privées ont commencé d'investir dans le recyclage de certains substances des DEEE. Parmi ces sociétés, on cite [150] [151] [152] [153]:

Tableau III-1: liste des investisseurs dans le recyclage des DEEE

Nome de société	localisation	Date de création	spécialité
R-TECH	Bouira	2012	Reconditionnement et recyclage des cartouches d'encre et de toner pour imprimantes laser.
RECIBAT,SARL	Ghardaia	2012	<ul style="list-style-type: none"> • Récupération et recyclage de déchets métalliques industriels. • Collecte et recyclage des piles et batteries usagées.

par les règles applicables à l'administration dans ses rapports avec l'état et il est réputé commerçant dans ses relations avec les tiers.

- ²⁴ C'est un établissement public créé par le décret exécutif n°02262 du 17 aout 2002, modifié et complété par le décret exécutif n°19-11 du 23 janvier 2019.
- ²⁵ Créées par décret exécutif n°96-60 du 27 janvier 1996 portant la création de l'inspection de l'environnement de wilaya. Les directions de wilaya ont trois grands axes d'activités : la coordination, le contrôle et l'information.

INCINERA D'ALGER	Alger	2014	<ul style="list-style-type: none"> • Collecte et traitement de déchets toxiques. • Collecte et traitement des boues et déchets mercuriels. • Collecte et élimination des déchets biochimiques.
ARAB METALS, SPA	Alger	2012	Séparation et récupération du métal et du plastique des câbles électriques
AUP ALGERIA UNIVERSAL PAPER, SARL	Alger		Recyclage des cartouches d'encre et de toner pour imprimantes laser
CENTRE D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE, EPIC	Oran	2012	Séparation et récupération du métal et du plastique des câbles électriques.
CUISITECH, SARL	Alger	2013	Collecte et recyclage d'appareils électroménagers (pour assurer la disponibilité des pièces de rechange à ses produits vendus).
ENTREPRISE DE RÉCUPÉRATION OUEST, SPA	Oran	1997	Séparation et récupération du métal et du plastique des câbles électriques.

Parmi les travaux réalisés au cours de la collecte des données relatives à notre sujet, nous avons organisé des visites de terrain afin de constater la gestion faite des DEEE par la population. Les visites ont été effectuées au niveau de la wilaya de M'sila (autres wilaya ont été planifié comme Mostaganem, Bejaia, Sétif, BBA et Tlemcen mais il a été difficile d'effectuer des visites à cause du confinement). Dans l'absence d'une politique de collecte sélectif de déchets, ces visites ont pour objectif d'identifier les différents modes de gestion des DEEE existants dans les déchets ménagers et assimilés, la participation aux opérations de tri, de conditionnement et de stockage des déchets dans les décharges publiques et les centres d'enfouissement; de dénombrer le nombre de sites de démantèlement.

3.8.2.1 L'organisation de la gestion des déchets en Algérie

Commençant par l'organisation de la gestion des déchets en Algérie qui consiste en toute opération de la collecte au traitement des déchets²⁶. On distingue quatre opérations dans le mode de gestion des déchets existant en Algérie :

- La collecte des déchets, c'est l'opération de ramassage et/ou le regroupement des déchets en vue de les transférer vers un lieu de traitement.
- Le tri des déchets présenté par la séparation des déchets selon leur nature en vue de leur traitement, par exemple le papier, plastique, ...

- ²⁶ Y compris le contrôle de ces opérations

- La valorisation des déchets qui englobe la réutilisation, le recyclage ou le compostage²⁷ des déchets.
- L'élimination des déchets comprend les opérations de traitement thermique, physico-chimique et biologique, de mise en décharge, d'enfouissement²⁸, d'immersion²⁹ et de stockage des déchets.



3.8.2.2 L'organisation de la gestion des déchets dans la wilaya de M'sila

La législation algérienne rend les communes responsables de l'ensemble des déchets urbains solides. Elles doivent organiser sur leur territoire un service public permettant de collecter, transporter et de traiter de ces déchets. D'autre part, la concession représente le mode par lequel le secteur privé formel est exercé en Algérie³⁰.

Les institutions chargées de la collecte et de la gestion des déchets au niveau de la wilaya sont l'APC et *EPWG-CET*³¹ (l'établissement public de gestion des centres d'enfouissements³² techniques de la wilaya de M'sila). Ces deux institutions partagent la mission de la façon montrée dans les illustrations au-dessous :

-
- ²⁷ Le compostage est un processus biologique dans lequel les déchets organiques sont transformés par des microorganismes en un produit valorisable appelé compost.
 - ²⁸ Enfouissement des déchets regroupe tout stockage des déchets en sous-sol.
 - ²⁹ Immersion des déchets comprend tout rejet de déchets dans le milieu aquatique.
 - ³⁰ La loi 01-19 du 12 décembre 2001 prévoit l'ouverture de service public de gestion des déchets urbains à l'investissement privé et à la concession. Dans le domaine du recyclage et de la récupération des déchets
 - ³¹ C'est un établissement public à caractère commercial et industriel, l'établissement a été créé sur la base d'un arrêté interministériel du 08/11/2008 entre le ministère de l'intérieur, les collectivités locales, le ministère de l'aménagement et de l'environnement et du tourisme et le ministère de finance. L'établissement a commencé leurs taches en 01/07/2010 après la finalisation de toutes les procédures administratives, organisationnelles et techniques.
 - ³² Les centres d'enfouissements gérés par l'EPWG-CET sont :
 - Centre d'enfouissement technique des déchets ménagers intercommunaux de la daïra de Boussaâda.
 - Centre d'enfouissement technique des déchets inertes de la commune de M'sila.
 - Unité de tri des déchets pour la commune de M'sila.
 - Centre d'enfouissement technique des déchets ménagers intercommunaux de la daïra d'Ain El Melh.
 - Centre d'enfouissement technique des déchets inertes de la commune de Boussaâda.

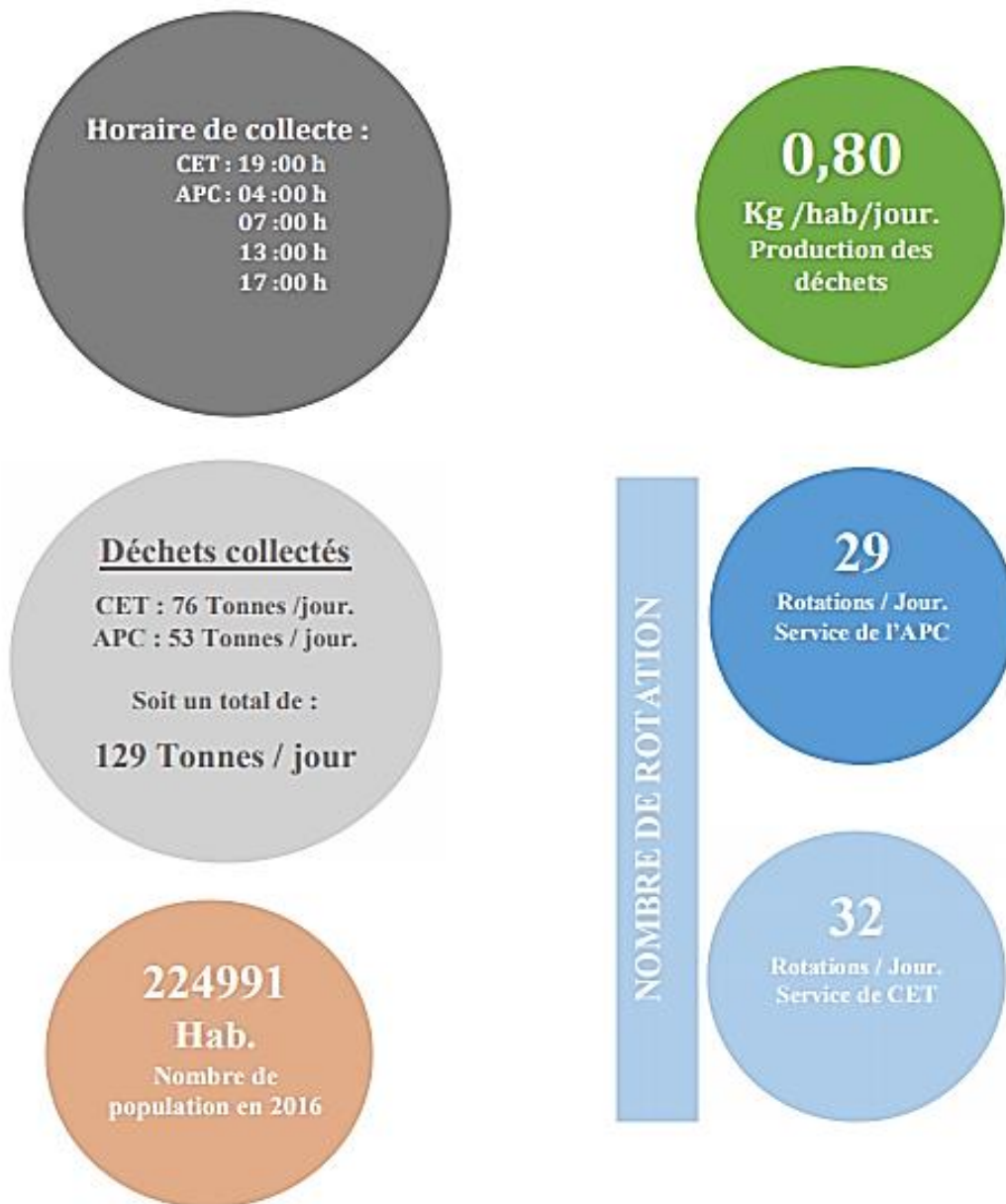


Figure III-11: Chiffres Clés sur la gestion des déchets au niveau de la commune [154]

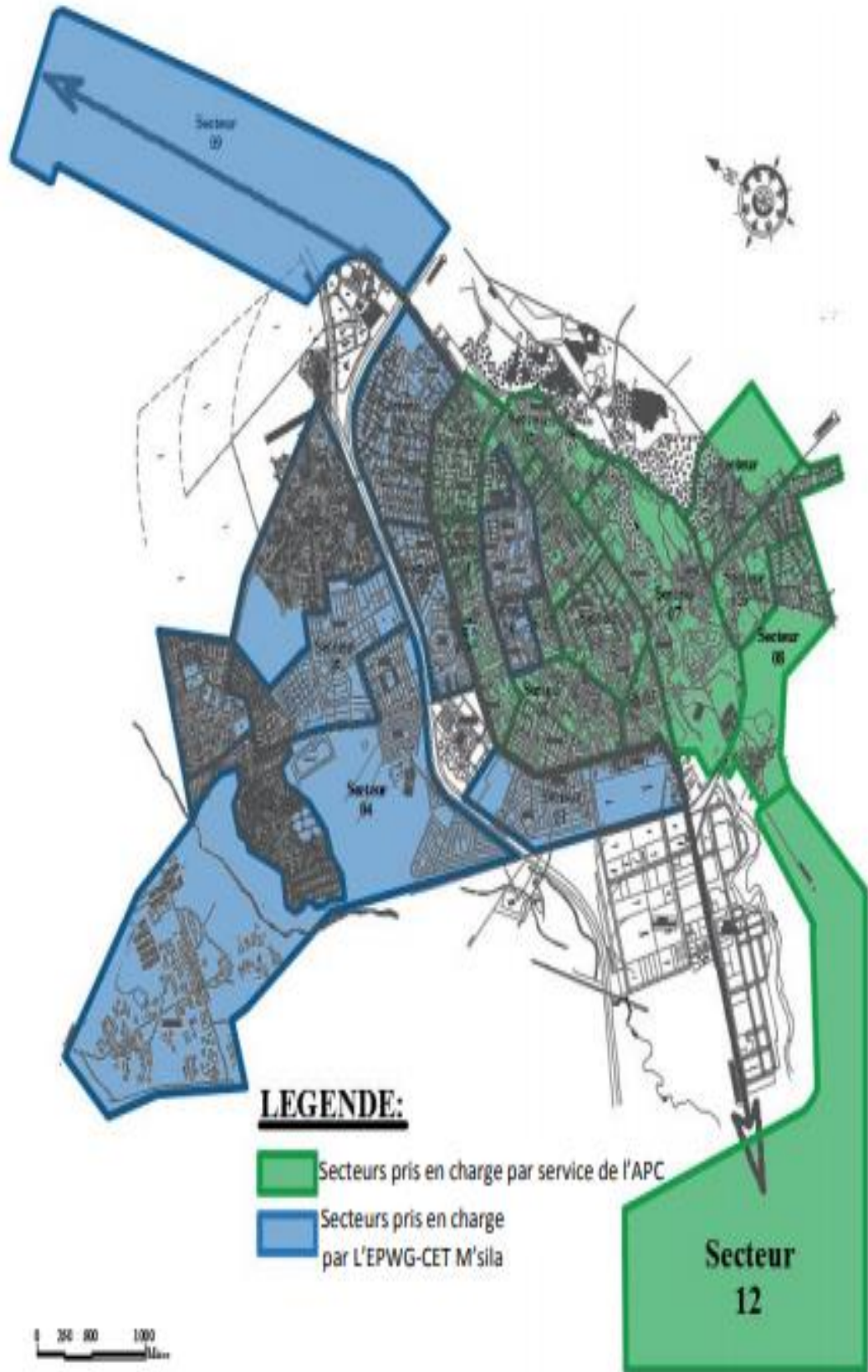


Figure III-12: Carte représente le découpage en secteur pour la collecte des déchets. (ajouter une référence)

La quantité des déchets collectés par les CET représente 56% de la quantité annuelle des déchets ménagers déversés au niveau du CET de M'sila, soit l'équivalent de 30815 Tonnes, et la quantité enlevée par le service de l'APC représente 39.7% soit 21747 tonnes. Enfin, 4.3% soit 2572 tonnes est la quantité déversée par les autres acteurs conventionnés (les déchets assimilables aux ordures ménagères) comme : Clinique EL KALAA, FAÏENCERIE ALGÉRIENNE, Clinique HODNA ...etc.

Afin d'améliorer la gestion des déchets, il faut les caractériser. La caractérisation des déchets au niveau de la commune de M'sila est élaboré par un bureau d'étude français (GIRUS) le 27/11/2014 et engagé par la direction de l'environnement de la Wilaya de M'sila. Les résultats obtenus par le bureau sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III-2: les catégories et sous-catégories selon la nomenclature

	CATEGORIES / Sous catégories
DECHETS PUTRESCIBLES	Déchets alimentaires / Déchets verts
	Autres déchets putrescibles
PAPIERS	Journaux / Papiers recyclables
	Autres papiers
CARTONS	Emballages cartons plats
	Emballages cartons ondulés
	Autres cartons
TEXTILES	Textiles
TEXTILES SANITAIRES	Textiles sanitaires
PLASTIQUES	Plastiques souples
	Bouteilles / Flacons recyclables
	Autres plastiques
COMBUSTIBLES	Combustibles non classés
VERRE	Verre recyclable
	Autre verre
COMPOSITES	Briques alimentaires
	Autres composites
METAUX	Emballages métaux ferreux
	Emballages métaux non-ferreux
	Autres métaux
INCOMBUSTIBLES	Incombustibles non classés
DECHETS DANGEREUX	Déchets Dangereux des Ménages
FINES	Fines inférieures à 20 mm

Comme il est présenté dans le graphe (figure 13), les déchets alimentaires ou les déchets verts ne représente que 33,6% de la quantité totale. Au temps que les DEEE présenté par les incombustibles non classés et autres composites représentent 12.7% de la quantité collecté de déchets ménagers.

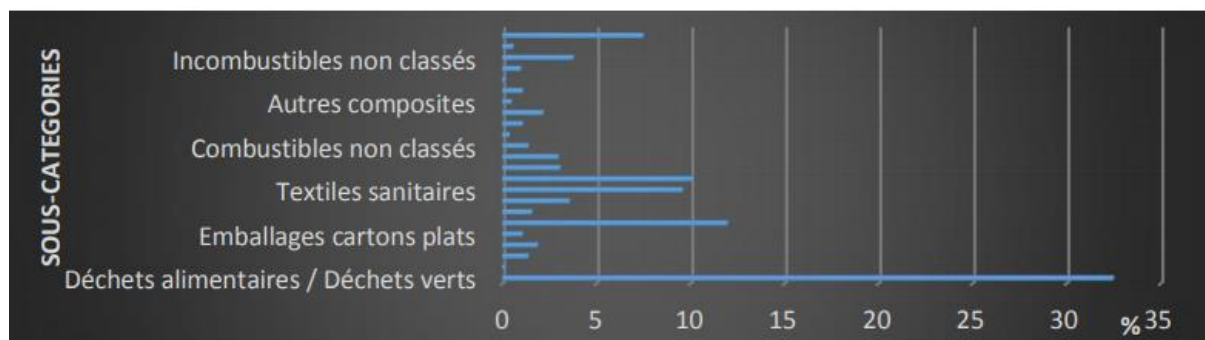


Figure III-13: les compositions des déchets ménagers de la commune de M'sila

La gestion de ces gisements de déchets passe par trois voix :

3.8.2.2.1 Dans les décharges

Les déchets collectés sont déposés dans les décharges publiques contrôlées. Puis, ils sont brûlés dans un incinérateur (l'énergie n'est pas récupérée). Les déchets concernés englobent les ordures ménagères ; les déchets industriels banals ; les déchets industriels dangereux ; les boues de station d'épuration ; et les déchets d'activité de soins à risques infectieux. La création des EPWG-CET a été pour objectif d'éliminer ces décharges.

3.8.2.2.2 Dans les CETs

La gestion des déchets ménagers passe par plusieurs étapes au niveau du centre d'enfouissement technique, à savoir :

- la réception des camions se fait au niveau du poste de garde, puis l'agent l'oriente vers le poste de contrôle.
- au niveau du poste de contrôle, un ingénieur effectue un contrôle visuel pour identifier la nature des déchets. Si les déchets ne sont pas conformes aux conditions d'acceptations, le camion est refusé. Les informations concernant, le chauffeur, le camion, date et heure de son accès, aussi que son poids des camions autorisés vont être enregistrés.
- une fois la quantité déchargée dans le casier, un personnel est chargé du tri manuellement.



Figure III-14: réception des déchets

le chauffeur, le camion, date et heure de



Figure III-15: la décharge dans les casiers

Tous les genres de déchets triés tel que le plastique, papier carton, métaux, verre, textiles, cuir, bois sont déposés au niveau des quais de stockage et seront mis en vente aux enchères par l'*EPIC* gestionnaire du CET.



Figure III-17: tri de carton



Figure III-16: stockage des obtenues triés

- Les autres matières organiques seront enfouies au niveau du casier. Celle-ci consiste au compactage par le biais d'un compacteur appelé pied de mouton pour obtenir le maximum d'eau qui se trouve au niveau des déchets compactée avant l'enfouissement.



Figure III-18: le compactage dans les casiers

3.8.2.2.3 L'unité de tri

Au niveau de cette unité, après un tri semi-automatique des déchets, les obtenues sont soit dédiés au CETs (déchets verts/ organiques) ou bien stockés comme une enchère pour EPIC-CET (déchets recyclables).



Figure III-19: l'opération de tri au niveau d'unité de tri M'sila

Récemment, l'AND a lancé le projet **BOURCE** qui vise à organiser le secteur des récupérateurs des déchets recyclables et de remplacer le concept enchère qui a été utilisé depuis 2010.

3.9 Niveau de la conscience environnementale en Algérie

Nous avons effectué un questionnaire sur internet afin d'apprécier le niveau de connaissance de l'impact des DEEE sur l'homme et son environnement et la vérification de la faisabilité des actions à tester.

3.9.1 Aspect méthodologique

L'objectif du questionnaire qui se trouve dans l'annexe, est de voir la relation du citoyen algérien avec les produits électriques et électroniques, son comportement avec eux et avec leurs déchets.

Nous avons formulé le questionnaire, allant des questions basiques (âge, sexe,...), arrivant au autres plus précises qui montrant comment le citoyen algérien s'occupe de ce type d'équipements. Il contient 04 types de questions :

- Des questions fermées à échelle ordinale (à paine/ quelquefois/ fréquemment et toujours) ;
- Des questions fermées dichotomiques (oui/non) associées à des questions ouvertes (Si oui, que pensez-vous) ;
- Des questions fermées multiples.

L'échantillon des gens qui a répondu durant tout le mois de la soumission de questionnaire été formé de 253 personnes. Ce questionnaire ne s'adressait pas à une certaine catégorie de la société, car cela va concerner toute personne consciente. Nous l'avons diffusé en ligne, sur les réseaux sociaux et même par email pour avoir le maximum de réponses.

Nous avons créé ce questionnaire sur Google form, qui est une application d'administration d'enquêtes. Elle permet de créer des questionnaires et des enquêtes en ligne. Son utilisation procure de multiples avantages, dont : le traitement d'une quantité importante d'informations dans un délai réduit, la collecte et l'analyse de données avec une grande précision, l'accès à un outil de sondage gratuit et sans publicité.

3.9.2 Résultats

Le premier Mai 2020, on comptait 253 réponses au questionnaire dont 67.7 % ont été faite par des femmes et 32.3% par les hommes. La catégorie des gens avec un âge compris entre 15 et 25 ans a eu le pourcentage le plus élevé des réponses avec 53.2% car la majorité de ces réponses été faite par des universitaires, suivie par les gens d'un âge entre 25-35 ans avec un pourcentage de 33.9%, puis ceux de 35-50 ans avec 9.7%. Les gens les plus âgés ont eu le pourcentage le plus faible de réponses.

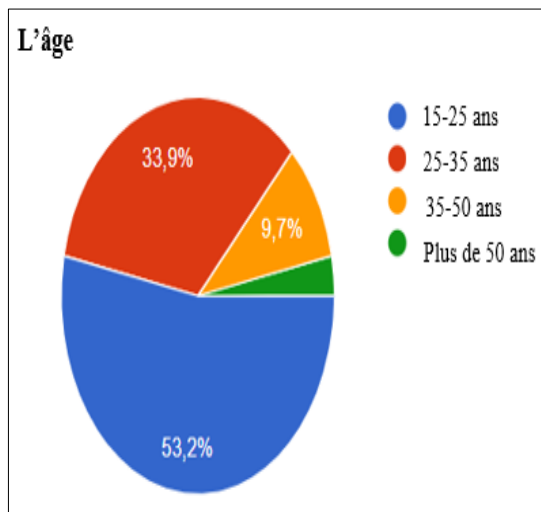


Figure III-21: graphique des réponses

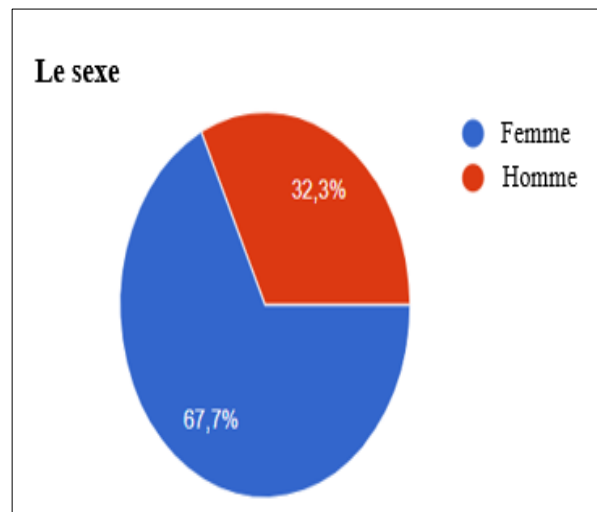
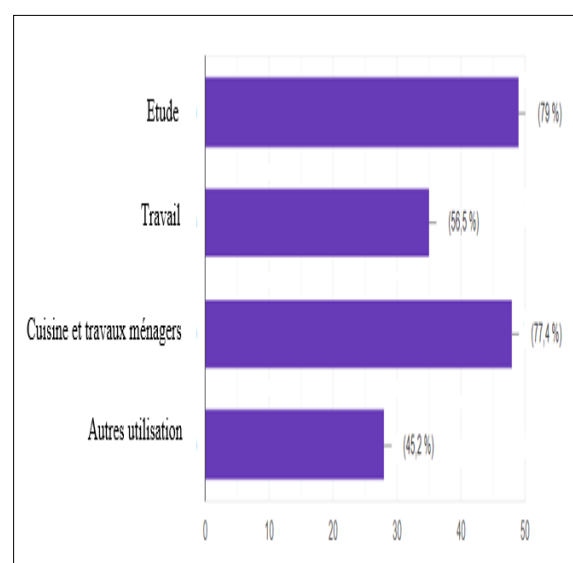
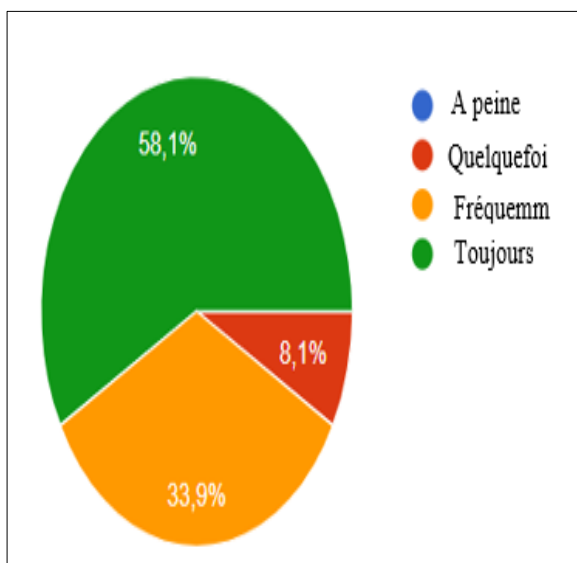


Figure III-20: graphique des réponses selon le sexe

Rubrique 1 sur 5



D'après les résultats du taux de réponses aux questions 4 et 5, on voit clairement que la plus grande partie des gens (58.1%) utilisent presque toujours les équipements électroniques dans leurs vies quotidiennes et surtout dans leurs étude (79%) et travaux ménagers (77.4%). Cela signifie que ces équipements font désormais une partie intégrante des utilisations journalières du citoyen algérien.

Rubrique 2 sur 5

Cette partie est pour objectif de montrer la capacité du consommateur algérien d'acheter un équipement électronique, combien peut-il dépenser pour l'avoir et quelles sont les critères qui le poussent à faire ça.

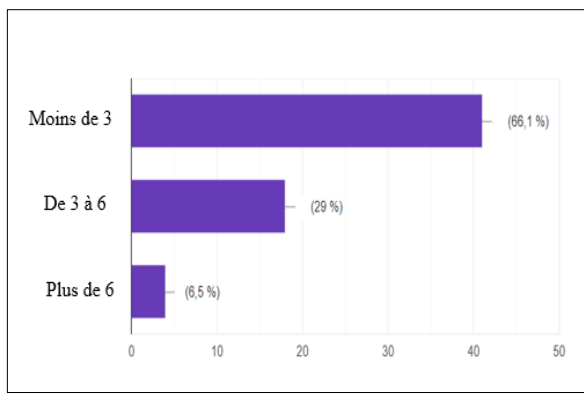


Figure III-25: graphique de la moyenne d'achat un EEE par an

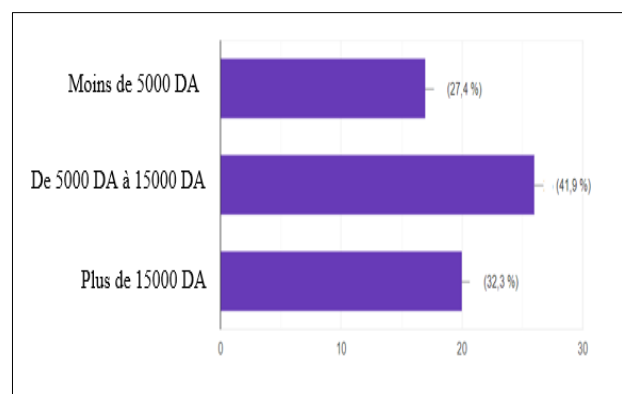


Figure III-24: graphique de la dépense des gens sur un EEE par an

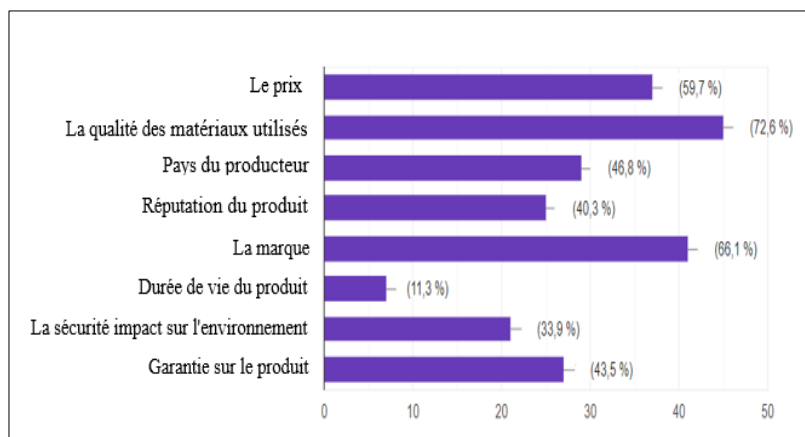


Figure III-26: graphique des critères d'achat d'un EEE

Ces résultats montrent que la majorité des gens (66.1%) ont la capacité d'acheter au moins un appareil électrique et électronique par ans, ainsi que 6.5% d'eux peuvent l'acheter aussi, même plus que six fois par ans (question 1). Leurs dépenses sur un équipement (entre 5000 DA et 15000 DA) a un pourcentage de 41.9%, même qu'il y en a ceux qui peuvent y aller jusqu'à plus de 15000 DA pour l'avoir (question 2). Le critère qui a le plus d'impact sur ces achats est celui

de la qualité des matériaux utilisés, dont son pourcentage est de 72.6%, suivit par la marque avec 66.1%. Pour les autres critères, leur pourcentage varie entre 40 et plus de 50%, tandis que la durée de vie de l'appareil et son impact sur l'environnement sont les derniers soucis du citoyen algérien (question 3).

Rubrique 3 sur 5

L'intérêt de cette rubrique est de voir le comportement du citoyen algérien pendant son utilisation de ce type d'appareil.

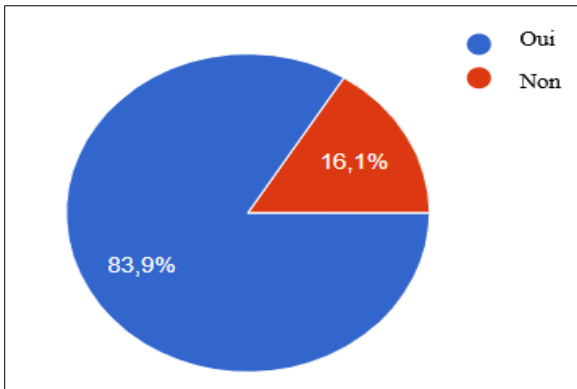


Figure III-28: graphique de suivi des gens au manuel d'instructions

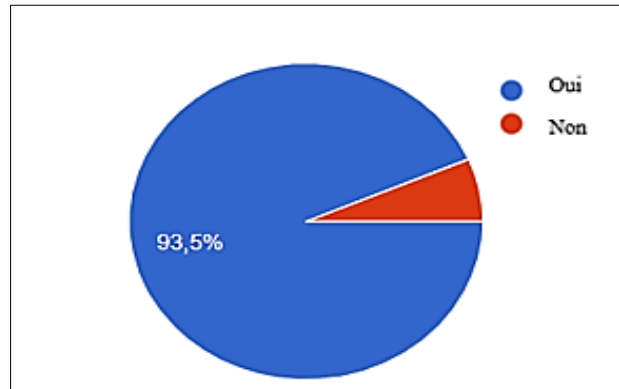


Figure III-27: graphique de suivi des gens la norme et conditions d'utilisation

Pendant l'utilisation de ces équipements électriques et électroniques, presque tous les citoyens (83.9%) utilisent et suivent le manuel d'instructions lors de l'installation et de la livraison du produit. Il respecte même les normes et les conditions de son utilisation (question 2 et 3).

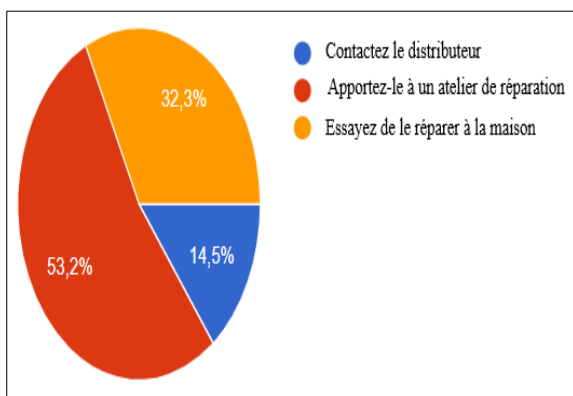


Figure III-30: graphique de la procédure suivie lors que l'appareil se plante

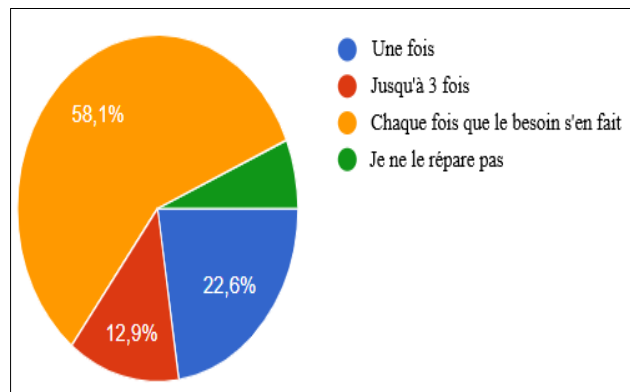


Figure III-29: graphique qui montre à quelle fréquence les gens peuvent réparer leur appareil

Lorsque cet appareil plante, plus que la moitié des gens préfèrent l'apporter à un atelier de réparation, et de faire ça chaque fois que le besoin s'en fait sentir (question 4 et 5).

Rubrique 4 sur 5

L'objectif de cette rubrique est de voir le comportement du citoyen algérien avec les équipements électriques et électroniques expirés.

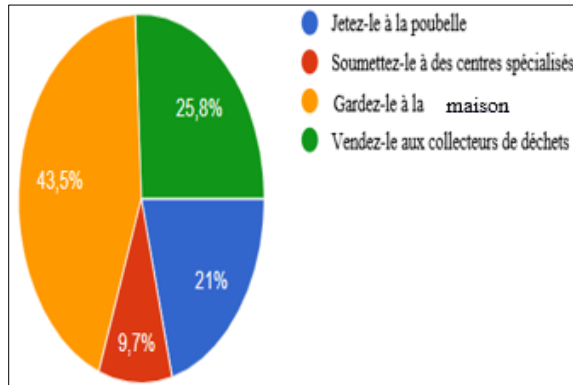


Figure III-32: graphique qui montre comment les citoyens se débarrassent de leurs produit expiré

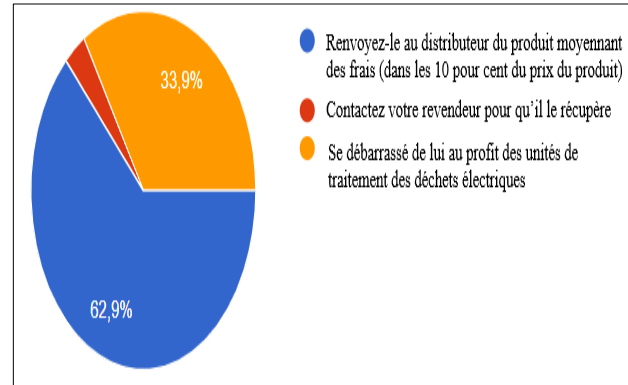


Figure III-31: graphique des procédures proposées

Généralement, ces citoyens s'arrêtent d'utiliser leurs équipements quand celui-ci perd ses performances, ou lorsqu'il expire complètement (question 1). Tandis que la plus part de ces citoyens (43.5%) préfèrent toujours de le garder chez eux, au lieu de les soumettre à des centres spécialisés dans sa collecte, ou de les vendre aux collecteurs de déchets locaux (question 2).

Dans le cas où il existe de nouvelles politiques pour traiter ces produits, 98.4% des gens étaient pour de s'adapter avec ces derniers (question 4). Parmi les procédures proposées dans la dernière question de la rubrique, 62.9% préfèrent de les renvoyer au distributeur du produit moyennant des frais, et 33.9% veulent se débarrasser de lui au profit des unités de traitement des déchets électriques. Ainsi, ces citoyens encouragent la création d'un marché d'investissement dans ce type de déchets, au lieu de les brûler et causer de la pollution (question 3).

Rubrique 5 sur 5

Dans cette partie, nous avons remarqué que plus de 50% des personnes interrogés ont déjà acheté des produits électroniques d'occasion, ou bien à partir des ateliers de réparation (question 1 et 2), et trouvent que le retraitement et le recyclage sont possibles dans notre pays, mais plusieurs difficultés se posent devant ça :

- En raison des moyens et capacités limitées ;
- Il n'y a pas d'agences dans le pays qui se soucient vraiment de ce type de déchets ou qui savent à quel point il est dangereux ;
- Le manque de conscience, et l'impact de la mentalité algérienne.

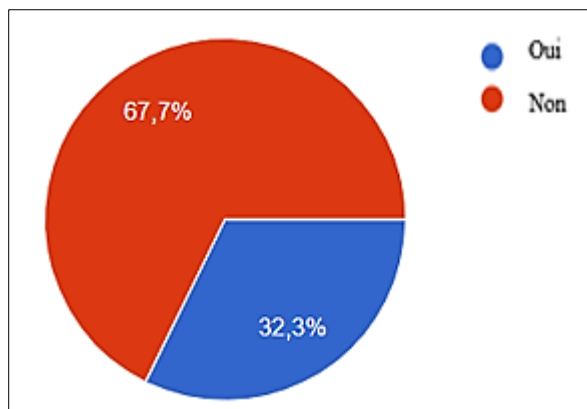


Figure III-34: : graphique qui montre la conscience des gens aux nouveaux produits commercialisés en Algérie

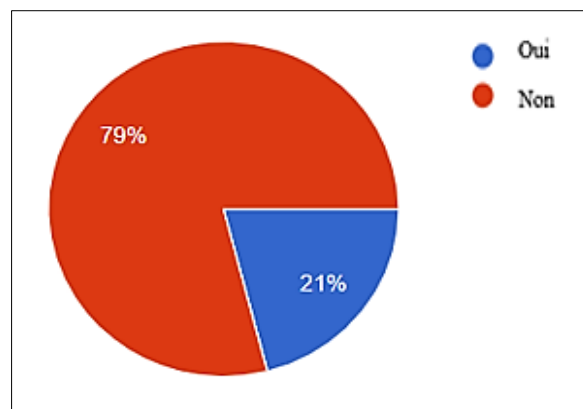


Figure III-33: graphique de la possibilité que le citoyen algérien soit conscient par l'importance de l'économie circulaire

Plus de 67% des algériens interrogés ne savent pas toujours que les produits électroniques et électriques commercialisés en Algérie en tant que nouveaux produits contiennent de 20 à 90% de pièces pré-utilisées et recyclées (question 5), et que le produit remanufacturé selon des conditions conformes aux normes internationales correspond à la qualité du premier produit et peut être meilleur que lui (question 6). Les réponses à la huitième question montrent que 79% des personnes pensent que le citoyen algérien en général, n'est pas suffisamment sensibilisé pour adopter le principe d'une économie circulaire basée sur le recyclage et la remise à neuf de produits pour préserver les ressources environnementales et réduire la pollution, c'est ce qui est une source d'intérêt très importante actuellement.

3.10 Proposition d'une stratégie de gestion appropriée de ces Déchets

Revenant au concept de la boucle fermée, plus la boucle est courte, plus elle est rentable. Ainsi, les produits de réparation ou de remanufacturation doivent être plus fréquents que le recyclage, et pourtant, c'est le contraire sur terrain où le recyclage est beaucoup plus fréquent que les autres politiques. Cette réalité est due à un manque de responsabilité concernant la durée vie du produit. Juste avant la récente déclaration de la législation relative aux responsabilités des producteurs (comme les directives relatives au DEEE), les fabricants n'avait aucune responsabilité en dehors de la période de garantie pour le produit vendu. En outre, certaines opinions considèrent que la possibilité du recyclage est une excuse utile pour les entreprises de justifier des vies courts de produits parce que le recyclage est perçu comme un bonne pratique environnementale.

Tandis qu'une stratégie pour assurer le recyclage satisferait à leurs obligations, beaucoup de fabricants voient qu'il s'agit d'un coût supplémentaire avec peu ou pas d'avantage financier (les valeurs de rebut sont souvent moins que les coûts de recyclage). Ainsi, l'intérêt pour la réparation, le reconditionnement ou le remanufacturation des produits est en hausse parce que les profits potentiels de ces boucles seront les plus valeur ajoutée. En termes d'avantages environnementaux, la réparation est clairement la meilleure option parce que moins d'énergie

est nécessaire et pratiquement tout le matériel est conservé. Cependant, la barrière du comportement des consommateurs est énorme. Un argument similaire peut être suivi pour le reconditionnement. Toutefois, si les produits peuvent être remanufacturés de telle sorte que le produit de deuxième vie est mis à jour sur le marché, alors ça pourrait être à la fois économiquement viable pour les fabricants (un produit essentiellement nouveau est fait) et souhaitable pour les consommateurs [155].

3.11 Conclusion

Comme indiqué précédemment dans le premier chapitre, la remanufacturation pourrait conduire à des niveaux de déchets inférieurs et nécessite moins d'énergie que le recyclage, ce qui en fait une solution de micro-niveau pour le problème des déchets des équipements électriques et électroniques. Mais la question qui se pose est : est ce qu'il est faisable en Algérie ? Quelles sont les conditions nécessaires et les stratégies adoptées. De plus, quels sont les acteurs principaux dans cette démarche ?

*IV. Chapitre 4 : Étude de la
faisabilité technique*

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons entamer les principaux acteurs qui peuvent participer dans un processus de remis à neuf en Algérie, les différents stratégies déjà élaborer par les grandes remanufacturiers autour du monde, les cruciaux obstacles qui font ce processus. Ensuite, nous allons étudier la possibilité d'adapter une politique de remis à neuf dans le marché des **DEEE** en Algérie afin de passer à une étude de cas (la famille de groupes électrogènes) du côté technique.

4.2 Acteurs clés dans un processus de remanufacturing

Dans l'industrie du remanufacturing, trois acteurs réalisant le processus de reconstruction peuvent être distingués [156]:

- Les fabricants d'équipement d'origine (**OEMs**³³) ou les remanufacturiers d'origine de l'équipement (**OERs**³⁴) ;
- Les remanufacturiers sous contrat (**CRs**³⁵) ;
- Les remanufacturiers indépendants (**IRs**³⁶).

Les **OEMs/OERs** reprennent leurs propres produits via une chaîne d'approvisionnement dite inversée (par le biais d'un centre de services, de contrats de location, de systèmes de dépôt ou d'échange par des concessionnaires,...). Les **EOLPs** sont démontés, remis en neuf et réassemblés soit sur la même ligne de production que celles de la production de nouvelles pièces ou sur des lignes de production séparés [157]. Plus que la remise à neuf permet aux **OEMs** d'offrir aux clients une gamme de produits plus large avec une plus grande flexibilité de prix, un autre avantage réside dans les connaissances déjà existantes liées à la conception des produits et à la disponibilité des pièces de rechange, ce qui permet de mener le processus de remanufacturing de manière rentable et avec une utilisation efficace des matériaux [158].

Des entreprises de remanufacturing externes **CRs** peuvent être chargées sur une base contractuelle. La possession des pièces noyaux reste chez le fabricant d'équipement d'origine, tandis que le processus est externalisé. Pour un **CR**, pendant la durée du contrat, il a un simple accès aux informations concernant la conception du produit et les spécifications d'inspection [158].

En revanche, les **IRs** agissent sans ou avec un contact avec les **OEMs**. Cela signifie qu'ils sont responsables de la totalité de processus de la collecte à la distribution eux-mêmes et les produits remanufacturés sont souvent commercialisés sous leur propre marque [158].

- ³³ original equipment manufacturers

- ³⁴ original equipment remanufacturers

- ³⁵ contracted remanufacturers

- ³⁶ independent remanufacturers

En Algérie, et due à l'absence de concept de la responsabilité élargie des fournisseurs causés par le vide législatif dans la gestion des *EOLPs*, les *OEMs* ont aucune relation avec ses équipements abandonnés. Ce qui ouvre la porte pour les *CRs* et les *IRs* pour investir dans cette industrie.

4.3 Stratèges des leaders de secteur de remanufacturing

Le remanufacturing est une voie industrielle stratégique permettant de récupérer de la valeur en voie d'estimer et de réduire les déchets et potentiellement de changer la relation familière de client-producteur. De la base, différents types des outils d'aide à la décision et méthodologies ont été développés par les remanufacturiers et les universités selon les différentes perspectives de la remis à neuf. Parmi les méthodes les plus courantes qui sont utilisées dans le domaine académique et industriel pour la mise en œuvre de la gestion dans l'industrie de la remanufacturation, la maximisation des bénéfices pour les problèmes de logistique inversé, et de conception de produits en cas de remanufacturation, on cite [159] [160]:

- Remanufacturing et profil de produit (REPRO2)³⁷;
- Évaluation environnementale de boucle économique fermée (CLOEE)³⁸;
- Simulateur d'impact environnemental (EIS)³⁹;
- Framework de d'aide à la décision de Remanufacturing (RDMF)⁴⁰;
- Modélisation de Remanufacturing Network Design (RNDM)⁴¹;
- Recherche d'une Configuration efficace pour les entreprises de Remanufacturing (reCORE)⁴²;
- Programmation linéaire à plusieurs objectifs flous (FMOLP)⁴³.

4.4 Les barrières de la remis à neuf

La remis à neuf en Algérie connu des barrières significatives. Le cout de retour des produits en fin de vie peut être le plus grand coût impliqué dans la remanufacturation surtout dans l'absence de la traçabilité d'une structure claire de distribution des EEE sur le territoire Algérien. Différentes approches sont développés par les remanufacturiers et les chercheurs au tour du

- ³⁷ Remanufacturing and Product Profile

- ³⁸ Close Loop Environmental Evaluation

- ³⁹ Environmental Impact Simulator

- ⁴⁰ Remanufacturing Decision-Making Framework

- ⁴¹ Remanufacturing Network Design Modeling

- ⁴² Research for efficient Configuration of Remanufacturing Enterprises

- ⁴³ Fuzzy multi-objective linear programming

monde afin d'être utilisées pour recevoir l'ancien produits, y compris les nouvelles remises de produits, le retour postal gratuit et les partenariats avec des groupes de détail. En plus, lorsque les EOLPs arrivent à une usine de remanufacturation, il faut tout d'abord démonter le produit. Cela peut être difficile et coûteux soit d'un point de disponibilité technologique ou du savoir-faire. Parmi les approches utilisées par les remanufacturiers, on a la normalisation des pièces, l'assemblage réversible et la conception modulaire/plate-forme. Une fois que les produits/pièces ont été démontés, le fabricant a besoin de savoir quelle condition les produits/pièces sont dedans. Si les pièces sont appropriées pour les remanufacturation, ils peuvent aller à un endroit ; sinon, ils seraient envoyés pour le recyclage ou l'enfouissement. Des approches pour y remédier incluent l'inspection visuelle et la surveillance en service [161].

On peut citer Autres obstacles non relatifs au processus de remis à neuf ou les remanufacturiers font des barrières environnementales et les responsabilités éthiques à cause du vide juridique dans les législatifs qui organisent le secteur des équipements électriques et électroniques mis hors services. Mais, l'obstacle le plus fondamental est actuellement l'absence d'une demande crédible et stable pour les produits remanufacturés. Cela a été considéré pour être la plus grande barrière de la politique de remanufacturation non seulement en Algérie mais auteur le monde. L'approche la plus courante consiste à développer des Product-service-Systems (PSS) qui implique de fournir aux clients un service plutôt qu'un produit acheté tel qu'il est loué. Ainsi, les fabricants sont en mesure de retourner les produits utilisés pour les remanufacturer, puis les réintroduire sur le marché [162] [163] [164].

4.5 La politique remanufacturing dans le marché Algérien

Au temps qu'il ne serait pas possible d'étudier toutes les catégories et les types des D3E qui existent en Algérie due à plusieurs facteurs, on cite :

- Les micro-électroniques, le matériel d'éclairage et les équipements informatiques et de télécommunication, sont les plus loin d'être remanufacturés à cause du manque des pièces de rechanges, l'absence de savoir-faire, et l'indisponibilité de la technologie nécessaire.
- Les électroménagers représentent un marché intéressant ou le processus technique est considéré simple puisque les entreprises mères de ce secteur fonctionnent essentiellement sur l'assemblage autant que le problème agit qu'une large portion des composants est importée, plus l'incertitude de marge bénéficiaire causé par l'absence de la traçabilité des produits vendus.

Par contre, les groupes électrogènes mis hors service offre une chance d'investissement ambitieuse, pas seulement par rapport à la valeur qualitative et quantitative de ce déchets mais aussi pour les raisons suivantes :

- Le marge bénéficiaire de processus de remis à neuf de cette famille de DEEE est énormément élevé. Les dépenses sont vraiment faible par rapport au prix de vente (de 60 % à 80 %) de prix d'un produit neuf :

Tableau IV-1

	New pro- duction	Remanu- facturing	Savings in %
Case example 1: DIESEL MOTOR⁴⁶			
Energy consumption in megajoules	6,016.68 MJ	3,620.16 MJ	40 %
Resource consumption of coal in kilograms	2,200 kg	590 kg	73 %
Resource consumption of crude oil in kilograms	59.5 kg	48.5 kg	18 %
CO ₂ -emissions in tonnes	3.9 t	1.02 t	74 %

- L'Algérie est le deuxième importateur des groupes électrogènes en Afrique pour faire face à l'évolution importante de la demande électrique. Le parc de production national est constitué des centrales électriques de la Société Algérienne de Production de l'Électricité (SPE), et de Shariket Kahraba wa Takat Moutadjadida (SKTM). Ce dernier sont des filiales de la société Sonelgaz et utilisent essentiellement des turbines à gaz pour les zones urbains et les groupe diesel dans les zones rurales et les localités isolées du sud. Plusieurs centrales turbines à gaz et groupes diesel ont été installés. La figure suivante montre la distribution de ces centrales au sud [165] :

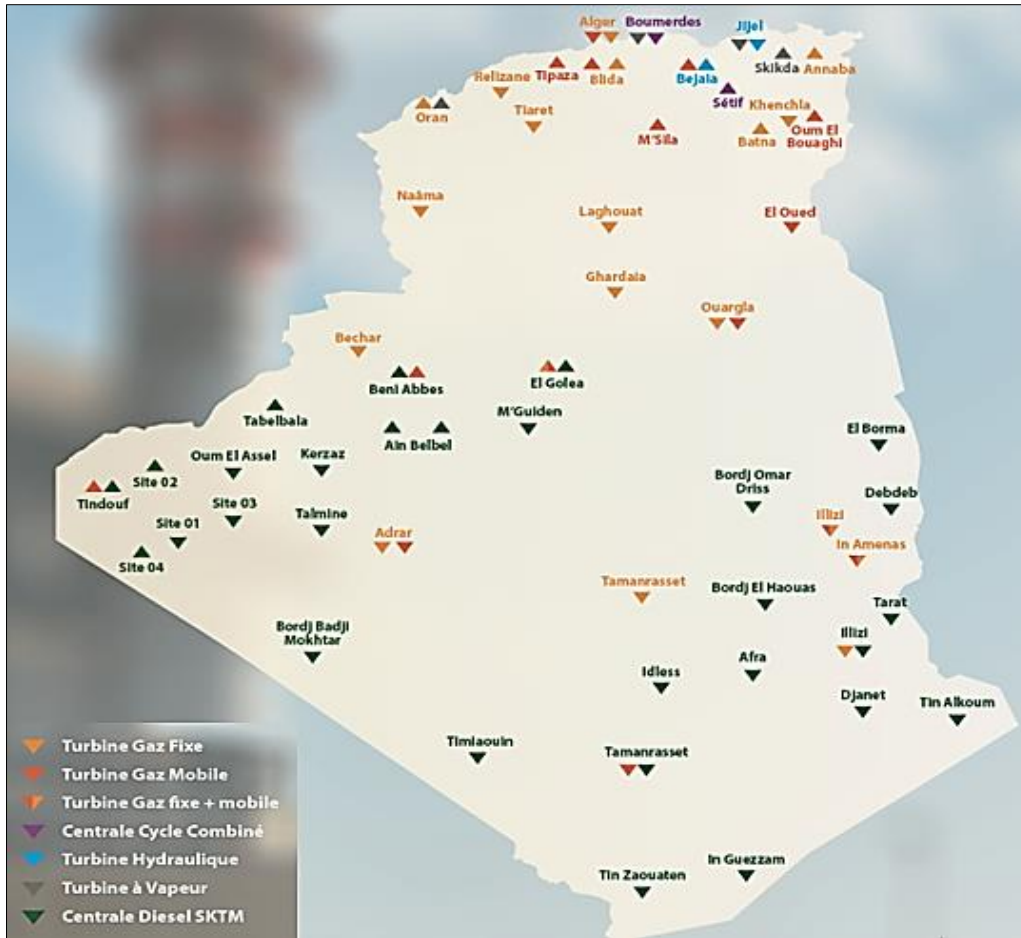


Figure IV-1: distribution des centrales de production d'énergie électrique

La répartition de la puissance installée par producteur et par type d'équipement est illustrée dans le graphique ci-après [166]. On remarque que les groupes électrogènes produisent presque 85% d'énergie électrique en Algérie et ça due au cout bas des combustibles utilisés étant qu'elle est le 11^{ème} exportateur du pétrole à l'échelle mondiale [167], et est classé le 10^{ème} producteur de gaz dans le monde:

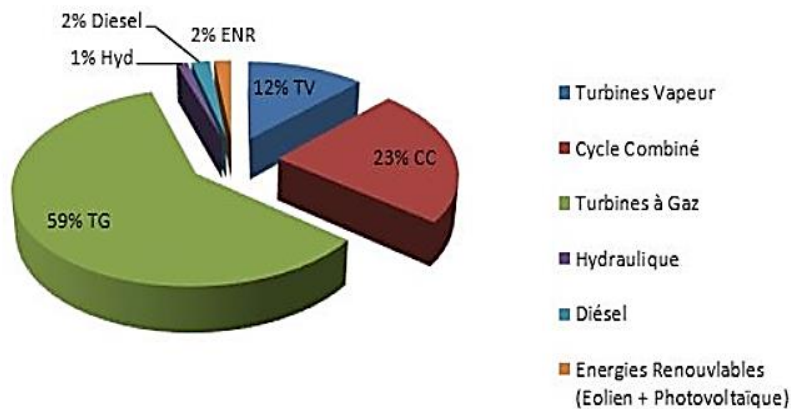
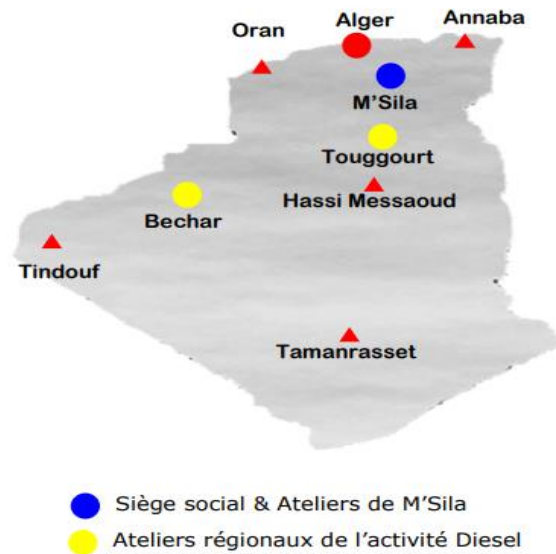


Figure IV-2: la répartition des puissances de production d'électricité des groupes installés par les producteurs d'électricité

- GEAT (General Electric Algeria Turbines), devrait être la première usine à commencer à fabriquer des turbines à gaz, turbines à vapeur, alternateurs et systèmes de contrôle commande de grande puissance sur le continent africain. Le complexe industriel est situé à Ain Yagout (Batna). La date prévue de mise en service du complexe a été 2019. Il s'étend sur une superficie de 20 hectares. Il est constitué de quatre (04) usines [168] [169]:
 - Usine n°1 : Fabrication de turbines à gaz de 100 à 300 MW ;
 - Usine n°2 : Fabrication de turbines à vapeurs de 50 à 160 MW ;
 - Usine n°3 : Fabrication des alternateurs qui seront couplés aux turbines pour convertir l'énergie mécanique en énergie électrique ;
 - Usine n°4 : Fabrication des systèmes de contrôle commande pour équiper les turbines fabriquées dans les usines n°1 et n°2.
- La disponibilité de la technologie et le savoir-faire nécessaires dans le leader de maintenance industrielle à l'échelle nationale **MEI** (Maintenance des Équipements Industriels).

4.6 Présentation du cadre de travail société (MEI)

C'est une entreprise qui s'occupe de la maintenance de différentes catégories des équipements industriels au niveau de territoire Algérien. Cette société a une solide réputation de savoir-faire dans ce domaine sur site et en ses ateliers. Elle est située à 6 km au nord-ouest du de la ville de M'Sila et s'étend sur une superficie totale de 130 000 m². MEI comme une filiale de Sonelgaz déploie plusieurs domaines de compétences dont la réparation des turbines à gaz et à vapeur, la maintenance des moteurs et des générateurs Diesel, la remise en



état des machines électriques tournantes et statiques, la fabrication de la pièce de rechange des parties nobles des Turbines et la maintenance mécanique en général. MEI fournit une large gamme de prestations qui lui qualifie de remanufacturer les groupes électrogènes mis hors services tel que [170]:

- la réparation des machines électriques tournantes avec une expérience de plus de 35 ans ;
- l'usinage numérique avec les centres d'usinage à haute technologie ;
- la fonderie de précision qui est estimé d'être la plus grande en Algérie ;
- la fabrication Mécanique professionnelle.

4.7 Les groupes électrogènes

4.7.1 Définition

Un groupe électrogène est un dispositif autonome qui produit de l'électricité. La plupart des groupes sont constitués d'un moteur thermique qui actionne un alternateur. Leur taille et leur poids peuvent varier de quelques kilogrammes à plusieurs de tonnes selon la puissance. Nous utiliserons le terme général de groupe électrogène sans distinction du moteur. Le choix du moteur est déterminé par des éléments tels que la disponibilité et les conditions d'approvisionnement d'un type de fuel [171] [172]. L'entraînement des groupes électrogènes utilisés pour les applications industrielles est généralement assuré par un moteur diesel ou une turbine à gaz.

4.7.2 Caractéristiques

La puissance utile d'un groupe électrogène est probablement le critère le plus important à définir. La puissance délivrée dépend du type de fuel utilisé et des conditions du site, y compris

la température ambiante, la température du fluide de refroidissement, l'altitude et l'humidité relative. Cela dépend également des caractéristiques de la charge telles que les possibilités de surcharge et les variations de charge dans le temps.

4.7.3 Composition des groupes électrogènes

Un groupe électrogène est principalement constitué :

4.7.3.1 Un moteur de forte puissance

- Il est à propos soit d'une turbine à gaz qui englobe les composants illustrés dans la figure ci-après :

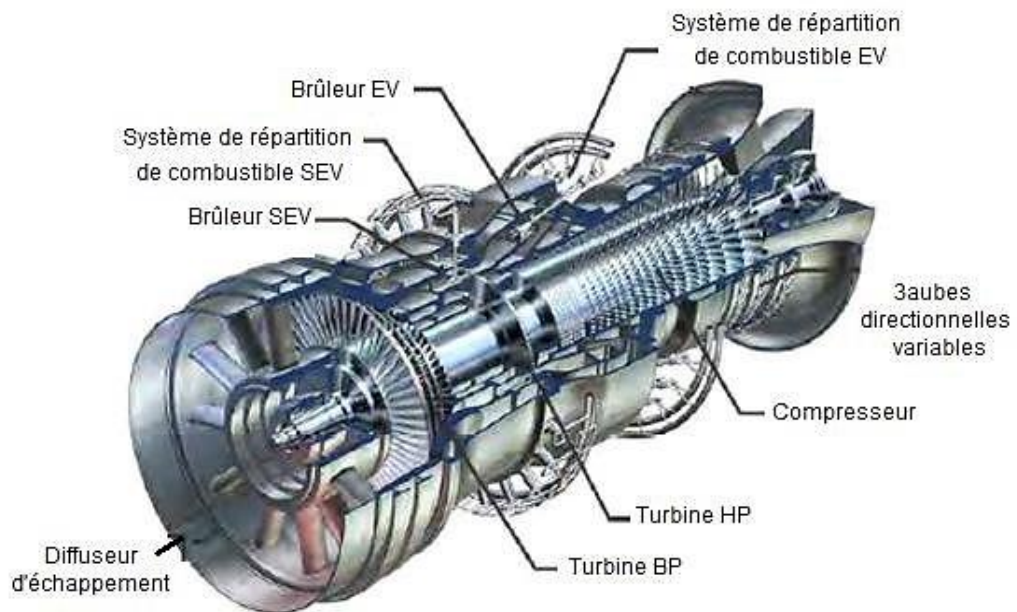


Figure IV-3: constitution d'une turbine à gaz

- Ou bien un moteur diesel qui se trouve en deux formes comme il est montré au-dessous :

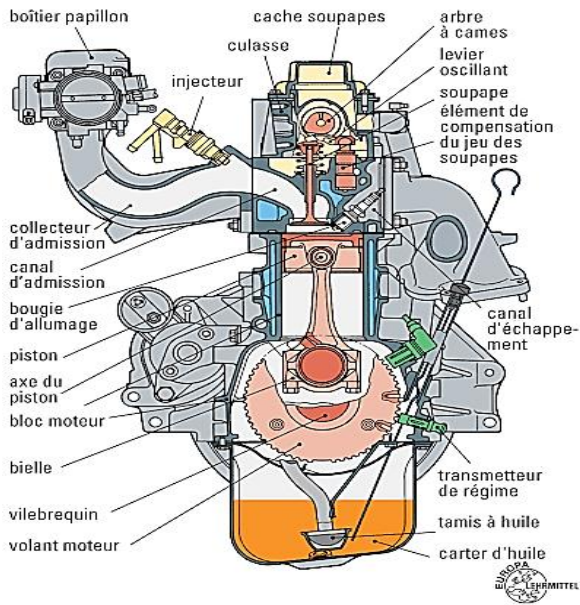


Figure IV-4: constitution d'un moteur diesel en forme I

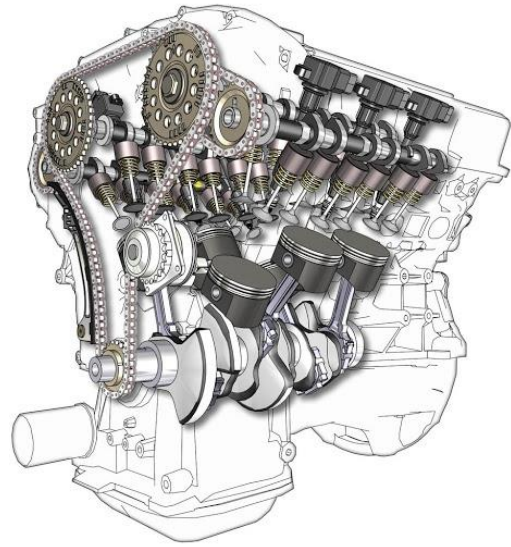


Figure IV-5: constitution d'un moteur diesel en forme V

4.7.3.2 Un alternateur entraîné par le moteur

Cette partie est responsable à transformer le mouvement rotatif d'un arbre moteur de l'énergie mécanique, en un courant électrique.

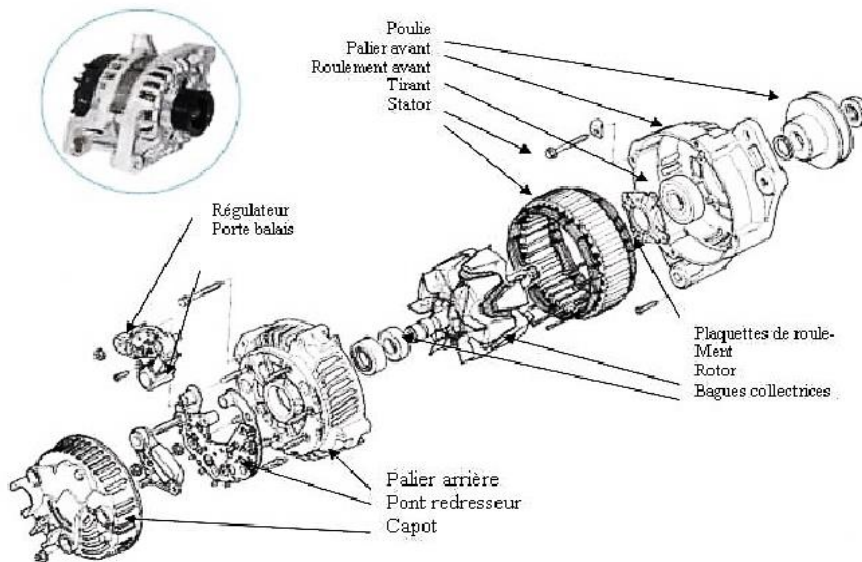


Figure IV-6: composition d'un alternateur

4.7.4 Planification de remanufacturing d'un groupe électrogène

Les *groupes électrogènes* fonctionnent dans des conditions variables avec des défauts différents, alors logiquement, les chemins de processus de remis à neuf sont spécifiques à chaque *EOLP* et chaque composant de l'*EOLP*. C'est pour ça, nous allons proposer une planification du système de remis à neuf composée de trois aspects étroitement liés, la planification de la remis à neuf, la planification des processus et la planification technologique [173].

4.7.4.1 La planification de la remis à neuf

Il faut prendre en considération le facteur de la dégradation graduelle des équipements sachant qu'il a un grande impact sur les produits remanufacturés soit du côté qualité soit du côté cout. Pour cela, il faut choisir le bon moment pour remanufacturer un équipement afin d'obtenir des bénéfices économiques importants. Pour cela, nous avons proposé l'approche de Prognostics and Health Management *PHM* qui est pour principe de transformer un ensemble de données brutes recueillies sur l'équipement surveillé en un indicateurs de santé dont l'extrapolation dans le temps permet de définir une aide à la décision circonstanciée.

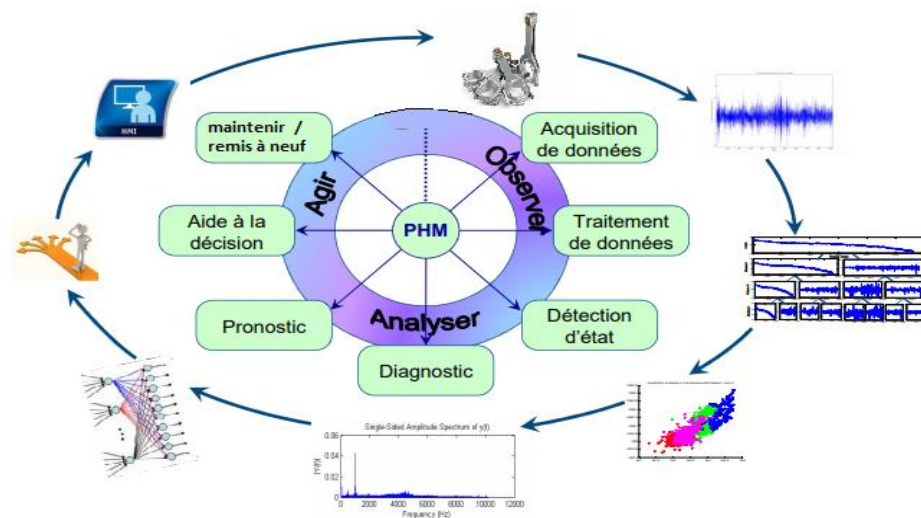


Figure IV-7: Le cycle PHM

Les données obtenues dépendent essentiellement du coût d'acquisition, de l'amortissement de sa valeur, ainsi que des valeurs liées aux paramètres de fiabilité tels que le taux de défaillance, les coûts des pièces de rechange et le temps de réparation. De même, la fiabilité diminue avec le temps et dépend fortement des conditions de fonctionnement [174]. Cette approche va traiter les données obtenus à partir des révisions partielle et générale appliqué par *MEI* afin d'assurer un arrivage programmé des groupes électrogènes mis hors service ce qui facilite la planification de processus de remanufacturing.

4.7.4.2 La planification des processus

Les exigences techniques ont été incluses dans la sélection des processus de remanufacturing. Les considérations relatives à la conception du produit sont importantes dans le choix des processus de remis à neuf afin de garantir que le produit remanufacturé sera de haute qualité. Dans ce cas, puisque dans la remis à neuf, les matières premières sont les noyaux retournés où

la conception et a déjà été fixé. Nous avons choisi la méthode « **Benchmarking** » aussi connu sous les noms « étalonnage, analyse comparative ou encore parangonnage ». Cette technique d'amélioration est basée sur l'adoption de bonnes pratiques et méthodes déjà expérimentées et utilisées par une autre organisation. Nous avons basé sur les cas de **Siemens Industrial Turbomachinery AB** et **CAT-REMAN** de la marques Caterpillar qui représentent des **OEMs**, **robotif GmbH** qui agit un **IR**, et **Advanced Compressor Engineering Services Ltd (ACES)** un **IR / CR**.

En plus, nous avons intégré la méthode « **PARETO** » qui met en évidence les cas les plus représentatifs d'une situation tout en mettant en évidence le peu d'importance des éléments les plus faibles. Cet outil d'aide à la décision repose sur une série d'éléments clairement définie et traitée afin de choisir le meilleur chemin de remise à neuf pour les composants du groupe électrogène.

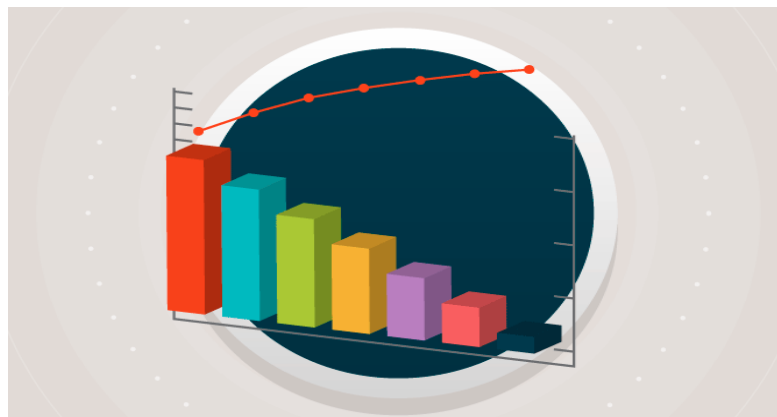


Figure IV-8: Diagramme PARETO

4.7.4.3 La planification technologique

Tous d'abord, nous avons découpé le projet en tâches pour avoir une vue d'ensemble. Ensuite, on a déterminé les options possibles et la chronologie des tâches et évalué les ressources déjà disponibles dans l'entreprise. Puis, nous avons entamé les technologies à ajouter en prenant en compte les ressources requises pour la mise en place de la technologie investie (formation des employés, changement aux processus d'affaires, licences, entretien, soutien, etc.).

4.8 Processus de remise à neuf

Le processus de remise à neuf des groupes électrogènes à moteur diesel suit l'organigramme suivant (cet organigramme présente que la succession des tâches autant que les interventions personnels et administratives sont relatives aux PVs normalisés de l'entreprise) :

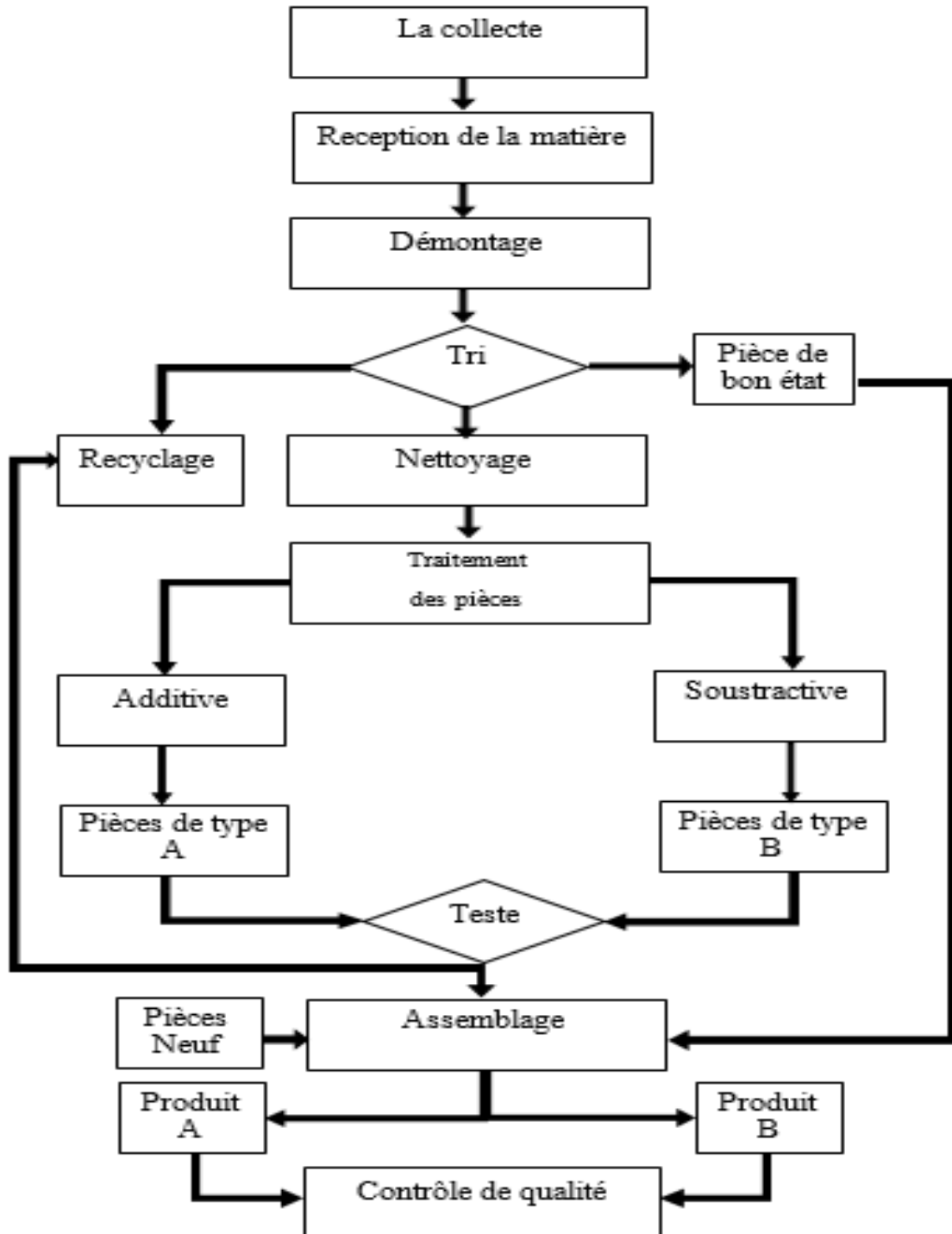


Figure IV-9: le processus technique de remis à neuf

4.8.1 La collecte

La collecte des produits électriques et électroniques en fin de vie peut être définie comme un système qui permet au produit d'être récupéré lorsqu'il quitte son état d'utilisation et de le transférer vers un système en boucle fermée afin d'initier le processus de valorisation. Le rôle de la collecte est donc de transporter ces produits vers les systèmes de valorisation, afin d'en extraire de la valeur [175].

4.8.1.1 Modes de la collecte

Il existe deux grandes voies pour se débarrasser des *D3E* en fin de vie, on distingue :

- la collecte porte à porte ;
- la collecte par une contribution personnelle du consommateur.

La première consiste en un déplacement d'un transporteur venant récupérer le produit usagé aux sites du particulier. On y retrouve dans cette catégorie, la demande et la collecte périodique. La deuxième collecte qui est la contribution personnelle du consommateur ou par apport volontaire, voit le consommateur apporter son produit usagé sur des lieux de centralisation et de stockage des produits usagés, comme par exemple les déchetteries, les grands distributeurs ou auprès des associations [175].

4.8.1.2 Planification de la collecte

Nous avons adapté la collecte par enlèvement des produits en fin de vie, où il faut mettre en évidence les caractéristiques et les moyens utilisés pour le résoudre comme la nature des produits à traiter ; type de véhicules utilisés ; la capacité productive de la ligne de remis à neuf, etc.

Les méthodes de résolution actuellement prises en charge pour ce genre de problèmes sont les métaheuristiques [176] [177] (pour une revue de la littérature des métaheuristiques (vérifier [178] pour leur application aux problèmes de routage de véhicules). Il apparaît que des solutions quasi-optimales peuvent être obtenues très rapidement. Parmi les méthodes les plus connues, on cite : la recherche tabou ; le recuit simulé ; les algorithmes génétiques et les réseaux de neurones.

Dans cette étude, l'étape de collecte est déjà prédéterminée parce qu'elle est relative à la révision générale programmée des groupes électrogènes planifiés par le *MEI*. L'opération de collecte commence par le démarrage de moyenne de transport (camion semi-remorque), avec l'équipe concerné par la récupération avec l'équipement nécessaire, de l'*MEI* vers les sites d'exploitation des groupes à diesel, la récupération du groupe et le routeur vers l'entreprise.

4.8.2 Le démontage

A l'arrivée des groupes électrogènes, ceux-ci passent directement à un atelier spéciale où ils vont subir un démontage complet. Cette opération est effectuée par des ouvriers qualifiés. Le nombre et le grade de ces derniers dépendent de type de groupe à démonter dans chaque projet. La tâche est faite suivant la gamme opératoire suivante :

Gamme opératoire

- ***Démontage le compensateur de silencieux.***
- ***Débrancher et repérer les câbles électriques.***
- ***Vidange du moteur (eau et huile).***
- ***Démontage tous les tuyauteries eau, air, gasoil et huile.***
- ***Démontage des turbocompresseurs.***
- ***Démontage le collecteur d'échappement.***
- ***Démontage le carénage de ventilateur.***
- ***Démontage ventilateur, tendeur et l'amortisseur de vibration.***
- ***Désaccouplement moteur/alternateur.***
- ***Desserrer les vis de fixation moteur/châssis.***
- ***Déposer le moteur sur des supports.***
- ***Démontage le radiateur eau et échangeur d'air.***
- ***Démontage pompe à eau et gasoil.***
- ***Démontage de la pompe injection.***
- ***Démontage des culasses.***
- ***Démontage les deux carters (avant/arrière), la distribution et le carter d'huile. Et la pompe à huile.***
- ***Desserrer les vis des bielles et Extraction des attelages mobiles.***
- ***Desserrer les vis des chapeaux paliers et déposer le vilebrequin.***
- ***Extraction des chemises.***
- ***Débrancher et repérer les câbles électriques entre l'armoire local (sur châssis) et alternateur.***
- ***Desserrer les vis de fixation alternateur /châssis.***
- ***Dépose l'alternateur et transfert vers atelier électrique***

Après le démontage, on obtient les composants des deux parties principales : système de support et le moteur mécanique constituant le groupe électrogènes. Ceux de la première partie vont être testés et remontés selon des étapes citées dans un manuel servi par le producteur du groupe. Si le composant est en bon état, il est validé pour le remontage, sinon il doit être rejeté et remplacé par un nouveau, sauf pour les bobines si le bobinage est déformé, il doit être refait.

Les composants de la partie mécanique sont traités au sein de l'entreprise MEI comme suit :

4.8.3 Le tri

Vu qu'après chaque période spécifique (tout dépend du type de groupe) de fonctionnement de groupe, une révision générale est effectuée pour vérifier l'authenticité de ses composants et après chaque diagnostic, on garde les données de chaque pièce et on les enregistre, donc en fonction de ces historiques, nous pouvons savoir le traitement que la pièce subit que ce soit soustractif ou bien additif. A cette phase, on se débarrasse de toutes les pièces qui n'ont aucune valeur en les vendant en kilogrammes aux centres de recyclage.

Nous avons utilisé le principe de « Pareto » pour classer les pièces selon leurs importances en utilisant comme critère le cout de chaque une. Les résultats sont les suivantes :

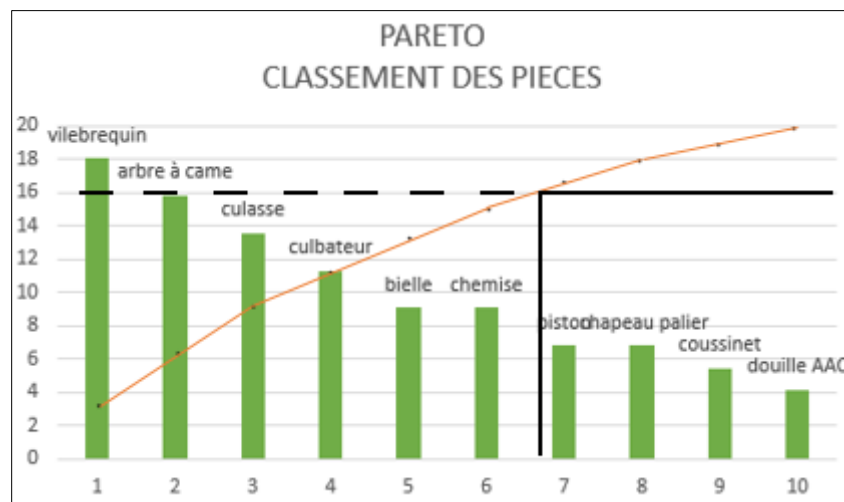


Figure IV-10: classification des pièces maitresses selon la méthode ABC

Les résultats indiquent que sauf : le vilebrequin et l'arbre à came (incluses dans la zone de 20%) sont considérés comme les pièces maitresses les plus importantes. Les autres sont moins importants avec des valeurs variables.

Toute pièce destinée au traitement qu'il soit additif ou soustractif, doit passer par un système d'étiquetage pour marquer son type, sa marque, le traitement qu'elle doit subir...etc., pour pouvoir la distinguer au moment d'assemblage.

4.8.4 Le nettoyage

A cette phase s'effectue le nettoyage de l'ensemble des pièces destinées au traitement. Les opérations de dégraissage sont faites manuellement puis automatiquement dans des machines. Elles se font par une grande diversité de produits, qui va des solutions aqueuses à différents types de solvant, résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV-2: les différents types de solvant

Solvants aqueux	Solvants organiques	Les mélanges de solvants, azéotropes, les co-solvants	Les solvants autres que les solvants pétroliers
- Eau + détergents - Eau + détergents+ bactéries	- Solvants halogénés - Solvants non halogénés (inflammables ou combustibles)	- Mélange simple classique : les solvants pétroliers en mélange avec des substances chlorées ou fluorées - Mélange azéotropique	- Les agro solvants (issus d'essences végétales) - Les DBE (esters dibasiques)

4.8.4.1 Dégraissage manuel

Il est généralement effectué avec un solvant organique comme première étape du nettoyage. Il peut être réalisé à l'aide :

- D'un chiffon ou lingette ;
- D'un pinceau classique ;
- Aspersion ou les pièces sont placées dans une enceinte ou un tunnel ou elles sont aspergées manuellement de lessive/solvant ;
- vapeur sèche ;
- Karcher ;
- neige carbonique : ce système comprend la projection de neige carbonique ou cette dernière libère du dioxyde de carbone gazeux par sublimation, ce qui permet de récupérer les salissures.

4.8.4.2 Dégraissage automatisé

Afin de garantir un bon nettoyage au composants, ce type de dégraissage est utilisé, et peut être réalisé soit avec des produits aqueux additionnés ou de micro-organismes, soit avec des solvants.

Le procédé aqueux est pratiqué soit dans des systèmes ouverts (bacs ou cuves), soit dans des systèmes fermés (tunnels ou cabines). Tandis que le procédé aux solvants doit toujours être réalisé en machine.

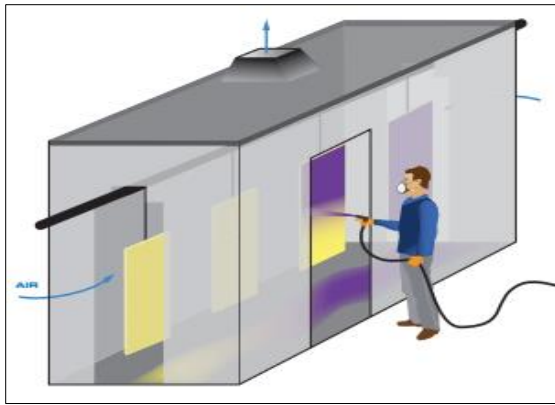


Figure IV-11: tunnel de dégraissage

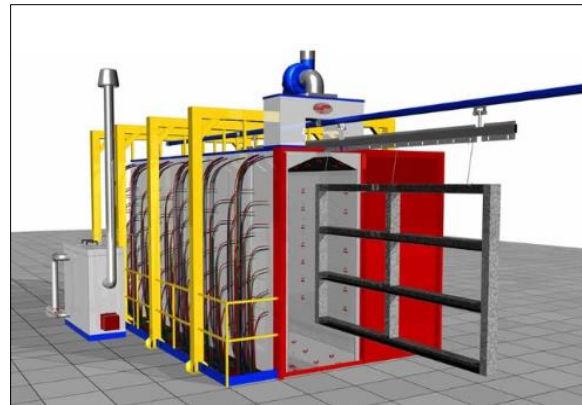


Figure IV-12: machine de lavage automatisée [179]

Les huiles usagées de vidange pour moteurs, sont des déchets dangereux. Leur rejet dans la nature est interdit vu de leur composition des produits toxiques qui réduisent l'oxygénation de la faune et de la flore existantes. Pendant le nettoyage, ils sont déchargés dans des conteneurs pour être transportés au service de traitement d'huile à Blida.

4.8.5 Traitement des pièces

Lors du traitement, on maintient tous ce qui est maintenable selon deux types de traitements : additif et soustractif. Les pièces seront traitées selon leur historique. Il y en a celles qui nécessitent de l'addition et d'autres de la soustraction pour qu'elles reviennent à leur état fonctionnel.

4.8.5.1 Traitement soustractive

4.8.5.1.1 Historique

La fabrication soustractive a frappé la scène mondiale dans les années 40 et est principalement utilisée pour les projets d'usinage qui nécessitent une grande complexité, une répétition fiable et une précision optimale. Il était initialement connu sous le nom d'usinage à commande numérique.

En 1948, l'ingénieur autodidacte John T. Parsons, a développé la première machine à commande numérique. Il a trouvé comment calculer les coordonnées de profil aérodynamique sur un multiplicateur IBM 602A et a fait entrer les informations dans un foreur de gabarit suisse. Parsons a découvert un moyen plus efficace de fabriquer des prototypes et a donc accéléré l'évolution de la technologie de fabrication industrielle.

Aujourd'hui, les machines CNC⁴⁴ comprennent des machines-outils telles que des tours, des fraiseuses, des toupies et des rectifieuses qui sont contrôlées à l'aide de la technologie de contrôle numérique - qui comprend des codes informatiques spécialisés G-code et CAD / CAM⁴⁵ qui expliquent aux machines-outils comment fabriquer des produits spécifiques. La programmation spécialisée permet à certaines machines CNC de fonctionner de manière

- ⁴⁴ CNC : machine-outil à commande numérique

- ⁴⁵ CAM : Computer Aided Manufacturing

autonome tandis que d'autres fonctionnent manuellement, nécessitant la supervision d'un opérateur [180].

4.8.5.1.2 Définition

La fabrication soustractive industrielle est un terme qui recouvre des procédés d'usinage commandés et de soustraction de matière à des blocs, des barres ou des tiges solides, de métal ou de plastique, auxquels on enlève de la matière pour les mettre en forme, par découpe, alésage, forage et ponçage. Les procédés soustractifs sont généralement utilisés pour fabriquer des pièces en plastique ou en métal pour le prototypage et l'outillage de fabrication, et des pièces directement utilisables. Ils conviennent parfaitement pour des applications requérant des tolérances serrées et présentant des formes difficiles à mouler, à couler ou à produire avec des méthodes de fabrication traditionnelles [181].

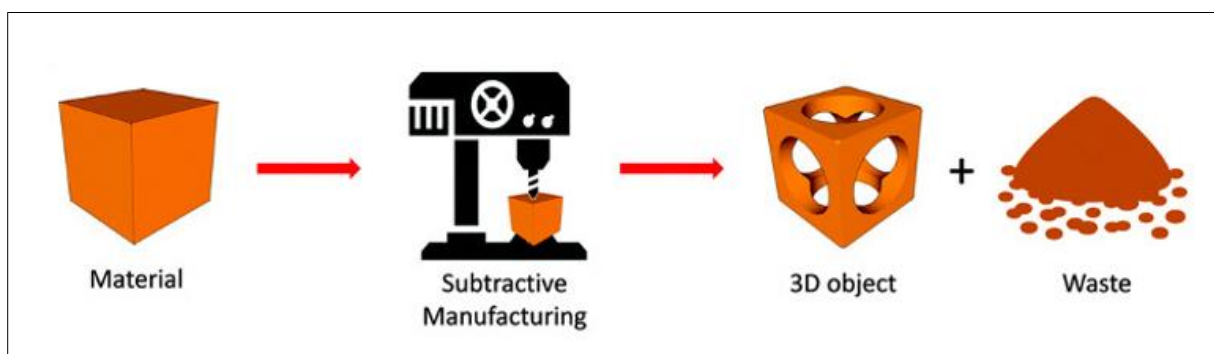


Figure IV-13: traitement soustractive [182].

4.8.5.1.3 Processus de traitement soustractif

Ce type de traitement se fait à l'aide de plusieurs machines sophistiquées disponibles au niveau de l'entreprise MEI. Il consiste à enlever la matière de la pièce pour la remettre à l'une des valeurs de ses tolérances de fonctionnement. Parmi ses machines, on cite :

- ✓ Les centres d'usinage ;
- ✓ Machine d'électroérosion : appelée aussi **EDM**⁴⁶. La base de cet usinage est l'enlèvement de matière généré par une décharge électrique entre l'électrode pièce et l'électrode outil, immergées dans un liquide isolant (le diélectrique). La pièce doit donc nécessairement être conductrice. L'application d'une tension génère un champ électrique entre l'électrode et la pièce (espace appelé Gap). La tension de claquage dépend de la distance pièce/électrode (le Gap), du pouvoir isolant du diélectrique de l'état de pollution du Gap [183]. Dans cet atelier, existent deux types de machines d'usinage par électroérosion :
 - L'électroérosion par fil, où un fil conducteur animé d'un mouvement plan et angulaire découpe une pièce suivant une surface réglée ;
 - Le perçage rapide, qui utilise une électrode tubulaire pour percer les matériaux très durs.

- ⁴⁶ EDM : electrical discharge machining

- ✓ Machine de perçage électrochimique : le perçage ECM⁴⁷ permet de réaliser de façon efficace des alésages difficilement accessibles et des opérations d'usinage concernant des corps creux. L'usinage électrochimique est basé sur le concept de l'électrolyse. Une électrode faisant office d'outil est reliée comme cathode à une source de courant continu, la pièce à usiner en tant qu'autre électrode est polarisée anodiquement. Un échange de charges entre la cathode et la pièce à usiner s'opère dans une solution électrolytique aqueuse et c'est cet échange de charge qui génère l'usinage de la pièce. Ainsi naissent des contours, des canaux annulaires, des rainures ou encore des cavités avec une précision exemplaire. Le matériau enlevé durant le processus se sépare de la solution électrolytique sous forme d'hydroxyde de métal. L'usinage se fait indépendamment de la microstructure du métal. La possibilité existe d'usiner des matériaux trempés ou non. Les composants de l'installation ne subissent aucune contrainte thermique ou mécanique [184].

Après ce traitement, tous types de pièce (petite, moyenne ou grande) passe au revêtement, qui est fait dans l'atelier plasma par le robot ABB pour la métallisation et la caractérisation des pièces traitées.

Afin d'alléger la charge sur les CNC qui existent, nous avons décidé d'utiliser plus de centre d'usinage à 5 axes. Les machines disponibles sur le marché sont décrites dans la partie économique.

4.8.5.2 Traitement additive (impression 3D)

Pour ce type de traitement, on a voulu suivre le rythme de l'ère moderne par le faite d'intégrer l'impression 3D qui n'existe pas encore au niveau de l'entreprise MEI pour la réparation des pièces défectueuses.

4.8.5.2.1 Les avantages de l'impression 3D relatifs au remanufacturing

La restauration est l'une des activités essentielles de la remise à neuf, car les composants principaux doivent retrouver leurs performances d'origine. Dans un processus de restauration, les activités générales incluent la réparation des fissures, la superposition de matériaux et le soudage pour restaurer les dimensions d'origine des pièces et composants [185]. Dans le domaine industriel, la remise à neuf implique la réparation de plusieurs pièces telle que celle des actionneurs de surface de vol, de train d'atterrissage et même la reconstruction de pièces écaillées de turbines à gaz [186].

Avec l'avancement des technologies, il est prévu que les processus de réparation des produits remanufacturable puissent être éventuellement remplacés par une restauration numérique telle que l'impression 3D comme option principale [187]. Ce traitement est capable de lier les matériaux couche par couche [188]. Ce qui permet la reconstruction de toutes les pièces cassées pour remettre les produits dans un état neuf.

Le plus grand avantage de ce type de traitement additif par rapport aux techniques de fabrication conventionnelles est obtenu en concevant spécifiquement pour la technologie, en utilisant cette liberté de concevoir pour les performances plutôt que de compromettre la

- ⁴⁷ ECM - Electro Chemical Machining

fabricabilité. Grâce à la conception pour l'impression 3D, il est possible de produire des géométries complexes et innovantes, notamment des parois minces et des structures internes, et d'éliminer le matériau redondant des régions non sollicitées d'un composant sans affecter la résistance ou la rigidité.

Des économies de poids d'environ 40% ont été démontrées grâce à l'optimisation de la topologie additive, réduisant les déchets de matériaux et réduisant l'inertie des composants. La flexibilité de l'impression 3D s'étend au-delà de la liberté géométrique en permettant des propriétés de matériau personnalisables et la fabrication flexible des éléments [189].

4.8.5.2.2 Historique

Le prototypage rapide a été en première mise en œuvre dans les années 80, notamment comme méthode de fabrication de prototypes d'un produit [190]. La mise en œuvre ultérieure de ce traitement visait à créer un produit final, communément appelé fabrication rapide [191]. Cette technologie est hautement capable de raccourcir le processus de fabrication et produire des produits complexes sans difficultés [192].

Aujourd'hui, l'avancement de la technologie aux côtés de la fabrication additif est considéré comme la solution pour effectuer la réparation et la restauration des produits. Pour la remise à neuf, le traitement additif devrait être la technologie permettant de remplacer la réparation manuelle par une réparation noyaux [193].

4.8.5.2.3 Définitions

La fabrication additive, aussi connue sous le terme « impression 3D », est une approche relativement nouvelle de mise en forme des métaux et des polymères permettant de créer des pièces à géométrie complexe à partir d'un fichier numérique. Se distinguant des techniques de mise en forme conventionnelles basées sur la soustraction de matière. Cette nouvelle famille de procédés permet de construire plutôt des pièces en couches successives [194].

La norme NF E67-001 définit l'expression fabrication additive comme : « Ensemble des procédés permettant de fabriquer couche par couche, par ajout de matière, un objet physique à partir d'un objet numérique ».

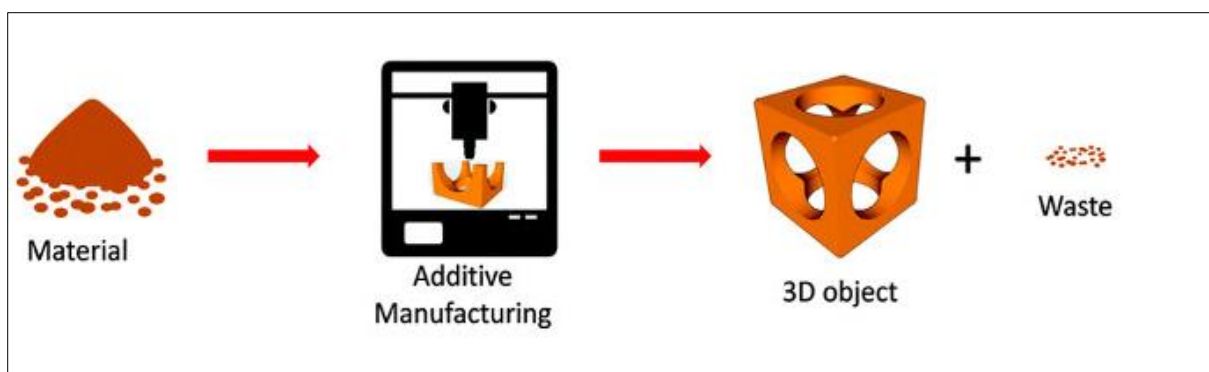


Figure IV-14 : Traitement additive [182]

4.8.5.2.4 Les techniques

- Alimentation en poudre :

DMD⁴⁸ : Le DMD est une forme de processus d'outillage rapide qui fabrique des pièces et des moules à partir de poudre métallique qui est fondue par un laser, puis solidifiée en place. Ce processus ressemble étroitement aux procédés classiques de prototypage rapide (matériau traité par laser sous contrôle informatique) mais diffère par le fait que la poudre métallique et même l'acier peuvent être fondus plutôt que les polymères plastiques [195]. Le DMD permet la production ou la reconfiguration de pièces, moules et matrices fabriqués à partir de matériau final réel, tel que l'acier à outils ou l'aluminium. Il produit toujours une nouvelle pièce à partir d'un dessin CAO⁴⁹.

LENS⁵⁰ : également connue sous le nom de propriétaire (façonnage de filet par laser) est une technologie de fabrication additive développée qui utilise des lasers contrôlés par ordinateur qui, en quelques heures, soudent des flux de poudres métalliques soufflés à l'air dans des pièces personnalisées et des moules de fabrication. La technique produit des formes suffisamment proches du produit final pour éliminer le besoin d'usinage grossier [196].

- Fusion sur lit de poudre :

EBM⁵¹ : l'EBM est une technique de fabrication additive utilisant un faisceau d'électrons pour faire fondre sélectivement un lit de poudre métallique dirigé par un modèle de conception ajoutée par ordinateur (CAO). EBM est capable de produire des pièces fonctionnelles avec des propriétés mécaniques élevées plus rapidement et plus économes en énergie par rapport aux technologies de fabrication additive métallique à base de laser, telles que la fusion laser sélective (SLM) [197].

DMLS⁵² : Le frittage direct des métaux au laser est un procédé dans lequel un faisceau laser très intensif est dirigé sur un lit de poudre métallique et des particules métalliques fondues selon un fichier de conception assistée par ordinateur. Cette technologie régénère également de véritables pièces 3D à partir d'ajouts couche par couche de poudre métallique fondue [198].

SLM⁵³ : Au cours de ce processus, un produit est formé par fusion sélective de couches successives de poudre par l'interaction d'un faisceau laser. Lors de l'irradiation, le matériau en poudre est chauffée et, si une puissance suffisante est appliquée, elle fond et forme un pool liquide. Ensuite, le bain fondu se solidifie et se refroidit rapidement, et le matériau consolidé commence à former le produit. Une fois la section transversale d'une couche scannée, la plateforme de construction est abaissée d'une quantité égale à l'épaisseur de la couche et une nouvelle couche de poudre est déposée. Ce processus est répété jusqu'à ce que le produit soit terminé [199].

- ⁴⁸ DMD : Direct metal deposition

- ⁴⁹ CAO : conception assistée par ordinateur ou CAD en anglais

- ⁵⁰ LENS : Laser Engineered Net Shaping

- ⁵¹ EBM : Electron beam melting

- ⁵² DMLS : Direct Metal Laser Sintering

- ⁵³ SLM : selective laser melting

4.8.5.2.5 Processus

- Préparation de la pièce

Avant d'entamer le traitement des pièces en utilisant une des techniques de l'impression 3D cité précédemment, la pièce doit passer par les étapes suivantes afin de préparer sa surface pour qu'elle subisse ce type de traitement :

- a. **Déregulage** : c'est une opération qui enlève le régule par fours. Quel que soit la pièce (grande, moyenne ou petite), elle entre dans un four spécifique pour faire fondre la couche extérieure d'alliage (régule).
 - b. **Sablage** : c'est une technique industrielle traditionnelle de nettoyage des surfaces en utilisant un abrasif projeté à grande vitesse à l'aide d'air comprimé à travers une buse, sur le matériau à décaper. Le sablage est également une technique de ravalement de façade [200]. Son but est de nettoyer les résidus de régulage.
 - **Les techniques de sablage** : Il existe deux méthodes principales de sablage : le sablage à sec qui consiste à projeter un jet de sable sec à l'aide d'un compresseur, et le sablage en présence d'eau qui est un jet de sable humide sur la surface à traiter. Dans le cas où on utilise le sable comme abrasif, le sablage à l'eau est le plus conseillé de l'utiliser car il réduit la poussière, ce qui permet à l'opérateur de travailler dans plusieurs environnements avec un moindre coût de préparation et de nettoyage [201].
 - **Différent abrasifs** : Le sable n'est presque plus utilisé dans le sablage, à cause de la silice libre qui est hautement cancérigène, ainsi que les poussières de silice cristalline peuvent induire une *irritation* des yeux et des voies respiratoires [202]. On utilise en sablage du corindon et d'autres types de produits plus techniques en fonction de ce que l'on recherche à obtenir :
 - c. **Le grenailage** : c'est une technique consistant à projeter de la grenaille sur la surface d'un objet pour en modifier la structure superficielle. Le grenailage est une technique de traitement des surfaces, qui a pour but d'améliorer l'aspect de la pièce. Le procédé est assez similaire au sablage. Des petites billes d'acier sont projetées à grande vitesse, en continu. La pression est élevée pour obtenir une rugosité de surface importante [203].
 - d. **Le corindonnage** : C'est procédé de préparation de surface consistant à projeter à l'aide d'une buse sous pression un abrasif sur la pièce à nettoyer [204]. Le corindon est un abrasif très résistant qui permet l'élimination totale des traces d'oxydation ou de peinture sur des pièces.
 - e. **Le microbillage** : c'est un procédé de traitement de surface par impact. Il consiste à projeter des microbilles sur une surface, dans le but de la décaper sans l'abîmer. La surface obtenue est satinée brillante. La bille de verre n'arrache pas le métal et donne un nettoyage correct des zones inaccessibles ou difficiles à atteindre [203].
- Traitement de la pièce

Après préparation, la pièce est introduite dans la machine d'impression 3D (la machine est représentée dans la partie économique) pour qu'elle subisse son traitement additif. L'espace de travail de ces machines étant limité, elles ne sont destinées qu'au traitement de petites et moyennes pièces. Ceux de grand volume (plus de 768 litres) sont traités selon les étapes suivantes :

- Étamage : c'est une opération de traitement de surface qui consiste à appliquer une couche d'étain sur une pièce métallique [205]. Donc, il s'agit de préchauffer la surface à réguler puis poser une patte d'étamage et en fin créer une couche de régule.
- Régulage : c'est l'application d'une couche d'alliage de plomb et d'étain sur la pièce. Il existe 02 procédés pour sa disposition :
 - ✓ Manuellement par chalumeau ;
 - ✓ Coulage par centrifugation où le liquide d'alliage est soumis à une rotation à grande vitesse autour de l'axe du moule qui le contient jusqu'à sa solidification.

Ces dernières années, les techniques de fabrication additive permettent de construire des pièces directement à partir de modèles CAO en ajoutant des matériaux couche par couche comme expliqué précédemment. Cette technique permet de produire des pièces complexes qui ne peuvent pas être fabriquées par usinage. Cependant, les techniques additives présentent également certaines limites, telles qu'une mauvaise qualité de surface, une précision dimensionnelle réduite, des matériaux limités disponibles et un long temps de production par rapport à l'usinage CNC. Pour surmonter ces limites, la combinaison des technologies additives et soustractives est aujourd'hui considérée comme une solution prometteuse pour les problèmes de fabrication actuels.

Récemment, cette combinaison des deux technologies suscite une attention considérable dans le domaine de la fabrication. Cette combinaison prend non seulement les avantages des techniques indépendantes, mais minimise également leur limitation [206]. En construisant la forme la plus proche des pièces par la fabrication additive, puis en obtenant la qualité des pièces par usinage CNC.

Dans le contexte de la remise à neuf et de la réparation de composants en fin de vie de grande valeur. Jones et al ont utilisé des procédés d'usinage et de revêtement laser pour réparer des composants métalliques endommagés [207]. Nan et al ont également proposé un système de remise à neuf basé sur le revêtement laser et l'usinage CNC, qui est en mesure de prolonger la durée de vie des matrices vieillissantes, des composants d'avion et de véhicule [208]. Wilson et al ont montré l'efficacité de la combinaison de la technologie de dépôt direct laser avec l'usinage CNC dans la refabrication d'aubes de turbine [209].

Donc, après le traitement additif de tous types de pièce (petite, moyenne ou grande), vient l'ajustage qui est une opération de finition de pièces traitées, Il se fait par des outils ou des équipements de traitement soustractif pour l'obtention des surfaces lisses. Puis, on a le revêtement qui est fait dans l'atelier plasma par le robot **ABB** pour la métallisation et la caractérisation des pièces ajustés.

4.8.6 Teste

C'est une phase finale arbitraire ou les pièces réparées doivent être testées pour vérifier leurs authenticités. Elles sont caractérisées avec des différentes contrôles effectués, afin d'obtenir des informations sur leurs caractéristiques après la réparation. Ces mesures vont servir pour faire des comparaisons avec celle de la pièce originale pour voir si elle a été réparée. La pièce mal traité subit une nouvelle restauration, sinon elle sera destiné au recyclage.

Durant ces contrôles, les composants seront testés sur leurs parties fonctionnelles pour vérifier leurs mesures et authenticités :

- Géométrique ;
- Dimensionnel ;
- Dureté ;
- Contrôle CND⁵⁴ (ressuage, test par ultrason, test magnétique).

4.8.6.1 Contrôle dimensionnel

C'est les différentes opérations qui permettent de déterminer si la valeur d'une grandeur se trouve bien entre les limites de tolérance qui lui sont imposées ou non, en utilisant de simples outils : pied à coulisse...etc.

Les tolérances dimensionnelles ne suffisent pas toujours pour définir rigoureusement la forme géométrique d'un objet. Bien que les mesures trouvées soient acceptables, des défauts géométriques nuisibles au fonctionnement et à l'assemblage sont toujours possibles, ce qui nécessite l'utilisation du contrôle géométrique.




4.8.6.2 Contrôle géométrique

C'est un contrôle fait pour vérifier l'existence des défauts au niveau de la pièce sur sa /ces partie(s) fonctionnelle(s) en terme de :

- ✓ Planéité d'une surface ;
- ✓ Rectitude d'un axe- d'une ligne ;
- ✓ Cylindricité d'un cylindre ou Circularité d'un cylindre- d'un cône ;
- ✓ Profile d'une ligne ou d'une surface ;
- ✓ Inclinaison ;
- ✓ Perpendicularité ou Parallélisme ;
- ✓ Localisation d'un élément ;
- ✓ Coaxiale ou concentricité ;
- ✓ Symétrie ;
- ✓ Battement simple ou Battement total.


- ⁵⁴ CND : Contrôle Non Destructif

Tableau IV-3 : Instruments de mesures utilisées [210]

Instruments			
	Types	Outils	Image correspondante
Vérificateur à dimensions variables		Colonne de mesure & Trusquin	
		Pieds à coulisses	
	Instrument De mesure directe	Rapporteur	

		Jauges de profondeur	
		Micromètres & jauges micrométriques	
	Instruments De mesure indirect	Comparateur	
Vérificateur à dimension fixe	Pour Alésages	Calibre-tampon	

	<p>Pour Arbres</p>	<p>Calibre-mâchoire</p>	
	<p>Pour filetages</p>	<p>Instrument de mesure pour filetages</p>	
	<p>Pour Angles</p>	<p>Instrument de mesure pour angles</p>	
	<p>Pour Longueurs</p>	<p>Instrument de mesure pour longueurs</p>	

	<p>Instruments de mesure à dimension fixe</p>	<p>Barre sinus</p>	
--	---	--------------------	---

Pour les pièces maitresse de classe A (selon la méthode PARETO), ces deux contrôles (dimensionnelle et géométrique) se fond à l'aide de la MMT⁵⁵ qui est une machine utilisée en métrologie dimensionnelle. Elles permettent d'obtenir les coordonnées des points mesurés (palpés) sur une pièce mécanique. Avec la mesure effectuée, on procède à la comparaison numérique d'une grandeur connue à la grandeur mesurée puis de faire la comparaison pour révéler la déformation en cas de son existence. Les grandes pièces maitresses sont vérifiées par



Figure IV-15: bras de mesure métrologique FARO [229]



Figure IV-16: Figure IV 18: machine de mesure tridimensionnelle [230]

un bras de mesure métrologique de la marque FARO.

4.8.6.3 Dureté

La dureté est la résistance qu'oppose un métal à la pénétration d'un poinçon sous l'action d'une charge donnée. L'essai de dureté permet de classer les métaux et de suivre les transformations structurelles d'un métal.

Dans le cas où la dureté de la pièce ne correspond pas à la dureté demandé, cette dernière sera sujette à un traitement thermique qui consiste à lui faire subir des transformations de structure grâce à des cycles prédéterminés de chauffage et de refroidissement afin d'en améliorer sa dureté.

- ⁵⁵ MMT : machine de mesure tridimensionnelle

4.8.6.4 Contrôle CND

Le contrôle non destructif (CND) permet de vérifier la qualité du matériau sans l'endommager, au cours de la maintenance.

Toutes les pièces traitées subissent un contrôle par ressuage pour tester l'authenticité de leurs surfaces, ainsi que le contrôle magnétoscopie pour tester la séparation des deux couches extérieurs (qui enrobe la pièce) et intérieurs qui forment la pièce. Le contrôle ultrason est appliqué pour les pièces maîtresses pour détecter les profondes fissures.

1. Le contrôle par ressuage

C'est une méthode globale qui autorise un examen de la totalité de la surface de la pièce. Elle permet de bien apprécier la longueur des défauts indépendamment de leur orientation. On peut mettre en évidence des discontinuités débouchantes de quelques dizaines de micromètres. Le contrôle par ressuage comporte trois étapes [211] :

- Nettoyage de surface de la pièce et l'application d'un liquide pénétrant, soit par immersion, soit par pulvérisation. La durée d'application est en général entre 15 et 30 minutes. Le choix du liquide dépend essentiellement de la rugosité de la surface à contrôler. Le pénétrant peut être :

- ✓ un produit coloré (faible sensibilité) ;
- ✓ un produit pré-émulsionné (sensibilité moyenne) ;
- ✓ un produit fluorescent (sensibilité élevée).

Le pénétrant appliqué s'infiltré dans les petits interstices débouchant en surface. Un certain temps est nécessaire pour laisser « poser » le pénétrant.

- Rinçage de surface de la pièce pour enlever l'excès de pénétrant. Cette opération est délicate parce qu'un rinçage excessif ou insuffisant permet de fausser le résultat final.
- Application d'un révélateur liquide ou sous forme de poudre, sur la surface rincée, puis le sécher. Le liquide (pénétrant) qui s'est introduit dans les fissures « ressort » à la surface dans le révélateur et s'élargit au niveau du défaut. Il devient nettement visible par un éclairage approprié qui dépend du pénétrant utilisé. La méthode ne donne aucune indication sur le volume et donc de l'importance des défauts.

2. Magnétoscopie

Le contrôle par magnétoscopie est une méthode de contrôle non destructif pour la détection des défauts en surface ou sous-jacents (juste qu'à quelques millimètres de la surface) dans les matériaux ferromagnétique.

Il consiste à aimanter la pièce à contrôler à l'aide d'un champ magnétique intense en présence d'un défaut. Les lignes de champ subissent une distorsion qui génère un « champ de fruit ». La visualisation de ce dernier est obtenue grâce à un liquide révélateur ferromagnétique appliqué sur la surface à examiner, soit pendant l'aimantation, soit après celle-ci. Le révélateur coloré et/ou fluorescent est attiré au droit du défaut par les forces magnétique. Il forme alors des figures

observables soit en lumière blanche (lumière du jour ou lumière artificielle), soit sous l'UVA⁵⁶ [212]. Il existe deux modes de magnétisation de la pièce à contrôler :

- Magnétisation transversale : elle met en évidence les discontinuités longitudinales (jusqu'à $\pm 45^\circ$ par rapport à l'axe transversal). Elle est obtenue soit par passage direct d'un courant électrique dans la pièce, soit par passage du courant dans un conducteur auxiliaire (barre en cuivre généralement) dans le cas des pièces creuses ;
- Magnétisation longitudinale : elle met en évidence les discontinuités transversales (jusqu'à $\pm 45^\circ$ par rapport à l'axe longitudinal). Elle est obtenue soit par un électroaimant, soit par une bobine.

3. Contrôle ultrason

C'est une méthode non-invasive de détection de défauts dans une pièce, basée sur l'émission d'ultrasons et la détection de leur réflexion liée aux interfaces acoustiques rencontrées [213] :

- Émission : Un capteur équipé d'éléments piézo électriques émet des ultrasons à une fréquence (entre 500 kHz et 100 MHz) choisie en fonction de la nature de la pièce à contrôler. Il doit être en contact direct avec la pièce pour que les ondes propagées ne soient pas freinées par l'impédance de l'air entre les deux ; en immersion dans l'eau qui est un bon conducteur acoustique. Grâce au pilotage électronique de l'orientation et des caractéristiques du faisceau ultrasonore, la technologie multiéléments est adaptée au contrôle de pièces à géométries complexes.
- Réflexion : Les ondes se réfléchissent sur les interfaces acoustiques rencontrées : contours de la pièce, défauts intérieurs voire grains des matériaux. Selon la loi de Snell Descartes, la réflexion observe un angle particulier. Les ondes subissent également d'autres phénomènes au cours de leur propagation dans la matière (diffraction, atténuation...).
- Détection : Le capteur, placé au contact de la pièce à inspecter, évolue suivant une trajectoire calculée pour intercepter les ondes réémises par un éventuel défaut. Lors d'une inspection à l'aveugle d'une pièce, le capteur est déplacé en surface pour explorer un grand volume de matériau. Le pilotage électronique, et non mécanique, des capteurs multiéléments permet de réaliser des inspections à grande vitesse (cas du balayage angulaire des échographies médicales).
- Visualisation : Les ondes détectées sont converties en signaux par l'électronique associée du capteur. Un logiciel assemble ces signaux pour former une image de l'intérieur de la pièce. L'analyse des images permet de discriminer les échos dus à un défaut de ceux liés à la géométrie de la pièce.

4.8.7 Orientation de la pièce

Les pièces testées et validées bonnes vont être classées en deux types : pièces de type A, pièces de type B. Celles de la première catégorie sont les pièces qui ont subi le traitement additive

- ⁵⁶ UVA : rayonnement ultraviolet

pour les remettent à leurs spécifications initiale voire même plus. Pour ceux qui sont dans la deuxième catégorie, ceux sont les pièces qui ont subi le traitement soustractif où elles se sont remises au pire des cas à la minimum valeur des tolérances de leurs fonctionnements. Lorsque le contrôle indique des mauvais résultats, la pièce subit un retraitement de nouveau.

4.8.8 Assemblage

Dans cette phase, se passe le remontage de l'ensemble des pièces pour reconstruire de nouveaux le groupe. Plusieurs politiques ont été développés selon l'objectif des remanufacturiers (production de masse ou à la demande). Afin d'optimiser les processus, des centaines des recherches et études de cas ont été fait. Ces travaux ont basé essentiellement sur les facteurs qualité-fiabilité des obtentions. Parmi les hypothèses intéressantes les uns dans les ouvrages des chinois (vérifier [214] [215] [216]) qui prouvent que la politique de réassemblage optimale est une politique de seuil dépendant de l'état, où les décisions de substitution et de réassemblage de modules sont prises en fonction du niveau d'inventaire des autres modules. Ceci avec la prise en considération les effets des coûts de détention, des frais de pénalité sur le taux de coût moyen optimal et montrent la différence de pourcentage de performance entre la politique optimale et la politique de réassemblage exhaustive.

Une des points les plus importants était l'utilisation de modules de qualité supérieure (ei, A) pour l'assemblage de produits de classe de qualité inférieure (ei, B) peut ne pas être optimale. Il est parfois plus avantageux de les conserver pour la substitution des futurs modules et d'éviter une forte pénalité liée à l'utilisation des modules couteux pour des demandes de faible classe.

En plus, ces recherches voient qu'une grande variation de la qualité des modules conduit à un déséquilibre important lors du remontage, réduisant ainsi l'utilisation totale des modules retournés. De plus, la performance du système dans le cadre de la politique optimale n'est pas sensible aux ratios de coût unitaire des différentes classes de qualité.

A partir de ces données, nous avons opté vers une politique d'assemblage basé sur deux qualités : classe A et classe B, par rapport aux pièces obtenus par le remanufacturing. Les pièces utilisées sont celles destinées bonnes pour le remontage au niveau du tri (elles sont considérés comme pièces de type B), ainsi que les pièces remanufacturées (type A et B) qui on subit une réparation convenable. Tandis que les composants rejetés au moment du tri vont être remplacé par d'autres nouvelles.

Nous avons 'P', la matrice qui représente l'état du stock des pièces remanufacturées avec les dimensions (I x J) où 'i' représente le type de la pièce et 'j' représente sa qualité (B, A ou neuf), avec :

- x_{ij} : la quantité des pièces de type i d'une qualité j ;
- y_i : la quantité des pièce de type i en état neuf ;
- e : facteur d'existence de x_{ij} .

$$P = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1J} \\ \cdot & x_{ij} & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ x_{I1} & \dots & x_{IJ} \end{bmatrix}$$

Pour un assemblage sélectif des composants, on opte a réaliser des produits de plusieurs classes. Pour cela, nous avons adopté la politique suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^I x_{ij} \quad \text{Avec } e_i \neq 0 ; e_j \neq 0 ; \\ \sum_{i=1}^I x_{i(j+1)} \quad \text{Avec } e_i \neq 0 ; e_j = 0 \text{ et } e_{j+1} \neq 0 ; \sum x_{i,j+1} < (\frac{1}{4})x_i. \\ \sum_{i=1}^I x_{ij} + y_i \quad \text{Avec } e_i = 0 ; e_j = 0; e_{i+1} = 0 / x_i + y_i = 1 \text{ et } \sum y_i < (\frac{1}{4})x_i. \end{array} \right.$$

L'opération commence par l'assemblage des pièces de la qualité B pour former un groupe de même type (B). Dans le cas où une pièce de cette qualité est indisponible, elle est tiré de la qualité voisine (de A si la pièce est disponible si non de la neuf) sachant que la somme des pièces tirées ne dépasse pas ¼ du nombre de pièces qui constituent le groupe, sinon l'assemblage est arrêté jusqu'à la disponibilité des pièces manquantes.

Le pourcentage des pièces de chaque type (A et B) utilisé dans l'assemblage conduit à la formation de deux types de produit. Si le groupe est formé d'une au moins une pièce de type B, donc il serra classé dans la même catégorie. Ainsi, pour qu'un produit être classé dans la classe A, il faut que toutes les pièces sont de type A.

L'assemblage se fait selon la gamme opératoire suivante :

Gamme opératoire
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Montage des douilles d'arbre à came ➤ Montage des chemises ➤ Montage du vilebrequin et contrôle du jeu axial. ➤ Montage des attelages mobiles. ➤ montage de l'arbre à cames et calage de la distribution. ➤ Montage des carter avant et arrière, montage du volant - moteur. ➤ Montage de la pompe à huile & carter d'huile. ➤ Montage du damper et poulie & support avant du moteur. ➤ Montage et calage de la pompe à injection ➤ Montage des deux culasses. ➤ Montage du réfrigérant d'air, réfrigérant d'huile & pompe à eau et leurs conduites. ➤ Montage des fausses culasses & injecteurs, rampe d'injection et culbuteries. ➤ Montage des collecteurs d'échappement & turbocompresseurs HT et BT ➤ montage des conduites d'admission ➤ montage des filtres air, gasoil et huile ➤ montage de l'ECM & alternateur de charge, démarreur, capteurs et faisceau moteur.

➤ Montage des flexibles gasoils et conduites reniflards.

- Le soudage est aussi considéré comme étant une opération essentielle pour l'assemblage. Dans l'entreprise MEI, on trouve des ateliers spécialisés dans ce type de traitement :
- Atelier chaudronnerie : Destiné à la réparation des ensembles mécano soudés, il prend en charge aussi tous les travaux de chaudronnerie et de soudage :
 - ✓ Soudage à l'arc électrique : La soudure à l'arc est utilisée pour l'assemblage des pièces en acier, en fer, en inox ou même en fonte ayant une épaisseur supérieure à 1,5 mm (15/10e). C'est la fusion d'une électrode de métal d'apport qui assure la liaison des éléments entre eux [217].
 - ✓ Soudage par point : Le soudage par points sert à assembler localement deux tôles, en utilisant l'effet Joule. A cet effet, on comprime ces tôles à l'aide d'une paire d'électrodes, généralement en alliage de cuivre, et l'on fait passer par ces mêmes électrodes un courant électrique de forte intensité. La chaleur engendrée par ce courant à l'interface tôle-tôle fait fondre localement le métal, ce qui crée, après solidification, un point de soudure [218].
 - ✓ Soudage TIG⁵⁷ : est un procédé de soudage à l'arc sous gaz inerte avec une électrode non fusible. C'est un procédé dans lequel la chaleur nécessaire à la fusion du métal constituant la soudure est fournie par un arc électrique amorcé et maintenu entre une électrode de Tungstène et la pièce. Le métal en fusion ainsi que l'électrode sont protégés contre l'action de l'oxygène et de l'azote de l'air par l'écoulement continu d'un gaz de protection inerte. Ce procédé est conseillé sur des épaisseurs maximales de 5 mm à 6 mm [219].
 - ✓ Soudage MIG⁵⁸ : Le soudage MIG est un procédé de soudage semi-automatique. La fusion des métaux est obtenue par l'énergie calorifique dégagée par un arc électrique qui éclate dans une atmosphère de protection entre un fil électrode fusible et les pièces à assembler. Ce procédé utilise un gaz neutre qui ne réagit pas avec le métal fondu (argon ou argon + hélium) [220].
 - ✓ Soudage oxyacétylénique : Le soudage Oxyacétylénique est un procédé de soudure à la flamme. Le soudage est réalisé à partir de la chaleur d'une flamme née de la combustion d'un gaz combustible l'acétylène -C₂H₂ avec un gaz comburant d'oxygène -O₂. La température de la flamme peut atteindre les 3200 ° Celsius, lorsque le mélange C₂H₂ et O₂ est correctement équilibré dans le chalumeau. Le métal d'apport (baguette de fil dressé de Ø 0,8 mm à Ø 4,0 mm) est amené manuellement dans le bain de fusion. On peut souder « en bord à bord » [221].

4.8.9 Contrôle de qualité

A ce niveau, on a les deux parties électrique et mécanique qui constituent le groupe. Chaque une est assemblée séparément et doivent subir un contrôle fonctionnel pour vérifier la qualité

- ⁵⁷ TIG : Tungstène Inerte Gaz

- ⁵⁸ MIG : Metal inert gaz

de leurs fonctionnements. Ce contrôle se passe sur ce qu'on appelle « un Banc d'essai » qui est formé de deux phases électrique et l'autre mécanique, où chaque partie du groupe assemblée est relié avec son complément (électrique / mécanique ou mécanique / électrique). Le temps de test va jusqu'à soixante-douze heures. Une fois les résultats sont bons, ces deux partis sont assemblées pour former le groupe.

4.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décortiqué le côté technique de cette étude en précisant toutes les opérations et les procédés de réalisation, depuis la collecte en passant par les techniques de contrôle de qualité, pour tous les maillons successeur dans le cadre des équipements électriques et électronique. Plus précisément, nous avons appliqué cette étude technique sur un cas pratique : groupes électrogènes de l'entreprise *MEI*.

*V. Chapitre 5 : Étude de la
faisabilité économique*


5.1 Introduction

Cette phase représente la suite de notre travail entamé dans le chapitre 4 qui a abordé l'étude de la faisabilité technique du remanufacturing des groupes électrogènes de l'entreprise MEI. Bien évidemment, cette étude est accompagnée par un aspect économique relatif à l'étude de faisabilité d'un processus de remanufacturing. Dans ce cadre, notre plus grande contribution réside dans la justification du choix technologique approprié à notre processus de remanufacturing sur un horizon stratégique dans le but de proposer une nouvelle ligne de remanufacturing des groupes électrogènes à l'entreprise MEI.

Pour le processus de remanufacturing, nous avons opté pour l'utilisation des nouvelles technologies qui n'existent pas encore au sein de l'entreprise MEI. Pour les deux traitements additif et soustractive, voici des exemples sur les machines disponible sur le marché :

- Traitement additif

☞ Exemple d'une machine de fabrication par la technique DMD :


[aniwaa.fr]
-Prix Unitaire : plus 128 771 200,00 DA ; -Marque : BeAM ; -Modèle : Magic 800 ; -Taille d'impression max : 1200*800*800 mm ; -volume d'impression max : 768.00L ; - Précision d'impression : 0.1 mm ; - Max. puissance : 8 Kw/h ; - Taux de construction : 10-70cm ³ /h.

☞ Exemple d'une machine de fabrication par la technique LENS :




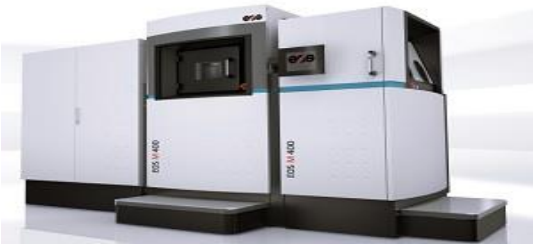
- Prix Unitaire : 30 868 750,00 DA
- Marque : Optomec
- Modèle : LENS 860 Machine Tool Systems
- Taille d'impression max : 860 × 600 × 610 mm ;
- Volume d'impression max : 314.76 L
- Max. puissance : 14 Kw/h ;
- Précision : 0.005 mm.

☞ Exemple d'une machine de fabrication par la technique EBM :

<p>[223]</p>	<p>[222]</p>
<p>-Prix Unitaire : à partir de 36 239 994,65 DA ;</p> <p>-Marque : Arcam ;</p>	<p>-Prix Unitaire : 36 239 994,65 DA ;</p> <p>-Marque : Arcam ;</p>

<ul style="list-style-type: none"> -Modèle : Arcam EBM Spectra H ; - Max. taille de construction 350 × 350 × 430 mm ; - Volume de construction : 52.67 L ; - Max. puissance : 25.2 Kw/h ; - Consommation de He pour le processus de construction : 5 litres/h ; - Consommation de He pour ventilation : 150-200 litres/construction ; - Taille : 1,328 x 2,344 x 2,858 mm ; - Poids 2915 kg ; -Précision : 10 µm. 	<ul style="list-style-type: none"> -Modèle : Arcam EBM Q20plus ; - Max. taille de construction 350 × 380 × 380 mm ; - Volume de construction : 50.54 L ; - Max. puissance du faisceau 3kW ; - Consommation de He pour le processus de construction : 4 litres/h ; - Consommation de He pour ventilation : 100-150 litres/construction ; - Taille : 2,400 x 1,300 x 2,945 mm ; - Poids 2900 kg ; -Précision : moins de 10 µm.
--	---

☞ Exemple d'une machine de fabrication par la technique DMLS :

 <p>[224]</p>	 <p>[224]</p>
<ul style="list-style-type: none"> -Prix Unitaire : 86 507 190,00 DA. Comprend la livraison, l'installation, la formation et un contrat de service d'un an ; -Marque : EOSINT ; -Modèle : EOSINT M280 ; -Max. taille de construction : 250 x 250 x 325 mm ; - consommation d'argon : 100 litres/ min ; - volume de construction : 20.31L ; - Poids 1250 kg. - Max. puissance : 17 Kw/h ; 	<ul style="list-style-type: none"> -Prix Unitaire : à partir de 145 195 873,10 DA. Comprend la livraison, l'installation, la formation et un contrat de service d'un an ; -Marque : EOSINT ; -Modèle : EOSINT M400 ; -Max. taille de construction : 400 x 400 x 400 mm ; - consommation d'air comprimé : 20 m³/h ; - volume de construction : 64.00 L ; - Poids 4635 kg ; -Précision : 90 µm.

-Précision : 100 µm.	
----------------------	--

☞ Exemples des machines de fabrication par la technique SLM :

 <p style="text-align: center;">[222]</p>	 <p style="text-align: center;">[225]</p>
<p>-Prix Unitaire : 85 205 400,00 DA ;</p> <p>-Marque : RENISHAW ;</p> <p>-Modèle : Le RenAM 500M, de dimensions de 1070 × 2040 × 2045 mm, d'un poids de 1700 kg ;</p> <p>- Technologie : SLM ;</p> <p>-Taille d'impression max : 248 × 248 × 335 mm ;</p> <p>- Consommation d'argon : jusqu'à 50 L / h ;</p> <p>-Volume d'impression max : 22.0 L ;</p> <p>- Max. puissance : 12 KW/h ;</p> <p>- taux de construction : 25 cm³/h ;</p> <p>-Précision : Dans la plage de 20 µm à 100 µm</p>	<p>-Prix Unitaire : à partir de 129 120 500,00 DA ;</p> <p>-Marque : SLM Solutions ;</p> <p>-Modèle : SLM 500 HL, de dimensions de 2600 mm x 1200 mm x 2700 mm, d'un poids de 1800 kg ;</p> <p>-Technologie : SLM ;</p> <p>-Taille d'impression max : 500 × 280 × 365 mm ;</p> <p>- Consommation moyenne d'argon inerte en cours : 5-7 L / min ;</p> <p>-Volume d'impression max : 51.10 L ;</p> <p>-Précision : 75 µm</p>

- Traitement soustractive

☞ Exemples des machines à commande numérique CNC pour les petite et moyennes pièces :

 <p>[226]</p>	 <p>[227]</p>
<p>-Prix Unitaire : 6 931 652,00 DA ;</p> <p>-Utilisation du processus : Machines-outils CNC de découpe de métaux, Machines-outils non conventionnelles CNC, Machines-outils CNC de formage de métaux ;</p> <p>-Marque : RUIZE, RZ VMC 850 ;</p> <p>-Taille de travail max : 800 × 500 × 500 mm ;</p> <p>-Précision de traitement : 0.01~0.02 (mm) ;</p> <p>- Max. puissance : 20 Kw/h ;</p> <p>- Capacité : 800 pièces / an.</p>	<p>-Prix Unitaire : 5 509 015,58 DA ;</p> <p>-Utilisation du processus : Machines-outils CNC de découpe de métaux, Machines-outils non conventionnelles CNC, Machines-outils CNC de formage de métaux ;</p> <p>-Marque : Siemens Mt52A ;</p> <p>-Taille de travail max : 520 × 400 × 300 mm ;</p> <p>-Précision de traitement : 0.5~20 (mm) ;</p> <p>- Max. puissance : 25Kw/h ;</p> <p>- Capacité : 2000 ensembles / an.</p>



☞ Exemples sur des machines à commande numérique CNC pour les grandes pièces :



- Prix Unitaire : 68 012 783,28 DA ;
- Utilisation du processus : centre d'usinage 5 axes ;
- Marque : MAZAK ;
- Model : VORTEX I-630 ;
- Taille de travail max : 1425 × 1050 × 1050 mm ;
- Max. puissance : 74 Kw/h ;

5.2 Choix technologique

Au premier temps, pour la préparation de la pièce, nous avons besoin de four pour la déregulage, et une sableuse pour le sablage. Pour cela, nous avons choisi d'acheter une sableuse et ces deux fours :

 <p>[228]</p>	 <p>[229]</p>
<p>Four pour traitement des petites pièces</p> <ul style="list-style-type: none"> -Prix Unitaire : 524 439,01 DA ; -Marque : Carbolite ; -Modèle : CAR-ELF1123230SN ; -Température max : 1100 C ; -Volume : 25 L ; - Max. puissance : 5 Kw/h. 	<p>Four pour traitement des grandes pièces</p> <ul style="list-style-type: none"> -Prix Unitaire : 6 449 970 DA ; -Marque : Luwei ; -Modèle : KSS-1700 ; -Température max : plus de 1000 C ; -Volume : 5 T ; - Max. puissance : 120 Kw/h.



- Prix Unitaire : 641 900 DA ;
- Marque : Tongbao ;
- Modèle : Sableuse TB-4720 ;
- capacité : 300 L.

Pour le traitement des pièces, afin de pouvoir choisir la marque convenable de la machine, nous allons utiliser un outil multicritères qui est la matrice de décision.

5.2.1 Application de la matrice de décision sur les marques des machines de traitement soustractive

- Liste des éléments à comparer : Nous avons les éléments suivants :
 - Machine CNC RUIZE, RZ VMC 850 ;
 - Machine CNC Siemens Mt52A.
- Remplissage de la matrice de décision
 - Nous avons les critères suivants relatifs aux marques des machines motionnés précédemment : **le volume de construction ; le cout ; la capacité par an ; la précision.**

Les poids des facteurs sont donnés comme suit : (1 : pas important, 2 : peu important, 3 : important, 4 : Très important).

Etapes de calcul

- Donner une note à chaque traitement par rapport aux critères cités (généralement de 0 à 5) ;
- Calculer la note pondérée puis faire le total par ligne. Nous obtenons l'évaluation globale de chaque traitement ;
- Additionner les critères pour chaque colonnes ;
- Choisir la solution qui obtient le total le plus élevé.

Tableau V-1: matrice de décision pour les 02 machines du traitement soustractive

Critères	Volume de construction		Cout		Capacité		Précision		Totale
Poids	3		2		3		4		12
RUIZE, RZ VMC 850	3	9	2	4	2	6	4	16	35
Siemens Mt52A	2	6	3	6	4	12	2	8	32

Après cette opération, la meilleure solution est en lecture directe. Celle qui possède le score le plus élevé : **RUIZE, RZ VMC 850**.



Figure V-1: RUIZE, RZ VMC 850.

5.2.2 Application de la matrice de décision sur les marques des machines de traitement additive

Nous devons sélectionner plusieurs marques, mais nous avons du mal à choisir les plus convenables.

- Liste des éléments à comparer : Nous avons les éléments suivants :

- 02 machines de la technique DMLS ;
- 02 machines de la technique EBM ;
- 02 machines de la technique SLM.

- Remplissage de la matrice de décision :

- Nous avons les critères suivants relatifs aux marques des machines mentionnés précédemment : **le volume de construction ; le cout ; la précision.**

Les poids des facteurs sont donnés comme suit : (1 : pas important, 2 : peu important, 3 : important, 4 : Très important).

Etapes de calcul

- Donner une note à chaque traitement par rapport aux critères cités (généralement de 0 à 5) ;
- Calculer la note pondérée puis faire le total par ligne. Nous obtenons l'évaluation globale de chaque traitement ;
- Additionner les critères pour chaque colonnes ;
- Choisir la solution qui obtient le total le plus élevé.

Tableau V-2: matrice de décision pour les 02 machines de la technologie DMLS

Critères	Volume de construction		Cout		Précision		Totale
Poids	3		2		4		09
EOSINT M280	1	3	4	8	4	16	27
EOSINT M400	3	9	2	4	3	12	25

Donc après cette opération, La meilleure solution est en lecture directe, c'est celle qui possède le score le plus élevé : **EOSINT M280.**

Tableau V-3: matrice de décision pour les 02 machines de la technologie EBM

Critères	Volume de construction		Cout		Précision		Totale
Poids	3		2		4		09
Arcam EBM Spectra H	4	12	2	4	4	16	32
Arcam EBM Q20 plus	3	9	4	8	2	8	25

Après cette opération, la meilleure solution est en lecture directe, c'est celle qui possède le score le plus élevé : **Arcam EBM Spectra H**.

Tableau V-4: troisième matrice de décision pour les 02 machines de la technologie SLM

Critères	Volume de construction		Cout		Précision		Totale
Poids	3		2		4		09
RENISHAW							
Le RenAM 500M	1	3	4	8	4	16	27
SLM 500 HL	3	6	2	6	3	12	24

Après cette opération, la meilleure solution est en lecture directe : **RENISHAW Le RenAM 500M**.

Résultat obtenu

La liste des machines de traitement additive de petites et moyennes pièces deviennent comme suit :

- BeAM Magic 800 (DMD) ;
- Optomec LENS 860 Machine Tool Systems (LENS) ;
- Arcam EBM Spectra H (EBM) ;
- EOSINT M280 (DMLS) ;
- RENISHAW Le RenAM 500M (SLM).

Parmi ces machines de traitement additive existantes, on doit choisir les techniques qui conviennent plus au traitement de nos pièces. Pour cela, nous avons appliqué la matrice de décision multi-critères encore une fois pour trouver la bonne décision.

5.2.3 Application de la matrice de décision pour le choix des techniques convenable

Le choix de la technique à utiliser se fait selon deux critères : le volume de construction ainsi que la précision ; qui caractérisent les machines choisies précédemment (dans ce cas, le cout est négligé car il n'influe pas sur le traitement de la pièce). Les pièces destinées à ce type de traitement dans ces machines sont classées en deux catégories, moyennes et petites pièces, sachant que celle de la première catégorie généralement ne nécessitent pas une précision très

importante, tandis que pour les petites pièces la précision est exigée, elle peut aller jusqu'au micromètre.

- Remplissage de la matrice de décision :

Nous avons les critères suivants relatifs aux marques des machines mentionnés précédemment : **le volume de construction et la précision.**

Les poids des facteurs sont donnés comme suit : (1 : pas important, 2 : peu important, 3 : important, 4 : Très important).

Etapes de calcul

- Donner une note à chaque traitement par rapport aux critères cités (généralement de 0 à 5) ;
- Calculer la note pondérée puis faire le total par ligne. Nous obtenons l'évaluation globale de chaque traitement ;
- Additionner les critères pour chaque colonnes ;
- Choisir la solution qui obtient le total le plus élevé.

Tableau V-5: matrice de décision pour le choix des techniques convenable

Critères	Volume de construction		Précision		Totale
	Poids				
Poids	3		4		7
DMD	4	12	1	4	16
LENS	3	9	2	8	17
EBM	2	6	3	12	18
DMLS	1	3	4	16	19
SLM	1.5	4.5	4	16	20.5

Après cette opération, les deux techniques choisies sont celle qui possède le score le plus élevé **SLM**, et l'autre avec le score minimale **DMD**.

Résultat obtenu



Figure V-2: RENISHAW Le RenAM 500M (SLM)



Figure V-3: BeAM Magic 800 (DMD)

5.3 Modélisation mathématique

Comme nous avons indiqué dans le chapitre précédent, les étapes du processus de remis à neuf sont concaténés de la collecte des groupes électrogènes au contrôle de qualité des produits remanufacturés. Pour modéliser le système proposé, il faut tout d'abord le décortiquer et modéliser chaque étape d'elle-même. Puis, développer un modèle qui englobe la totalité de système. Ci-après la modélisation selon la succession du processus.

5.3.1 Étape 1 : La récupération

La récupération agit d'un démontage du groupe électrogène, de puissance maximale entre 8 et 24000 KVA, avec des moyens manuels, avec la récupération du matériau pour sa localisation postérieure à un autre emplacement, et chargement manuel dans le camion ou la benne. Les dépenses de récupération peuvent être modélisées mathématiquement comme suit :

$$C_{i,j}^{rec} = \sum_{n1=1}^{N1} m_{n1}^{rec} \cdot C_{n1}^{op} \cdot t_{i,n1}^{rec} + \sum_{n2=1}^{N2} (l_{n2}^{rec} \cdot C_{n2}^{eq} \cdot t_{i,n2}^{rec}) + C^{tr} \cdot t_j^{tr} \quad (5.1)$$

$C_{i,j}^{rec}$: Le cout de récupération d'un groupe électrogène d'une puissance nominale i à partir du site s .

m_{n1}^{rec} : Nombre des opérateurs ayant un niveau de qualification n_1 qui participent à la récupération du groupe.

C_{n1}^{op} : Le cout unitaire par unité du temps de l'opérateur ayant un niveau de qualification n_1 .

$t_{i,n1}^{rec}$: Le temps pris par un opérateur ayant un niveau de qualification n_1 pour récupérer un groupe d'une puissance nominale i .

l_{n2}^{rec} : Nombre des équipements du niveau n_2 .utilisés pour la récupération d'un groupe.

C_{n2}^{eq} : Le cout unitaire d'utilisation d'équipement du niveau n_2 .

$t_{i,n2}^{rec}$: Le temps d'utilisation d'un équipement du niveau n_2 pour la récupération d'un groupe d'une puissance nominale i .

C^{tr} : Cout unitaire de transport par unité du temps, déterminé par l'entreprise.

t_j^{tr} : Le temps de transport entre le site d'extraction j .

5.3.2 Étape 2 : Le désassemblage

A l'arrivé des groupes électrogènes, ils vont être décomposé en deux parties : de support (électrique, système de refroidissement...etc.) et mécanique, où chaque partie serra décortiquée

selon un plan de démontage total. Le désassemblage est modélisé mathématiquement comme suit :

$$C_i^{dess} = \sum_{n1=1}^{N1} m_{i.n1}^{dess} \cdot C_{n1}^{op} \cdot t_{i.n1}^{dess} + \sum_{n2=1}^{N2} l_{i.n2}^{dess} \cdot C_{i.n2}^{eq} \cdot t_{i.n2}^{dess} \quad (5.2)$$

C_i^{dess} : Le cout de désassemblage d'un groupe électrogène d'une puissance nominale i .

$m_{i.n1}^{dess}$: Nombre des opérateurs ayant niveau n_1 , participants au désassemblage d'un groupe d'une puissance nominale i .

C_{n1}^{op} : Le cout unitaire de l'opérateur ayant un niveau n_1 .

$t_{i.n2}^{dess}$: Le temps pris par un opérateur ayant un niveau de qualification n_1 pour désassembler un groupe d'une puissance nominale i .

$l_{i.n2}^{dess}$: Nombre des équipements du niveau n_2 utilisés pour le désassemblage d'un groupe d'une puissance nominale i .

$C_{i.n2}^{eq}$: Le cout unitaire d'utilisation d'un équipement du niveau n_2 .

$t_{i.n2}^{dess}$: Le temps d'utilisation d'un équipement du niveau n_2 pour le désassemblage d'un groupe d'une puissance nominale i .

5.3.3 Étape 3 : Le nettoyage

Avant d'être traité, le groupe subit un nettoyage convenable. Le cout de cette opération est modélisé mathématiquement comme suit :

$$C_i^{nett} = \sum_{n1=1}^{N1} m_{i.n1}^{nett} \cdot C_{n1}^{op} \cdot t_{i.n1}^{nett} + \sum_{n2=1}^{N2} l_{i.n2}^{nett} \cdot C_{n2}^{eq} \cdot t_{i.n2}^{nett} \quad (5.3)$$

C_p^{nett} : Le cout de nettoyage d'un groupe électrogène d'une puissance nominale i .

$m_{i.n1}^{nett}$: Nombre des opérateurs ayant niveau n_1 , participants au nettoyage d'un groupe d'une puissance nominale i .

C_{n1}^{op} : Le cout unitaire de l'opérateur ayant un niveau n_1 .

$t_{i.n1}^{nett}$: Le temps pris par un opérateur ayant un niveau de qualification n_1 pour nettoyer un groupe d'une puissance nominale i .

$l_{i.n2}^{nett}$: Nombre des équipements du niveau n_2 utilisés pour le nettoyage d'un groupe d'une puissance nominale i .

C_{n2}^{eq} : Le cout unitaire d'utilisation d'un équipement du niveau n_2 .

$t_{i,n2}^{nett}$: Le temps d'utilisation d'un équipement du niveau $n2$ pour le nettoyage d'un groupe d'une puissance nominale i .

Après cette étape, les composants de groupe électrogène vont être orientés soit vers le stock (pièces en bon état), soit pour le traitement (pièces maintenables), ou bien vers le recyclage (pièces non réparables).

5.3.4 Étape 4 : Le traitement

A/ traitement des systèmes de support

Le traitement de la partie support est modélisé mathématiquement comme suit :

$$C_i^{supp} = \sum_{n1=1}^{N1} \sum_{t=1}^T m_{i,n1,t}^{supp} \cdot C_{n1}^{op} \cdot t_{i,n1,t}^{supp} + \sum_{n2=1}^{N2} \sum_{t=1}^T l_{i,n2,t}^{supp} \cdot C_{n2}^{eq} \cdot t_{i,n2,t}^{supp} \quad (5.4)$$

C_i^{supp} : Cout de traitement de la partie support d'un groupe de la puissance i .

$m_{i,n1,t}^{supp}$: Nombre des opérateurs ayant niveau $n1$, participants au traitement du système de support t du groupe d'une puissance nominale i .

C_{n1}^{op} : Le cout unitaire de l'opérateur ayant un niveau $n1$.

$t_{i,n1,t}^{supp}$: Le temps pris par un opérateur ayant un niveau de qualification $n1$ pour le traitement du système de support t d'un groupe d'une puissance nominale i .

$l_{i,n2,t}^{supp}$: Nombre des équipements d'un niveau $n2$ utilisés pour le traitement du système de support t d'un groupe d'une puissance i .

C_{n2}^{eq} : Le cout unitaire d'utilisation d'équipement du niveau $n2$.

$t_{i,n2,t}^{supp}$: Le temps d'utilisation d'un équipement du niveau $n2$ pour le traitement du système de support t d'un groupe d'une puissance i .

B/ traitement des pièces maitresses

Le traitement de la pièce (remanufacturing) se fait comme expliqué dans la partie technique selon deux méthodes, additif ou soustractif :

➤ Le cout du traitement additif est modélisé mathématiquement comme suit :

$$C_i^{add} = \sum_{n1=1}^{N1} \sum_{k=1}^K q_1 m_{i,n1,k}^{add} \cdot C_{n1}^{op} \cdot t_{i,n1,k}^{add} + \sum_{n2=1}^{N2} \sum_{k=1}^K q_2 l_{n2,p,k}^{add} \cdot C_{n2}^{eq} \cdot t_{i,n2,k}^{add} \quad (5.5)$$

C_i^{add} : Cout de traitement additif d'un groupe de la puissance i ;

$m_{i,n1,k}^{add}$: Nombre des opérateurs ayant niveau $n1$ participants au traitement additif de la pièce k d'un groupe de la puissance i .

C_{n1}^{op} : Le cout unitaire de l'opérateur ayant un niveau $n1$.

$t_{i.n1.k}^{add}$: Le temps pris par un opérateur ayant un niveau de qualification $n1$ pour le traitement additif de la pièce k d'un groupe de la puissance i .

$l_{i.n2.k}^{add}$: Nombre des équipements d'un niveau $n2$ utilisés pour le traitement additif de la pièce de nature k d'un groupe d'une puissance i .

C_{n2}^{eq} : Le cout unitaire d'utilisation d'équipement du niveau $n2$.

$t_{i.n2.k}^{add}$: Le temps d'utilisation d'un équipement du niveau $n2$ pour le traitement additif de la pièce de nature k d'un groupe d'une puissance i .

➤ Le traitement soustractif est modélisé mathématiquement comme suit :

$$C_i^{sous} = \sum_{n1=1}^{N1} \sum_{k=1}^K m_{i.n1.k}^{sous} \cdot C_{n1}^{op} \cdot t_{i.n1.k}^{sous} + \sum_{n2=1}^{N2} \sum_{k=1}^K l_{i.n2.k}^{sous} \cdot C_{n2}^{eq} \cdot t_{i.n2.k}^{sous} \quad (5.6)$$

C_i^{sous} : Cout de traitement soustractif de la pièce k d'un groupe de la puissance i ;

$m_{i.n1.k}^{sous}$: Nombre des opérateurs ayant niveau $n1$ participants au traitement soustractif de la pièce k d'un groupe de la puissance i .

C_{n1}^{op} : Le cout unitaire de l'opérateur par rapport à son niveau $n1$.

$t_{i.n1.k}^{sous}$: Le temps pris par un opérateur ayant un niveau de qualification $n1$ pour le traitement soustractif de la pièce k d'un groupe de la puissance i .

$l_{i.n2.k}^{sous}$: Nombre des équipements d'un niveau $n2$ utilisés pour le traitement soustractif de la pièce de nature k d'un groupe d'une puissance i .

C_{n2}^{eq} : Le cout unitaire d'utilisation d'équipement par rapport à son niveau $n2$.

$t_{i.n2.k}^{sous}$: Le temps d'utilisation d'un équipement du niveau $n2$ pour le traitement soustractif de la pièce de nature k d'un groupe d'une puissance i .

Le cout de remis à neuf des pièces maitresses est défini par :

$$C_i^{reman} = C_i^{add} + C_i^{sous} \quad (5.7)$$

5.3.5 Étape 5 : Le test

Chaque pièce traitée passe par plusieurs tests afin de vérifier sa qualité. Cette opération est modélisée mathématiquement comme suit :

$$C_i^{test} = \sum_{n1=1}^{N1} \sum_{k=1}^K m_{i.n1.k}^{test} \cdot C_{n1}^{op} \cdot t_{i.n1.k}^{test} + \sum_{n2=1}^{N2} \sum_{k=1}^K l_{i.n2.k}^{test} \cdot C_{n2}^{eq} \cdot t_{i.n2.k}^{test} \quad (5.5)$$

C_i^{test} : Cout de test d'un groupe de la puissance i ;

$m_{i,n1,k}^{test}$: Nombre des opérateurs ayant niveau $n1$ participants au test de la pièce k d'un groupe de la puissance i .

C_{n1}^{op} : Le cout unitaire de l'opérateur par rapport à son niveau $n1$.

$t_{i,n1,k}^{test}$: Le temps pris par un opérateur ayant un niveau de qualification $n1$ pour le test de la pièce k d'un groupe de la puissance i .

$l_{i,n2,k}^{test}$: Nombre des équipements d'un niveau $n2$ utilisés pour le test de la pièce de nature k d'un groupe d'une puissance i .

C_{n2}^{eq} : Le cout unitaire d'utilisation d'équipement par rapport à son niveau $n2$.

$t_{i,n2,k}^{test}$: Le temps d'utilisation d'un équipement du niveau $n2$ pour le test de la pièce de nature k d'un groupe d'une puissance i .

5.3.6 Étape 06 : L'assemblage

Vu que nous avons adapté la retro assemblage, le remontage des différents composants du groupe nécessite les mêmes équipements et opérateurs pour chaque puissance comme le désassemblage, donc son cout est calculé de la même manière.

5.3.7 Etape 07 : L'essai de fonctionnement

Le groupe formé de nouveau puis placé sur un banc d'essai pour vérifier sa qualité, cette opération est modélisé mathématiquement comme suit :

$$C_i^{be} = \sum_{n1=1}^{N1} m_{i,n1}^{be} \cdot C_{n1}^{op} \cdot t_{i,n1}^{be} + \quad (5.8)$$

C_i^{be} : Cout de test d'un groupe de la puissance i sur le banc d'essai.

$m_{i,n1}^{be}$: Nombre des opérateurs ayant niveau $n1$ participants au test d'un groupe de la puissance i sur le banc d'essai.

C_{n1}^{op} : Le cout unitaire de l'opérateur par rapport à son niveau $n1$.

$t_{i,n1}^{be}$: Le temps pris par un opérateur ayant un niveau de qualification $n1$ pour le test d'un groupe de la puissance i sur le banc d'essai.

C^{be} : Le cout unitaire d'utilisation du banc d'essai.

t_i^{be} : Le temps d'utilisation du banc d'essai nécessaire le test d'un groupe d'une puissance i .

5.3.8 Stockage

Le cout de stockage est modélisé mathématiquement comme suit :

$$C_i^{sk} = C^{sk} \cdot t_i^{sk}$$

(5.9)

C_i^{sk} : Cout de stockage d'un groupe électrogène de la puissance i ;

C^{sk} : Cout de stockage par jour.

t_i^{sk} : Temps de stockage d'un groupe électrogène de la puissance i ;

5.3.9 Le cout de revient

Il est estimé de la littérature ou les chercheurs l'estime d'être entre 60% et 80% de prix de d'un nouveau équipement (cette valeur prend en compte les pénalités sur la valeur ajouté, les couts de service après-vente...), et par rapport au prix de vente des produits similaires dans le marché mondiale comme les uns de la marque CAT-REMAN en 2020.

5.3.10 Fonction objectif

Notre objectif est de maximiser la marge bénéficiaire prenant en considération l'ensemble des étapes de remanufacturing nécessaires pour la remis à neuf d'un groupe électrogène selon la fonction suivante

$$\begin{aligned}
 max = & \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I C_i^{revient} \cdot Q_{i,j} \\
 & - \left(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_i^{rec} \cdot Q_{i,j} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_i^{sk} \cdot Q_{i,j} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_i^{dess} \cdot Q_{i,j} \right. \\
 & + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_i^{nett} \cdot Q_{i,j} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_i^{supp} \cdot Q_{i,j} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_i^{reman} \cdot Q_{i,j} \\
 & \left. + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_i^{test} \cdot Q_{i,j} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_i^{ass} \cdot Q_{i,j} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_i^{be} \cdot Q_{i,j} \right)
 \end{aligned}
 \tag{5.10}$$

Variable de décision

$Q_{i,j}$: Quantité des groupe d'une puissance i récupéré auprès le site j .

Contrainte

La somme des quantités des groupes d'une puissance i récupéré du site j ne doit pas dépasser la quantité fournie par les points de collecte identifié par les sites j :

$$Q_{i,j} \leq cap_{i,j}$$

$cap_{i,j}$: Capacité du site j de fournir un groupe de type i .

D'autre part, la quantité à acquérir est relative à la capacité annuelle de la ligne de remise à neuf. Le temps de traitement entier d'un groupe est représenté par le temps de stockage. Pour cela, cette contrainte est exprimée en fonction du temps de stockage relatif à chaque puissance :

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J Q_{i,j} \cdot t_i^{sk} \leq CAP$$

CAP : Capacité annuelle de la ligne de remis à neuf (360 jours)

t_i^{sk} : Temps de traitement d'un groupe.

5.4 Génération de modèle mathématique

5.4.1 Données techniques : groupe électrogènes

Pour tester l'efficacité de l'étude proposée, nous avons appliqué le modèle mathématique proposé sur une gamme de groupes électrogènes à moteur Diesel avec des puissances différentes (8 kVA, 40 kVA, 235 kVA, 630 kVA, 1385 kVA, et 2230 kVA). Les composants des différents modèles peuvent être séparés en deux familles de produits : une famille pour les systèmes de support et une famille pour les pièces mécaniques (tous les modèles ont les mêmes pièces) la variation de puissance. Chaque équipement est interprété par l'augmentation des caractéristiques techniques de chaque composant. Le tableau suivant présente les différents composants d'un groupe électrogène :

Tableau V-6: listes des composants d'un groupe électrogène

systèmes de support	API
	le compensateur de silencieux.
	les câbles électriques
	les tuyauteries eau, air, gasoil et huile
	turbocompresseurs
	le collecteur d'échappement
	le carénage de ventilateur
	la ventilateur
	tendeur et l'amortisseur de vibration
	le radiateur eau et échangeur d'air.
	pompe à eau et gasoil.
	la pompe injection
	la pompe à huile.
	le cartier de la distribution et le carter d'huile
pièces mécaniques	bielle
	block cylindres
	chapeau palier
	vilebrequin
	chemise
	coussinet
	soupape
	arbre à cames
	douille AAC

	piston
	culbuteur
	culasse

5.4.2 Données réseaux de collecte

D'après les informations récoltées par l'entreprise MEI, le réseau de collecte de produits électroniques et électriques, particulièrement le groupe électrogène utilisé actuellement comporte 23 points de collecte éparpillé sur le territoire national. Le tableau 5.7 représente les différents points de collecte en précisant les distances relatives par rapport à l'unité de production et transformation :

Tableau V-7: les points de collecte des groupes électrogènes

sites	distances
EL GOLEA	591 km
BENNIABBES	1091 km
TABELBALA	1286 km
MGUIDEN timimoun	969 km
AIN BELBEL 1	1311 km
AIN BELBEL 2	1342 km
OUM EL ASSEL	1426 km
KERZAZ	1181 km
TALMINE	1203 km
TINDOUF	1709 km
B B MOKHTAR	2027 km
TIMIAOUIN	2178 km
TIN ZAOUATEN	2118 km
AIN GUEZZAM	2200 km
TAMANRASSET	1811 km
IDLESS	1787 km
DJANET	1964 km
ILIZI	1558 km
B EL HAOUAS	1828 km
TARAT	1162 km
B OMAR DRISS	1017 km
EL BORMA	922 km
DEBDEB	1098 km

5.4.3 Résultat

Nous avons résolu le modèle sous CPLEX, en prenant en considération les couts d'investissement, les différents tarifs de pièces et de prestation ainsi que les quantités fournis

par les points de collecte basés sur l'archive de MEI de l'année fiscale 2017/2018. La marge bénéficiaire annuelle est de l'ordre de : **75 735 537.88 DA**

Solution with objective 75,735,537.88	
Name	Value
▼ Data (21)	
Cadd	[[79416 81049 79960 1.07
cap	[[2 1 0 1 1 0 0 0 1 1 0 0 0 0
CAP	360
Cassdes	[42000 52800 130400 219
Cbe	[2600 13820 69120 21772
Cext	[4283 12706 18954 25310
Cnet	[18684 18684 18684 1868
Cvient	[350000 1800000 4000000

Figure V-4: la solution obtenue par le solveur Cplex

Pour les quantités de chaque type d'électrogènes récolté en terme de puissance pour tous le réseau sont donnée dans le tableau .8 et plus de précision sont détaillé dans les tableaux 5.9 et 5.10.

Tableau V-8: les quantités des groupes récupérés par apport à ses puissances et points de collecte

Les puissances des groupes	Quantité récupéré	Quantité récupéré / points de collectes
8 kVA	0	/
40 kVA	0	/
200 kVA	0	/
630 kVA	9	2, 3, 10, 15 et 17 (1), 13 et 14 (2)
1385 kVA	0	/
2230 kVA	14	9, 20, 21 et 23 (1), 22 (2)

D'après le tableau 5.8, nous constatons que sur l'ensemble des puissances approprié par le entreprise pour chaque type de groupes, seulement deux catégories de puissance ont été récolté qui sont de l'ordre de 9 produit pour la référence de (630 KVA) qui représente la puissance 4 et de 14 produit pour la référence de 2230KVA qui représente la puissance 6. Le détail des zones de collectes sont données dans le tableau 5.9 pour les groupes électrogènes de puissance 4 et dans le tableau 5.10 pour les groupes électrogènes de puissance 6.

Tableau V-9 : les sites choisis par le solveur Cplex par rapport à la puissance 4(630 kVA)

↓ puissance (size 6)	↓ site (size 23)	Values
		↓ Value
4	1	0
4	2	1
4	3	1
4	4	0
4	5	0
4	6	0
4	7	0
4	8	0
4	9	0
4	10	1
4	11	0
4	12	0
4	13	2
4	14	2
4	15	1
4	16	0
4	17	1
4	18	0
4	19	0
4	20	0
4	21	0
4	22	0
4	23	0
5	1	0
5	2	0

A partir du tableau 5.9 qui précise les groupes électrogènes de puissance 4, le nombre total des produits récoltés sont 9 à partir de 7 sites. Nous avons remarqué que les sites : 2, 3, 10,15 et 17 ont fournis un seul article (un seul groupe électrogène) et les sites 13 et 14 ont fournis deux groupes par site. Pour les autres sites, aucune quantité n'a été signalée. Cet récolté est justifié par la disponibilité de ce type de produit selon les statistiques de l'entreprise

Tableau V-10: les sites choisis par le solveur Cplex par rapport à la puissance 6 (2230 kVA)

↓ puissance (size 6)	↓ site (size 23)	Values
		↓ Value
5	22	0
5	23	0
6	1	0
6	2	0
6	3	0
6	4	0
6	5	0
6	6	0
6	7	0
6	8	0
6	9	1
6	10	0
6	11	0
6	12	0
6	13	0
6	14	0
6	15	0
6	16	0
6	17	0
6	18	0
6	19	0
6	20	1
6	21	1
6	22	2
6	23	1

De mêmes, pour les groupes électrogènes de puissance 6, les résultats ont été présenté dans le tableau 5.10. Le nombre total des produits récoltés sont 6 articles à partir de 5 sites. Nous avons remarqués que les sites : 9, 20,21 et 23 ont fournis un seul article (un seul groupe électrogène) et le site 22 a fourni deux groupes. Pour les autres sites, aucune quantité n'a été signalée.

Les résultats obtenus sont très prometteur dans le domaine de la DEEE en Algérie pour groupes électrogènes, puisque cette étude a permis d'engendrer un gain de **75 735 537.88 DA** sur des produits défectueux destinés à une décharge nocturne, nocive pour la santé humaine et avec des impacts négatifs environnementaux, d'un côté. D'un autre côté, la valorisation et le remanufacturing d'un produit en fin de vie permet de donner une seconde chance aux articles avec une augmentation de poste de travail et une amélioration de la qualité de vie financière et environnementale.

5.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons traité l'aspect économique de cette étude. Les résultats prouvent la rentabilité de la remise à neuf des groupes électrogènes en Algérie par des remanufacturiers (*IR/CR*). Nous espérons que cette étape contribuera dans la construction d'une base pour la création d'une filière DEEE en Algérie.

Conclusion générale

La valorisation de déchets a été mise en place au cours des dernières années pour répondre à des pressions et exigences économiques, environnementales et sociétales. Pour donner une deuxième vie aux produits et aux ressources trouvées dans les déchets et diminuer les impacts environnementaux liés à leur gestion, il faut un prétraitement qui consiste à la séparation et la décortication des différents composants et matières des déchets. C'est une étape essentielle pour la valorisation de produits complexes comme les DEEE (déchets d'équipements électriques et électroniques), qui ont fait l'objet de ce travail. Plus précisément, nous avons étudié la faisabilité d'un processus du remanufacturing des déchets d'équipement électrique et électronique (DEEE) en Algérie, cas des groupes électrogènes à moteur Diesel. Ce projet est réalisé sur la base d'une analyse des œuvres et projets similaires réalisés auparavant, et des informations, des données et des statistiques collectées d'après l'entreprise MEI et des sorties sur le terrain (stage, questionnaires, visites, etc.).

Nos recherches commencent par la description d'une vue d'ensemble complète sur le remanufacturing dans le cadre de l'économie circulaire, où nous avons constaté que l'application d'une telle gestion est pleine d'espoir en industrie notamment pour notre pays suite à l'existence d'une grande quantité de produits en fin de vie. Afin de comprendre l'expertise liée à ces pratiques, la deuxième partie était consacrée pour décrire les concepts fondamentaux relatifs au remanufacturing et comment influence-t-il sur la fiabilité, la maintenabilité, la garantie et la qualité du produit.

Dans la troisième partie de notre travail, nous avons expliqué d'une manière plus précise que ce qu'un DEEE en montrant ses différentes catégories et sa gestion appropriée. Par la suite, nous avons présenté son flux et son état de lieu dans notre pays. Malgré l'importante évolution quantitative de ce type de déchets à l'échelle nationale, malheureusement, aucun investissement n'est programmé par l'état pour son traitement, ainsi que la grande portion de ces déchets est prise en charge par le secteur informel.

L'originalité de ce travail de recherche est principalement liée aux types d'analyses descriptives réalisées et aux modélisations techniques pour les groupes électrogènes. Dans ce cadre, une analyse statistique en composantes principales a été réalisée afin de développer une méthode d'analyse systématique et détaillée du traitement réalisé par un type spécifique de DEEE, plus précisément les groupes électrogènes pour l'entreprise MEI. Nous avons construit des moyens méthodologiques permettant d'apporter des éléments de réponse à cet enjeu. Plus concrètement, nous proposons de mettre en place des méthodes et modèles qui permettent de ramener en conception l'expertise liée à la conception et au traitement de la filière DEEE allant de la collecte jusqu'à l'obtention d'un produit remanufacturé. Pour réaliser cette partie qui est l'étude de la faisabilité de la politique du remanufacturing en Algérie, nous avons étudié et défini les différents acteurs qui peuvent participer pour l'élaboration et la remise à neuf d'un produit remanufacturé ainsi que les conditions nécessaires et les stratégies adoptées pour l'appliquer. Ceci a été interprété par une description et une proposition détaillée pour un processus du remanufacturing que nous l'avons formulé sur la base des différents principes de planification existants. Un modèle mathématique a été proposé et résolu à travers un solveur d'optimisation afin d'obtenir les résultats en dernier.

CONCLUSION GENERALE

Les résultats obtenus sont très prometteur dans le domaine de la DEEE en Algérie pour les groupes électrogènes, conçu d'une manière bien définie peut être rentable dans les conditions actuelles économiques Algériennes puisque cette étude a permis d'engendrer un gain sur des produits défectueux destinés à une décharge nocturne, nocive pour la santé humaine et avec des impacts négatifs environnementaux, d'un côté. D'un autre côté, la valorisation et le remanufacturing d'un produit en fin de vie permet de donner une seconde chance aux articles avec une augmentation de poste de travail et une amélioration de la qualité de vie financière et environnementale.

Afin de voir le niveau de la conscience environnementale en Algérie, nous avons fait un questionnaire pour voir le comportement du citoyen algérien avec les produits électriques et électroniques et leurs déchets. Le résultat le plus important est que dans le cas d'existence de nouvelles politiques pour traiter ces déchets, les gens étaient pour de s'adapter avec eux.

Comme toute démarche humaine, les éléments proposés dans cette étude et recueillis dans des conditions parfois très difficiles sont éminemment perfectibles au contact des réalités vécues et en fonction de la pratique à améliorer sur le terrain.

Références

- [1] «Adolphe Blanqui dans son Histoire de l'économie politique».
- [2] Stefan Amber et Paul Lanoie, «Performance environnementale et économique de l'entreprise».
- [3] A. Stravinskaite, «Impact de la production des déchets sur l'environnement Est-ce que la production des déchets a une influence sur l'environnement ?», 28 janvier 2012.
- [4] «ressources.aunege.fr,» [En ligne].
- [5] M. A. YAHIA, Cours de MKG de Base 1 ère année – Institut national de commerce, année universitaire 2005/2006.
- [6] «stmg.education,» [En ligne].
- [7] «www.marketing-etudiant.fr,» [En ligne].
- [8] *Institut EDDEC, En collaboration avec RECYC-QUÉBEC.*, 2018.
- [9] «fr.wikipedia.org,» [En ligne].
- [10] C. e. Meindl, Supply chain Management: Strategy, Planning and Opérations 3rd edition,, Upper Saddle River, NJ.: Prentice-Hell, 2007.
- [11] Z. Mouloua, Ordonnancements coopératifs pour les chaînes logistiques. Informatique [cs]/<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00606329/document>, Institut National Polytechnique de Lorraine - INPL. Français. fftel-00606329f, 2007.
- [12] «www.researchgate.net,» [En ligne].
- [13] P. M.C., Chaînes logistiques et gestion de la production, ISDP 32, cours à l'école des mines de Nancy., 2006.
- [14] Taylor D.A., Supply Chains: A Manager's Guide. Addison Wesley, USA., 2003.
- [15] D. W. K. J. M. S. N. N. S. C. Z. Z. Mentzer J.T., Journal of business logistics Management, vol 22 (2)., 2001.
- [16] Hugos M., Essentials of supply chain management. John Wiley and sons, Inc, New Jersey, USA., 2003.
- [17] A. Bagnaud, Optimisation logistique, Nov 9, 2018 .

- [18] c. d. c. e. l. GROUPE GCL, Logiguide CGL-Supply Chain-FAQ Logistique/<https://www.faq-logistique.com/GCL-Logiguide-Vol08Num01-Gestion-Chaine-Logistique.htm>, 13 avenue René Boylesve 75016 Paris.
- [19] A. Fernandez, Principe du Supply Chain Management expliqué / <https://www.piloter.org/techno/SCM/principe-supply-chain-management.htm>.
- [20] R. L. Moigne, L'économie circulaire Stratégie pour un monde durable, DUNOD, 2014.
- [21] D. M. J. R. W. W. B. I. Dennis Meadows, «Les Limites à la croissance _The Limits to Growth,» Donella Meadows, 1972.
- [22] A. G. I. L. M. C. M. P. W. Michael Borucke., Global Footprint Network, 2013. The National Footprint Accounts, 2012 edition. Global Footprint Network, Oakland, CA, USA.
- [23] World Wide Fund for Nature (WWF) EU overshoot day living beyond nature's limits. Brussels, 2019.
- [24] C. H. O. M. T. D. T. Hicks, A functional model of supply chains and waste. *Int. J. Production Economics* 89, 165–174., 2004.
- [25] D. r. a. déchets, JO L 78, p. 3, 1991.
- [26] legifrance, Code de l'environnement - Article L541-1/ www.legifrance.gouv.fr.
- [27] Definition of “Liquid Waste”. In National Service Center for Environmental Publications, from <https://nepis.epa.gov/>, March 19, 2017.
- [28] P. H. -. I. N. C. District, Solid Waste - frome : <https://www.idahopublichealth.com/environmental-health/solidwaste>.
- [29] ADEME, les déchets des ménages - Et si nous mettions nos poubelles au régime ?.
- [30] U. N. & S. H. Ngoc, Sustainable solutions for solid waste management in Southeast Asian countries. *Waste Management*, 29(6), 1982-1995. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.08.031>, 2009.
- [31] G. T. H. & V. S. Tchobanoglous, Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues. *Water Science & Technology Library*, 8(1), 63-90., 1993.
- [32] P. T. Williams, Waste Treatment and Disposal. London, New York: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/0470012668>, 2005.
- [33] «fr.wikipedia.org,» [En ligne].
- [34] Glossary of Environment Statistics, Studies in Methods, Series F, No. 67, United Nations,, New York, 1997.

- [35] «www.ehs.uci.edu,» [En ligne].
- [36] A. Forni, Difference between hazardous and non-hazardous waste/<https://dsposal.uk/articles/difference-between-hazardous-and-non-hazardous-waste/>.
- [37] A. F. K. P. N. C. Rashid A, Resource conservative manufacturing: an essential change in business and technology paradigm for sustainable. *J Clean Prod* 57:166–177, 2013.
- [38] O. I. Singh J, Resource recovery from post-consumer waste: important lessons for the upcoming circular economy. *J Clean Prod* 134:342–353., 2015.
- [39] A. GELDRON, Direction Economie circulaire et déchets, ADEME Angers.
- [40] articles/économie-circulaire-de-quoi-parle-t-on/
<https://www.avise.org/articles/economie-circulaire-de-quoi-parle-t-on#:~:text=Le%20minist%C3%A8re%20de%20l%27environnement,consommation,Mit%20à%20jour%20le%2017%20D%C3%A9cembre%202018.>
- [41] ADEME "Agence nationale pour la gestion de l'environnement et de l'énergie", 2016.
- [42] «youmatter.world/fr,» [En ligne].
- [43] «www.logistiqueconseil.org,» 10 04 2020. [En ligne].
- [44] V. D. R. G. e. L. N. V. Wassenhove, « OR FORUM—The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research », *Oper. Res.*, vol. 57, no 1, p. 10 18, févr 2009.
- [45] H. D. S. Wu, Environmentally responsible logistics systems, *International journal of physical distribution & logistics management*, vol 25, iss 2, pp. 20-39, 1995.
- [46] S. Hart, “Beyond greening: Strategies for a sustainable world”, *Harvard Business Review*, 1997.
- [47] B. Beamon, “Designing the green supply chain”, *Logistics Information Management*, 1999.
- [48] A. H. M. & S. J. Hervani, Performance measurement for green supply chain management. *Benchmarking: An international Journal*, 12(4), 330-353., 2005.
- [49] Y. BENSMAIN, Élaboration d’une nouvelle stratégie du remanufacturing des équipements avec intégration des contraintes de maintenance et de production, Tlemcen, 18/04/2019.
- [50] «pro-spareblog.com,» 15 07 2015. [En ligne].
- [51] Afnor, *NF X50-501*, Septembre 2007.
- [52] «www.businessdictionary.com,» [En ligne].

- [53] «www.streetdirectory.com,» [En ligne].
- [54] W. J. J. Enslin, Situational Cannibalization: A Viable Support Alternative., Oct-Dec 2004.
- [55] «www.futura-sciences.com,» [En ligne].
- [56] E. COMMISSION, Integrated Pollution Prevention and Control - Waste Incineration, August 2006.
- [57] «fr.wikipedia.org,» [En ligne].
- [58] i. federatedenvironmental Associats, «LANDFILLS AND BURIED WASTES / contact@federatedenvironmental.com,» consulté le 15/04/2020.
- [59] R. Steinhilper, Remanufacturing the Ultimate Form of Recycling. Fraunhofer IRB Verlag : Stuttgart. 108 p, 1998.
- [60] A. B. S. I. W. a. M. C. King, Reducing waste: Repair, recondition, remanufacture or recycle?, 2006.
- [61] J. A. D. H. K. a. K. V. Sutherland, Comparison of manufacturing and remanufacturing energy intensities with application to diesel engine production, Cirp Annals-Manufacturing Technology. Vol 57, No 1: p. 5-8., 2008.
- [62] B. P. H. S. S. G. Steingrímsson J.G., Business Strategies for Competition and Collaboration for Remanufacturing of Production Equipment, 2011.
- [63] «www.remanufacturing.org.uk,» [En ligne].
- [64] B. L. S. e. W. H. Xu, Developing remanufacturing engineering, constructing cycle economy and building saving-oriented society, Journal of Central South University of Technology. Vol 12, No: p. 1-6, 2005.
- [65] M. G. Readey, Carbon Footprints and the Remanufacturing Industry : Capitalizing on a Sustainable Advantage, Aeris Analytics, LLC.
- [66] R. Steinhilper, Interview by Gray, C., 22 November 2006.
- [67] L. C. I. o. E. Health, 2005.
- [68] N. N. e. M. Thurston, Remanufacturing: A Key Enabler to Sustainable Product Systems, Rochester, NY - USA : Rochester Institute of Technology, .
- [69] «fr.qwe.wiki,» [En ligne].
- [70] W. M. C. H. G. a. N. S. Ijomah, Development of design for remanufacturing guidelines to support sustainable manufacturing, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. Vol 23, No 6: p. 712-719, 2007.

- [71] Bertrand Bathelot, Définitions Marketing_Cannibalisation produit, modifié le 04/09/2017.
- [72] V. Guide, "Production planning and control for remanufacturing: Industry practice and research needs," *Journal of Operations* pp.467–483, 2000.
- [73] V. G. a. L. J, "The potential for cannibalization of new products sales by remanufactured products," *Decision Sciences* vol.41, Number 3, 2010..
- [74] L. a. L. W. L. Debo, "Life cycle dynamics for portfolios with remanufactured products," *Carnegie Bosch Institute*, 2005.
- [75] M. M. a. Y. Umeda, "An analysis of remanufacturing practices in Japan," *Journal of Remanufacturing*, Springeropen journal, 2011.
- [76] V. K. a. R. T. H. Vasudevan, "Product cannibalization due to remanufacturing and its decisive strategies," *International Conference on Sustainable Manufacturing: Issues, Trends and Practices*, Bits, Pilani, November 10-12, pp. 13-18, 2011.
- [77] A. S. a. M. Wassenhove, "Remanufacturing as a marketing strategy," *Management Science*, vol. 54 (10), pp. 1731-1747., 2009.
- [78] V. G. a. L. Atasu, "So what if remanufacturing cannibalizes my new product sales?" *California Management Review*, vol. 52, No. 2, CMR.Berkeley. Edu, 2010.
- [79] Y. Mortureux, *La sûreté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques.*, Techniques de l'Ingénieur, 2001, p. 1–17.
- [80] AFNOR, *Terminologie de la maintenance*, 2010.
- [81] H. Boudhar, «Optimisation de la politique de remanufacturing des pièces de rechange dans le cadre d'une maintenance intégrée à une chaîne logistique en boucle fermée,» 29 Mars 2018.
- [82] AFNOR, *Statistique et qualité, introduction à la fiabilité.*, AFNOR, Novembre 1977.
- [83] Pagès, A. et Gondran, M., *Fiabilité des systèmes.*, Eyrolles., 1980.
- [84] D. Cox, *Renewal theory.*, London: Methuen et Co, 1962.
- [85] A. Villemeur, *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels.*, Eyrolles., 1988.
- [86] Marvin Rausand . Arnljot Hsyland, «SYSTEM RELIABILITY THEORY Models, Statistical Methods, and Applications,» N. A. C. C. N. I. F. David J Balding et 1. B. K. G. M. L. M. R. U. S. A. I. M. S. J. L. T. V. B. .. S. H. D. G. K. Iain M. Johnstone, Éd., Hoboken, New Jersey , A JOHN WILEY & SONS, INC.,, 2004.
- [87] L. Diez, *Apport de la maintenance prévisionnelle au paradigme de régénération industrielle*, 2018.

- [88] M. N. R. & S. M. Saidi-Mehrabad, «Modeling and analysis of effective ways for improving the reliability of remanufactured products sold with warranty,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2010.
- [89] Shafiee ,M . Chukova, S . Yun, W. Y . Akhavan-Niaki, S.T, «On the investment in a reliability improvement program for warranted remanufactured items.».
- [90] Shafiee, M., Finkelstein, M., & Chukova, S., «On optimal upgrade level for used products under given cost structures.,» chez *Reliability Engineering & System Safety*, 2011.
- [91] Ahmed BELLAOUAR Salima BELEULMI, FIABILITE MAINTENABILITE DISPONIBILITE, Constantine: Département de Génie des transports Faculté des sciences de la technologie Université Constantine, 2013-2014, pp. 77 , 78.
- [92] N. X60-500, Octobre 1988.
- [93] «NF X 60-010».
- [94] «FD X 60-000».
- [95] N. E. 13306.
- [96] Francis.B, Le management de la maintenance évolution et mutation, AFNOR , 1998..
- [97] Kaffel.H, la maintenance distribuée : concept, évaluation et mise en œuvre, université Lavel , 2001.
- [98] Jp. Jacquot, a. Dubreu11-chambardel, a. Lannoy, b.monnier, DEVELOPPEMENT DE METHODES ET D'OUTILS POUR L'OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE PAR LA FIABILITE, Electricité de France 6, Quai Watier 78400 -CHATOU, Décembre 1992.
- [99] T. S, Maintenance-centered Circular Manufacturing, Procedia CIRP éd., vol. 11, 2013, pp. 23- 31.
- [100] A. L. E. C. P. a. I. B. Voisin, “Generic prognosis model for proactive maintenance decision support: application to pre-industrial e-maintenance test bed, vol. 21, 2010, p. 177–193.
- [101] H. Kahouadji A, cours de management de la qualité totale, tlemcen, 2019.
- [102] B. Bathelot, «marketing.com,» 20 12 2019. [En ligne]. Available: <https://www.definitions-marketing.com>.
- [103] Hauser, W., Lund, R. T, the Remanufacturing Industry: Anatomy of a Giant, Boston: Department of Manufacturing Engineering, Boston University, June 2003.
- [104] S. Statham, «Remanufacturing Towards a More Sustainable Future,» Electronics-enabled Products Knowledge-transfer Network Wolfson School of Mechanical and

Manufacturing Engineering Loughborough University, Loughborough, Leics LE11 3TU , 2006.

- [105] Xiaochen Suna , Yancong Zhou , Yongjian Lic , Kannan Govindand and Xiaonan Han, «Differentiation competition between new and remanufactured products considering third-party remanufacturing,» *the Operational Research Society* , p. 21, January 2019.
- [106] «linternaute,» 2019. [En ligne]. Available: <https://www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/definition/garantie/>.
- [107] S. Braudo, « dictionnaire juridique.,» 2019. [En ligne]. Available: <https://www.dictionnaire-juridique.com>.
- [108] Éric Roig, et al, «commentcamarche,» [En ligne]. Available: <https://droit-finances.commentcamarche.com/faq/440-garantie-legale-de-conformite-definition-et-recours>.
- [109] «service-public.fr,» [En ligne]. Available: <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F11094>.
- [110] C. Masson, «capital,» [En ligne]. Available: <https://www.capital.fr/votre-argent/electromenager-appareils-electroniques-les-garanties-dont-vous-beneficiez-1020338>.
- [111] Murthy D.P & Blischke W.R, Warranty management and product manufacture, London: Springer, 2006.
- [112] Liao B F . Li B Y . Cheng J S., «A warranty model for remanufactured products.,» *Journal of Industrial and Production Engineering*, 2015.
- [113] Yazdian S A. Shahanaghi K . Makui A, «Joint optimisation of price, warranty and recovery planning in remanufacturing of used products under linear and non-linear demand, return and cost functions,» *International Journal of Systems Science*, 2014.
- [114] Kuik S S . Kaihara T . Fujii N, «Stochastic Decision Model of the Remanufactured Product with Warranty,» chez *the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists* , 2015.
- [115] Alqahtani A Y . Gupta S M, «End-of-Life Product Warranty,» chez *Proceedings of Northeast Decision Sciences Institute (NEDSI) Conference*, Cambridge, 2015.
- [116] Alqahtani A Y . Gupta S M, « Warranty Policy Analysis for End-Of-Life Product in Reverse Supply Chain,» chez *Proceedings of Production and Operations Management Society (POMS) 26th annual Conference.*, Washington D.C, 2015.
- [117] Ammar Alqahtani , Surendra M Gupta, «Optimizing Two-Dimensional Renewable Warranty Policies for Sensor Embedded Remanufactured Products,» *Journal of Industrial Engineering and Management* , 2017.

- [118] A. Leonard, *The story of electronics: Annotated Script.*, 2010.
- [119] J. Z. X. S. A. Li, *Ecodesign in Consumer Electronics: Past, Present, and Future*. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 45, 840–860. doi:10.1080/10643389.2014.900245, 2015. .
- [120] P. e. e. Conseil, *Directive 2012/19/UE du Parlement européen et du Conseil du 4 juillet 2012 relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) (refonte)*. *J. Off. Union Eur.* 38–71., 2012.
- [121] *DIRECTIVE 2002/96/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)*, 27 janvier 2003.
- [122] M. A. E. C. M. Oteng-Ababio, *The local contours of scavenging for e-waste and higher valued constituent parts in Accra, Ghana*. *Habitat Int.* 43, 163–171. doi:10.1016/j.habitatint.2014.03.003, 2014.
- [123] ADEME, «*Équipements électriques et électroniques. Rapport Annuel. Données 2012.,*» 2013.
- [124] «*Que contiennent les Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques (DEEE) ?*,» 05 06 2017. [En ligne]. Available: <http://www.ecologic.fr>. [Accès le 21 09 2019].
- [125] «*Décret n 2005-829 du 20 juillet 2005 relatif à la composition des équipements électriques et électroniques et à l'élimination des déchets issus de ces équipements*».
- [126] *Les 7 nouvelles catégories de DEEE à compter du 15 août 2018*, B E M R E C Y C L I N G, 0 3 / 0 5 / 2 0 1 9.
- [127] P. N. R. W. M. Kiddee, *Electronic waste management approaches: An overview*. *Waste Manag.* 33,1237–1250. doi:10.1016/j.wasman.2013.01.006, 2013..
- [128] D. W. A. McCann, *Solving the E-Waste Problem (Step) Green Paper. E-waste Prevention, Take-back System Design and Policy Approaches*. Ruediger Kuehr, United Nations University – Institute for the Advanced Study of Sustainability (UNU-IAS)., 2015.
- [129] ADEME, *Équipements électriques et électroniques - Données 2014 - Synthèse.*, 2015.
- [130] J. S. G. K. S. U. Y. O. A. W. B. Duflou, *Efficiency and feasibility of product disassembly: A case-based study*. *CIRP Ann. - Manuf. Technol.* 57, 583–600. doi:10.1016/j.cirp.2008.09.009, 2008.
- [131] C. P. F. V. G. V. K. R. S. P. Baldé, «*The Global E-waste __Quantities, Flows, and Resources / <https://drive.google.com/file/d/11DCXXZM-bflxHxk92gOXbweIceb40brP/view>,*» 2017.
- [132] C. P. B. R. K. G. B. Vanessa Forti, «*The Global E-waste Monitor 2020 Quantities, flows, and the circular economy potential,*» 2020.

- [133] C. a. F. J. Ezeah, Scoping Extended Producer Responsibility (EPR) as a tool for Management of the E-waste problem in Sub Saharan Africa: Key Issues for Consideration. *Dealing with Waste: Resource Recovery and Entrepreneurship in Informal Solid Waste Management in African*, 2017.
- [134] C. Schmidt, Unfair trade — E-waste in Africa. *Environ Health Perspect* 2006;114, A232–5., 2006.
- [135] A. S. M. Magashi, E-waste Assessment Tanzania. UNIDO e-waste initiative for Tanzania. Cleaner Production Centre of Tanzania & Empa Switzerland., 2011.
- [136] J. a. S. M. Wasswa, E-waste assessment in Uganda: A situational analysis of e-waste management and generation with a special emphasis on personal computers. Kampala/Uganda, St.Gallen/Switzerland: Uganda Cleaner Production Center, Empa, 2008.
- [137] A. a. L. D. Finlay, E-waste assessment South Africa. Johannesburg, South Africa: Open research, Empa, 2008 .
- [138] M. H. C. K. R. M. F. M. C. M. C. M. E. a. W. F. Schluep, Recycling - from e-waste to resources, Sustainable innovation, and technology transfer industrial sector studies. Paris, France: Empa, Umicore, UNU. Schmidt, C., 2006 Unfair trade — E-waste in Africa. *Environ Health Perspect* 2006;114, A232–5., 2009.
- [139] S. a. W. M. Sthiannopkao, Handling e-waste in developed and developing countries: Initiatives, practices, and consequences. *Science of the Total Environment* 463–464 1147–1153, 2013.
- [140] S. N. G. K. C. H. K. S. M. Dittke, A material recovery facility in Cape Town, South Africa, as a replicable concept for sustainable ewaste management and recycling in developing countries. In: *Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology*, Cancun, Mexico, October 12–15, 2008.
- [141] «www.liberation.fr,» [En ligne].
- [142] R. W. R. Lombard, e-Waste Assessment in South Africa, A Case Study of the Gauteng Province. EMPA – Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research, Switzerland. Available from: <http://ewasteguide.info/Widmer_2005_Empa>., 2005.
- [143] F. O. W. I. D. C. T. J. Ongondo, How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes. *Waste management*. 31(4), 714-730., 2011.
- [144] J. L. B. L. L. Z. N. Y. K. a. Z. L. Li, Regional or Global WEEE Recycling. Where to go? *Waste Management*. 33, 923-34., 2013.
- [145] «www.atcmask.com,» [En ligne].

- [146] A.-D. B. H. M. Barba-Gutierrez Y, An analysis of some environmental consequences of European electrical and electronic waste regulation. *Resources Conservation and Recycling*; 152,481–95., 2008.
- [147] F. West, «Efforts de recyclage et risques pour l'environnement et la santé,» [En ligne]. Available: <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr>.
- [148] «itu.int,» [En ligne]. Available: <https://www.itu.int/fr/mediacentre/backgrounders/Pages/e-waste.aspx>. [Accès le 13 04 2020].
- [149] K. Youcef, «Rapport sur la gestion des déchets solides en algérie,» Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH et Agence Nationale de Gestion des Déchets (ANGed), Avril 2014.
- [150] [En ligne]. Available: <http://www.r-tech.dz>.
- [151] [En ligne]. Available: <http://www.arabmetals.net>.
- [152] [En ligne]. Available: <http://www.ero-algerie.com>.
- [153] [En ligne]. Available: <https://dz.kompass.com>.
- [154] « AND (Agence Nationale des déchets) Direction de l'environnement de M'sila».
- [155] King, Andrew M. and Burgess, Stuart C. and Ijomah, Winnie, McMahon, Chris A., Reducing waste : repair, recondition, remanufacture or recycle? Sustainable Development, 2006.
- [156] Sundin, E.; Sakao, T.; Lindahl, M.; Kao, C. and Joungierous, B., «Map of Remanufacturing Business Model Landscape,» chez *European Remanufacturing Network*, 2016.
- [157] Knorr-Bremse, « Genuine Remanufacturing,» 26 January 2017.
- [158] Sundin, E.; Östlin, J.; Öhrwall Rönnbäck, A.; Lindahl, M. and Sandström G. , «Remanufacturing of Products used in Product Service System Offerings. In:» chez *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems* , Tokyo, 2008.
- [159] Gabriel Ionut Zlamparet, Winifred Ijomah, Yu Miao, Abhishek Kumar Awasthi, Xianlai, «Remanufacturing strategies: A solution for WEEE problem,» *Journal of Cleaner Production*, 02 02 2017.
- [160] Ismail N, Guillaume Mandil P.Z , « Analysis of the existing design for remanufacturing tools: A first step toward an integrated design platform for remanufacturing.,» 2015.
- [161] King AM & Burgess SC, «Understanding the barriers to remanufacturing: restoring used products to a like-new condition,» *the Design Studies Journal*, 2004.

- [162] Tan, Q., Zeng, X., Ijomah, W.L., Zheng, L., Li, J., «Status of end-of-life electronic product remanufacturing in China,» 2014.
- [163] Wei, S., Cheng, D., Sundin, E., Tang, O, «Motives and barriers of the remanufacturing industry in China.,» 2015.
- [164] Didik Wahjudi ; Shu-San Gan ; Juliana Anggono ; Yopi Y. Tanoto, «FACTORS AFFECTING PURCHASE INTENTION OF REMANUFACTURED SHORT LIFE-CYCLE PRODUCTS,» *International Journal of Business and Society*, Vol. 19 No. 2, 2018.
- [165] 2020. [En ligne]. Available: www.sktm.dz. <http://www.sktm.dz/>. [En ligne] 2019.
- [166] 2020. [En ligne]. Available: <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=electricite-et-gaz>.
- [167] L. f. souverains, Classement des pays producteurs et exportateurs de pétrole, 22 juin 2011.
- [168] [En ligne]. Available: <https://www.sonelgaz.dz/fr/768/general-electric-algeria-turbines-geat>. [Accès le 12 04 2020].
- [169] [En ligne]. Available: <https://www.ge.com/menat/countries>. [Accès le 12 04 2020].
- [170] [En ligne]. Available: <https://www.mei.dz/presentation-mei/>. [Accès le 2019].
- [171] [En ligne]. Available: http://www4.ac-nancy-metz.fr/autocompetences/2_ressources_pedagogiques/12_parcs-et-jardins/stockage_debatty-jc/f-materiels-creation-ev/10_materiels-connexes-specifiques/groupe-electrogene.pdf.
- [172] [En ligne]. Available: <https://grupel.eu/fr/grupel-fr/groupe-electrogene/>.
- [173] S. Tsang Mang Kin, S.K. Ong, A.Y.C. Nee, «Remanufacturing Process Planning,» chez *21st CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, Singapore, 2014.
- [174] Y. Bensmain, Élaboration d'une nouvelle stratégie du remanufacturing des équipements avec intégration des contraintes de maintenance et de production, Tlemcen, 2019.
- [175] A. Landrieu, Logistique inverse et collecte des produits techniques en fin de vie. Tournées de véhicules avec contraintes, 17 Dec 2007.
- [176] M. D.H., Facility locations and routing models on solid waste collection systems. Ph.D. Thesis, Johns Hopkins University, Baltimore, U.S.A., 1969.
- [177] G. L. a. J.-Y. P. Gendreau M., "Vehicle routing: modern heuristics", 1997.
- [178] E. W. J. K. a. I.-M. C. Golden B.L., "The impact of metaheuristics on solving the vehicle routing problems: algorithms, problem sets, and computational results", 1998.

- [179] «www.usinenouvelle.com,» [En ligne].
- [180] Thomas, *Subtractive Manufacturing* 101, Oct 15, 2018.
- [181] «formlabs.com,» consulté le : 15/02/2020. [En ligne].
- [182] «www.3dnatives.com,» [En ligne].
- [183] R. ADEL, *Usinage par Electroérosion*, ANNABA: UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA, 2016/2017.
- [184] «www.emag.com,» [En ligne].
- [185] H.-I. Kim, H.-S. Park, J.-M. Koo, C.-S. Seok, S.-H. Yang et M.-Y. Kim, Evaluation of welding characteristics for manual overlay and laser cladding materials in gas turbine blades. *J. Mech. Sci. Technol.* 2012, 26,, 2015–2018.
- [186] T. Petrat, B. Graf, A. Gumenyuk et M. Rethmeier, Laser Metal Deposition as Repair Technology for a Gas Turbine Burner Made of Inconel 718. *Phys. Procedia* 2016, 83, 761–768., 2016.
- [187] N. Yeo, H. Pepin et S. Yang, Revolutionizing Technology Adoption for the Remanufacturing Industry. *Procedia CIRP* , 61, 17–21, 2017.
- [188] R. Mahamood et D. Mahamood, *Laser Metal Deposition Process of Metals, Alloys, and Composite Materials*, Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018.
- [189] K. Z. S. A. Salonitis, *Procedia CIRP.* 36, 193–8, 2015.
- [190] J. J. Prod et Gardan, Additive manufacturing technologies : State of the art and trends. *Res*, 54, 3118–3132, 2016.
- [191] J.-P. Kruth, M. Leu et T. Nakagawa, Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping. *CIRP Ann*, 47, 525–540., 1998.
- [192] O. Kovalev et D. Bedenko, Development and application of laser cladding modeling technique: From coaxial powder feeding up to the surface deposition and bead formation. *Appl. Math. Model*, 57, 339–359, 2017.
- [193] S. Huang, P. Liu, A. Mokasdar et L. Hou, Additive manufacturing and its societal impact: A literature review. *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, 67, 1191–1203, 2013.
- [194] E. Herderick, «Additive Manufacturing of Metals: A Review, » *Materials Science and Technology*, pp. 1413-1425, 2011.
- [195] «www.sculpteo.com,» [En ligne].
- [196] K.-H. Chang, *e-Design*, 2015.
- [197] «www.hisour.com,» [En ligne].

- [198] .. M. H. R. Singh, *Materials Science and Materials Engineering*, 2016.
- [199] «birmingham.ac.uk,» [En ligne].
- [200] C. C. F. G. N. H. J. J.-E. J. J. J. P. L. N. L. L. L. M. M. A. Contributeurs : Bertol, «fr.wikipedia.org,» [En ligne].
- [201] «www.graco.com,» [En ligne].
- [202] «www.inrs.fr,» [En ligne].
- [203] «epoxy3000.com,» [En ligne].
- [204] TEGMA, Fiche-technique-Coridonnage-site-TEGMA.pdf.
- [205] «Wikipedia.org,» [En ligne].
- [206] A. S. S. N. V. D. J.M. Flynn, Hybrid additive and subtractive machine tools—research and industrial developments, *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 101 (2016) 79–101, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmachtools>, 2016.
- [207] P. M. R. T. C. P. D. W. J. Jones, Remanufacture of turbine blades by laser cladding, machining and in-process scanning in a single machine, 23rd Annu. Int. Solid Free. Fabr. Symp. 2012, Austin, TX, USA. Univ. Texas., 2012, pp. 821–827, 2012.
- [208] W. L. K. Z. L. Nan, Laser remanufacturing based on the integration of reverse engineering and laser cladding, *Int. J. Comput. Appl. Technol.* 40 (2010) 254–262, <http://dx.doi.org/10.1504/IJCAT.2010.032200>., 2010.
- [209] C. P. Y. S. F. Z. K. R. J.M. Wilson, Remanufacturing of turbine blades by laser direct deposition with its energy and environmental impact analysis, *J. Clean. Prod.* 80 (2014) 170–178, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.084>., 2014.
- [210] I. S. d. S. A. e. d. T. Sousse-Génie, *Mécanique-chapitre2*.
- [211] A. RAID, *Contrôle Non Destructif : Ressuage, Magnétoscopie, Radiographie (RX et γ)*, Courants de Foucault et Ultrasons, 2017-2018.
- [212] inrs, CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES-ED 4218, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris : Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles65 , juillet 2014 .
- [213] d. d. c. 200, «www.cea.fr,» [En ligne].
- [214] Li Cui, Kuo-Jui Wu, Ming-Lang Tseng, «Selecting a remanufacturing quality strategy based on consumer preferences,» 08 March 2017.
- [215] Mingzhou Liu & Conghu Liu & Lingling Xing &, «Study on a tolerance grading allocation method under uncertainty,» *Int J Adv Manuf Technol*, 29 January 2013.

- [216] Xiaoning Jin, S. Jack Hu, Jun Ni, and Guoxian Xiao, «Assembly Strategies for Remanufacturing Systems,» *IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATION SCIENCE AND ENGINEERING*, VOL. 10, NO. 1, , 2013.
- [217] «sitelec.org,» [En ligne].
- [218] MONARI_G, INTRODUCTION AU SOUDAGE PAR POINTS-chapitre 6/
https://www.neurones.espci.fr/Theses_PS/MONARI_G/chapitre6.pdf.
- [219] Le soudage: Le procédé TIG/FORMATION - QUALIFICATION - ASSISTANCE / www.sdservice.fr, 2, rue Jean BART 37510 Ballan-Miré - France.
- [220] «fr.wikipedia.org,» [En ligne].
- [221] «www4.ac-nancy-metz.fr,» [En ligne].
- [222] «aniwaa.fr,» [En ligne].
- [223] «ge.com/additive,» [En ligne].
- [224] «dmlstechnology.com,» [En ligne].
- [225] «www.3dprintekzo.be,» [En ligne].
- [226] «ruizecnc.en.made-in-china.com,» [En ligne].
- [227] «fr.made-in-china.com,» [En ligne].
- [228] «www.laboandco.com,» [En ligne].
- [229] «french.alibaba.com,» [En ligne].
- [230] «TPM attitude,» 2014. [En ligne]. Available: <http://tpmattitude.fr/methodes.html>. [Accès le 05 2020].
- [231] François Marmier, Contribution à l'ordonnancement des activités de maintenance sous contrainte de compétence une approche dynamique proactive et multi critère, sciences et techniques de l'université de franche-comté, 2007, pp. p10-11-12.
- [232] T. Houasnia, PONDÉRATION DS TAUX DE DÉFAILLANCES DES ÉQUIPEMENTS QUI OPERENT DANS DES MILIEUX HOSTILES, L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES, décembre 1999.
- [233] Morel, J. Sourisse, C. et Merlaude, C, «La sûreté des machines et installations automatisées,» 1992.
- [234] Philippe Détrie, "conduire une démarche qualité", Edition d'organisation. éd.
- [235] Etienne Collignon, Michel Wissler, " Qualité et compétitivité des entreprises, du diagnostic aux actions de progrès", Edition Economica éd., Paris, 1984.

- [236] Jean-Luc CHARRON, SABINE Sépari, "Organisation et gestion de l'entreprise", Edition DUNOD éd.
- [237] K. H.A, COURS INGÉNIERIE DE LA QUALITÉ CHAPITRE 4. V3.0, Tlemcen: Département GEE Faculté de Technologie Université ABBT, 2019.
- [238] A. KAHOUADJI H, COURS INGÉNIERIE DE LA QUALITÉ CHAPITRE 4. V3.0, 2019.
- [239] LA QUALITE, L'ASSURANCE DE LA QUALITE ET LA CERTIFICATION ISO 9001, AFNOR.
- [240] K. H.A, COURS TQM CHAPITRE 3. V1.0, 2017.
- [241] COMMENT METTRE AU POINT UN SYSTÈME POUR LA RÉPARATION ET LA MAINTENANCE DES ÉQUIPEMENTS DE LA CHAÎNE DU FROID, Organisation mondiale de la Santé , 2017.
- [242] N. S, La maintenance productive Totale, AFNOR éd., 1989.
- [243] J. Auberville, Maintenance industrielle, Marketing éd., Paris, 2004, p. 216.
- [244] M. S. MOHAMMED, AMÉLIORATION DE LA MAINTENANCE DES ÉQUIPEMENTS AU NIVEAU DE L'ATELIER DE TISSAGE (DENITEX-SEBDOU), Tlemcen, 2016.
- [245] S. Fairlie, Long Distance, Short Life: Why big business favours recycling, The Ecologist, Vol 22, 1992.
- [246] «les conséquences économiques politiques sociales et culturelles de la révolution industrielle».
- [247] J. B. e. J. Lacroix, Chambre de commerce et d'industrie Auto-formation : Comprendre le monde de l'entreprise – le produit, Paris.
- [248] «www.expertinbox.com,» 12 09 2013. [En ligne].
- [249] «www.hrimag.com,» [En ligne].
- [250] «researchgate.net,» [En ligne].
- [251] «www.researchgate.net,» [En ligne].
- [252] «www.researchgate.net,» [En ligne].
- [253] «www.sciencedirect.com,» [En ligne].
- [254] «www.researchgate.net,» [En ligne].
- [255] «www.zoneindustrie.com,» [En ligne].

[256] «www.zoneindustrie.com,» [En ligne].

[257] «www.researchgate.net,» [En ligne].

[258] «www.soudage-equipement.com,» [En ligne].

[259] «metalblog.ctif.com,» [En ligne].

[260] «www.electromecanique.net,» [En ligne].

Annexes

Questionnaire

Le citoyen algérien et les déchets électriques et électroniques

Ce questionnaire est à des fins de recherche uniquement pour les déchets électroniques et électriques en Algérie, leurs types, comment le citoyen algérien s'occupe d'eux, et son degré de conscience de leurs implications sur l'être humain et l'environnement, nous vous remercions par avance de votre aimable coopération

L'âge :

- 15-25 ans
- 25-35 ans
- 35-50 ans
- Plus de 50 ans

Sexe :

- Femme
- Homme

Niveau d'étude :

Quel est votre degré de dépendance aux appareils électriques et électroniques ?

- À peine
- Quelquefois
- Fréquemment
- Toujours

Quels sont les domaines qui nécessitent votre utilisation de ces appareils

- Etude
- Travail

- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| Cuisine et travaux ménagers | <input type="checkbox"/> |
| Autres utilisations | <input type="checkbox"/> |

Quelle classe d'appareils utilisez-vous ?

- | | |
|--|--------------------------|
| Médias et appareils de communication automatisés (téléphones, ordinateurs, matériel de bureau ...) | <input type="checkbox"/> |
| Appareils électroménagers | <input type="checkbox"/> |
| Appareils électroniques de divertissement et de jeux | <input type="checkbox"/> |
| Appareils industriels ou équipements médicaux | <input type="checkbox"/> |
| Appareils électroniques (machines à coudre, sèche-cheveux, ventilateurs électriques ...) | <input type="checkbox"/> |
| Dispositifs de production, de stockage et de transmission d'énergie électrique | <input type="checkbox"/> |

Rubrique 2 sur 5

Cette partie concerne la capacité des consommateurs

Quelle est la moyenne de vos avoirs en appareils électriques et électroniques par an ?

- | | |
|------------|--------------------------|
| Moins de 3 | <input type="checkbox"/> |
| De 3 à 6 | <input type="checkbox"/> |
| Plus de 6 | <input type="checkbox"/> |

Combien dépensez-vous en équipement électrique et électronique par an ?

- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| Moins de 5000 DA | <input type="checkbox"/> |
| De 5000 DA à 15000 DA | <input type="checkbox"/> |
| Plus de 15000 DA | <input type="checkbox"/> |

Quels sont les critères que vous adoptez lors de l'achat d'appareils électriques et électroniques ?

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Le prix | <input type="checkbox"/> |
| La qualité des matériaux utilisés | <input type="checkbox"/> |

Pays du producteur	<input type="checkbox"/>
Réputation du produit	<input type="checkbox"/>
La marque	<input type="checkbox"/>
Durée de vie du produit	<input type="checkbox"/>
La sécurité de produit et son impact sur l'environnement	<input type="checkbox"/>
Garantie sur le produit	<input type="checkbox"/>

Rubrique 3 sur 5

Cette partie concerne l'utilisation du produit

Préférez-vous une utilisation individuelle ou en groupe de ce type de produit ?

Suivez-vous le manuel d'instructions lors de l'installation et de la livraison du produit ?

- Oui
- Non

Respectez-vous souvent les normes et les conditions d'utilisation ?

- Oui
- Non

Lorsque l'appareil plante, quelle est la procédure à suivre ?

- Contactez le distributeur du produit pour la réparation
- Apportez-le à un atelier de réparation
- Essayez de le réparer à la maison

À quelle fréquence pouvez-vous réparer votre appareil ?

- Une fois
- Jusqu'à 3 fois

Chaque fois que le besoin s'en fait sentir

Je ne le répare pas

Rubrique 4 sur 5 Cette partie concerne les appareils expirés

Quand arrêter d'utiliser le produit ?

Quand il expire complètement

Quand je trouve un appareil de meilleure qualité

Quand ses performances chutent

Lors de l'utilisation d'une nouvelle technologie

Comment se débarrasser des produits qui ne fonctionnent pas ?

Jetez-le à la poubelle

Soumettez-le à des centres spécialisés dans sa collecte

Gardez-le à la maison

Vendez-le aux collecteurs de déchets locaux

Quelle est la mesure que vous encouragez ?

Adopter le principe de l'auto-tri des déchets

Attribuer des employés du gouvernement pour faire le dépistage

Brûlez ce type de déchets

Obliger les producteurs et distributeurs à reprendre les produits périmés

Créer un marché d'investissement dans ce type de déchets

S'il y a de nouvelles politiques pour traiter ces produits, voulez-vous les accepter ?

Oui

Non

Si vous le faites, laquelle des procédures suivantes préférez-vous ?

Renvoyez-le au distributeur du produit moyennant des frais (dans les 10 pour cent du prix du produit)

Contactez votre revendeur pour qu'il le récupère

Se débarrassé de lui au profit des unités de traitement des déchets électriques

Rubrique 5 sur 5

Avez-vous déjà acheté des appareils électriques ou électroniques d'occasion ?

Oui

Non

Avez-vous déjà acheté des appareils électroniques et électriques dans des ateliers de réparation ?

Oui

Non

Que pensez-vous du recyclage de ce type de déchets

Très possible et a une valeur élevée

Possible, mais il y a des difficultés

impossible

Quelles sont les raisons à votre avis

Saviez-vous que les produits électroniques et électriques commercialisés en Algérie en tant que nouveaux produits contiennent de 20 à 90% de pièces pré-utilisées et recyclées

Oui

Non

Saviez-vous que le produit refabriqué selon des conditions conformes aux normes internationales correspond à la qualité du premier produit et peut être meilleur que lui ?

Oui

Non

Saviez-vous que l'industrie à base de matériaux recyclés de toutes sortes et du retraitement est bien en avance que l'industrie productive ?

Oui

Non

Pensez-vous que le citoyen algérien est suffisamment sensibilisé pour adopter le principe d'une économie circulaire basée sur le recyclage et la fabrication de produits pour préserver les ressources environnementales et réduire la pollution ?

Oui

Non

Quelles sont les raisons qui l'en empêchent

Résumé

Le but principale de notre travail été de faire une étude de faisabilité du processus de remanufacturing qui n'existe pas encore en Algérie, et de donné un manuscrit prototype qui expliqué en détail les paramètres relatif à la remise à neuf, afin de bien orienté les gens qui travaille dans le même domaine par la suite, ce qui justifie la taille importante de notre rédaction.

Contrairement aux problèmes d'ordonnancements et de planification qui ce référence à des travaux similaire réalisé au paravent, nous sommes les premiers qui ont entamé le remanufacturing dans le marché Algérien en Algérie et au niveau de laboratoire MELT donc on a u du male a ce référencier a des travaux déjà existants localement, ce qui a dû à rendre notre travaille un peux floute par rapport à l'indisponibilité des ressources existantes.

L'étude dans ce travail consiste à étudier la faisabilité d'un processus de remanufacturing des déchets d'équipement électrique et électronique (DEEE), cas des groupes électrogènes. L'idée fondamentale de cette étude est de concevoir un projet qui sera rentable pour l'investisseur et qui pourra contribuer au développement du pays en étudiant un certain nombre de facteurs. Cette étude a montré que l'application du remanufacturing est pleine d'espoir en industrie sur la grande quantité de produits en fin de vie qui existe actuellement dans notre pays. Cela dit-il est nécessaire de la part du promoteur de maîtriser au moins les grands principes du processus de remanufacturing de ce type de déchets afin de le réduire et d'occupé au même temps une place stratégique dans le marché locale et internationale.

Mots Clés : gestion des D3E, chaine logistique inverse, économie circulaire, remanufacturing.

Abstract

The main purpose of our work was to do a feasibility study of the remanufacturing process that does not exist yet in Algeria, and given a prototype manuscript that explained in detail the parameters relating to the remanufacturing, in order to well orientate people who work in the same field thereafter, which justifies the important size of our writing.

In contrast to scheduling and planning problems which refer to similar work carried out in the we are the first ones who have treated the remanufacturing in the Algerian market in Algeria and at the level of laboratory MELT it was difficult to reference existing works locally.

The study in this work consists in studying the feasibility of a remanufacturing process of (WEEE), case of generator sets. The fundamental idea of this study is to design a project that will be profitable for the investor and which can contribute to the development of the country by studying a number of factors. This study showed that the application of remanufacturing is full of hope in industry on the large quantity of end-of-life products that currently exist in our country. However, it is necessary on the part of the promoter to master at least the main principles of the remanufacturing process of this type of waste in order to reduce it and at the same time occupy a strategic place in the local and international market.

Key Words: E-waste management, reversed supply chain, circular economy, remanufacturing.

ملخص:

الغرض الرئيسي لعمليتنا هو القيام بدراسة جدوى لعملية إعادة التصنيع التي لا توجد حتى الآن في الجزائر، و تقديم مخطوطة أولية من أجل توجيه الناس الذين يعملون في نفس المجال بعد ذلك، الذي يبرر الحجم المهم من الكتابة لدينا

تتكون الدراسة في هذا العمل من دراسة جدوى عملية إعادة تصنيع نفايات المعدات الكهربائية والإلكترونية . حالة مولدات الطاقة التي تعمل على المحروقات. الفكرة الأساسية لهذه الدراسة هي تصميم مشروع يكون مربحًا للمستثمر ويمكن أن يساهم في تنمية الدولة من خلال دراسة عدد من العوامل. أظهرت هذه الدراسة أن تطبيق إعادة التصنيع مليء بالأمل في الصناعة على الكمية الكبيرة من المنتجات المنتهية الصلاحية الموجودة حاليًا في بلدنا. ومع ذلك، من الضروري من جانب المروج إتقان المبادئ الأساسية على الأقل لعملية إعادة تصنيع هذا النوع من النفايات من أجل تقليلها وفي نفس الوقت احتلال مكانة استراتيجية في السوق المحلية والدولية.

كلمات البحث: تسيير النفايات الكهربائية و الالكترونية , سلسلة التوريد العكسي, الاقتصاد الدائري, اعادة التصنيع.