

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

Intitulé :

**ETUDE DE LA FAISABILITE D'UNE ENTREPRISE
DE TRAITEMENT DES PNEUS USAGES**

Par : **Melle Laiche Rachida**

Soutenu, le 29/11/2020, devant le jury composé de :

MEGHELLI Nihad	MCB	Université de Tlemcen	Président
ZENASNI Amine	MCA	Université de Tlemcen	Examineur
BENAISSA Hocine	Professeur	Université de Tlemcen	Encadrant
BELKAID Fayçal	MCA	Université de Tlemcen	Encadrant

Année universitaire : 2019-2020

Remerciement

Je remercie, avant tout, Dieu, le Tout-Puissant, de m'avoir accordé parmi ses innombrables grâces, santé et courage pour accomplir ce travail.

En guise de reconnaissance, je tiens à témoigner mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce projet de fin d'études et à l'élaboration de ce modeste travail.

Je ne pouvais pas commencer ces remerciements sans évoquer mes très chers encadrant et Co-encadrant, Mr BENAÏSSA Hocine, Professeur de l'Université de Tlemcen et Mr BELKAÏD Fayçal, Maître de conférences de l'Université de Tlemcen, pour leurs grande disponibilité, leurs encouragements, et le temps qu'il nous a consacré tout au long de ce travail à qui nous voudrions témoigner toute notre reconnaissance..

Je tiens également à adresser mes plus vifs remerciements aux membres du jury, Mr ZENASNI Amine et Mme MEGHELLI Nihad qui ont accepté d'évaluer mon travail et de faire partie de mon jury de projet de fin d'étude.

Pour finir, nous remercions tout le corps professoral de notre établissement université Abou Baker Belkaid, pour le travail énorme qu'il effectue pour nous créer les conditions les plus favorables pour le déroulement de nos études.

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 une 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 prié pour le salut de son âme. Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde !

Sommaire

Introduction générale	10
Généralité sur les déchets	13
1.1 Introduction.....	13
1.2 Définition d'un déchet	13
1.2.1 Concept littéraire	14
1.2.2 Concept environnemental.....	14
1.2.3 Concept économique.....	14
1.2.4 Concept juridique.....	14
1.3 Cycle de vie d'un déchet.....	14
1.4 Types de déchets	15
1.4.1 Type selon les propriétés des déchets	15
1.4.2 Les types selon le producteur des déchets :.....	16
1.5 Impact des déchets.....	16
1.5.1 Impact des déchets sur l'environnement (11).....	16
1.5.2 Impact des déchets sur l'homme.....	18
1.6 Méthodes de traitement des déchets	18
1.6.1 Enfouissement	18
1.6.2 Traitements thermiques (Incinération):.....	19
1.6.3 Traitements biologiques:	19
1.6.3.1 Compostage.....	19
1.6.4 Tri et Recyclage.....	20
1.7 Conclusion	20
pneus comme déchets	22
2.1 Introduction.....	22
2.2 Types de pneus	22
2.3 Composition des pneus	25
2.3.1 Structure des pneus:	25
2.3.2 Matériaux	27
2.4 Industrie des pneus	31
2.4.1 Fabrication de pneumatiques	31
2.4.2 Normes liées à la fabrication de pneumatiques en Europe	33
2.4.3 Marché des pneumatiques	34
2.5 Utilisation des pneus.....	35

2.6	Cycle de vie du pneu	36
2.7	Impact des pneus usés.....	36
2.7.1	Impact des pneus usés sur l'environnement	36
2.7.2	Impact des pneus usés sur les êtres vivants	37
2.8	Conclusion	37
Etat de lieu de traitement		39
3.1	Introduction.....	39
3.2	Pneus usagés non réutilisables PUNR	39
3.3	Organisation de la filière de gestion des PUs.....	39
3.4	Valorisation des pneus usés dans le monde	41
3.4.1	Etat de lieu de déchet pneumatique dans le monde	41
3.4.2	Cadre juridique et institutionnel (EN FRANCE, EUROPE).....	41
3.4.3	Mode de gestion.....	43
3.5	Valorisation des pneus usés dans notre pays.....	50
3.5.1	Etat de lieu de déchet pneumatique en Algérie.....	50
3.5.2	Cadre juridique et institutionnel	51
3.5.3	Stratégies et planification	52
3.5.4	Mode de gestion actuel.....	52
3.6	Réflexion pour la création d'une entreprise de traitement des pneus usés.....	54
3.6.1	Étude de la faisabilité technico-économique	54
3.7	Conclusion	57
Probleme de localisation de l'unité de valorisation des PUNR.....		59
4.1	Introduction.....	59
4.2	MCDM.....	59
4.2.1	Définition	60
4.2.2	Typologie	60
4.2.3	Génération d'une solution non dominée	60
4.2.4	Résolution des problèmes MCDM.....	60
4.2.5	Etat de l'art des MCDM les plus utilisables	61
4.2.6	Etat de l'art de l'utilisation de la méthode VIKOR floue dans la résolution du problème de localisation	62
4.3	méthode VIKOR floue.....	63
4.3.1	Définition	63
4.3.2	Étapes de résolution	63
4.4	critères de choix de site.....	65
4.4.1	Disponibilités en terrains et en bâtiments.....	65
4.4.2	Disponibilité des matières premières	66

4.4.3	La proximité aux sources d'eau et l'énergie.....	66
4.4.4	Possibilité d'extension de site.....	66
4.4.5	Préoccupations et les contraintes de l'environnement	67
4.4.6	Accessibilité et infrastructure	67
4.4.7	Concurrence.....	67
4.5	Application sur notre problème	68
4.6	Conclusion	77
	CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES.....	79
	Références	81

Liste des tableaux

<i>Tableau 2-1: classification des pneumatiques selon la nature de véhicule [4]</i>	23
<i>Tableau 2-2: classification des pneumatiques selon allia pur</i>	24
<i>Tableau 3-1: Les organismes collectifs en France</i>	43
<i>Tableau 3-2: Tableau représentant les valeurs de PCI par unité de masse de certains combustibles</i> ..	45
<i>Tableau 3-3: les Pneusol réalisés en Algérie</i>	53
<i>Tableau 4-1: sociétés de valorisation des PUNR en Algérie</i>	67

Liste des figures

<i>Figure 1-1: le concept déchet ses sources et son statut</i>	13
<i>Figure 1-2: cycle de vie de déchet</i>	14
<i>Figure 1-3 Les différents types des déchets</i>	16
<i>Figure 2-1: architecture du pneus</i>	25
<i>Figure 2-2: l'extraction de caoutchouc naturel</i>	28
<i>Figure 2-3: organigramme de fabrication de produits, à partir du pétrole</i>	29
<i>Figure 2-4: les fibres textiles</i>	29
<i>Figure 2-5: production des fils en acier</i>	30
<i>Figure 2-6: pont sulfure dans un polymère</i>	30
<i>Figure 2-7: poudre de noir de carbone</i>	31
<i>Figure 2-8: poudre de silice</i>	31
<i>Figure 2-9: la vulcanisation provoquée par la cuisson</i>	33
<i>Figure 2-10 : classification des premiers producteurs pneumatiques selon leur chiffre d'affaire</i>	35
<i>Figure 3-1: Principaux acteurs et flux de la filière PU</i>	40
<i>Figure 3-2 Répartition et évolution des exportations de PUR par continent destinataire (en tonnes)</i>	41
<i>Figure 3-3: schéma d'un pneu à recreuser</i>	44
<i>Figure 3-4: rechapage d'un pneu</i>	44
<i>Figure 3-5: récapitulation des différentes voies de recyclage des pneumatiques</i>	46
<i>Figure 3-6: l'origine des pneus usagés</i>	47
<i>Figure 3-7: la répartition des voix de valorisation</i>	47
<i>Figure 3-8: les projets R&D organisées par ALIAPUR</i>	48
<i>Figure 3-9: les bénéficiers de la valorisation énergétique des PUNR par Aliapur</i>	49
<i>Figure 3-10: l'évolution de la quantité de déchets pneumatiques en Algérie entre 2008 et 2020 (58)</i>	50
<i>Figure 3-11: les wilayas avec le taux le plus élevé des PUs</i>	51
<i>Figure 3-12: chantier expérimental Pneusol à bou-smail</i>	52
<i>Figure 4-1: répartition spatiale de la quantité des PU sur le territoire national (2018) (73)</i>	66

Liste des abréviations :

DIB : Déchets industriels banals ;

ERTRO: European Tyre and Rim Technical Organisation ;

VL : Véhicules légers ;

PL : Poids lourds ;

GPL : gaz de pétrole liquéfié ;

SBR : copolymère du butadiène et du styrène ;

CEE : parlement européen et le conseil de l'union européenne ;

CE : Conseil européen ;

ONU : Organisation des Nations unies ;

PU : Pneus Usagés ;

PUR : Pneus Usagés Réutilisables ;

PUNR : Pneus Usagés Non Réutilisables ;

ACV : Analyse du cycle de vie ;

OC : Organismes collectifs ;

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur ;

VHU : Véhicules hors d'usage ;

DU : Déchets Urbains ;

AND : Agence Nationale des déchets ;

MATE : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement ;

MICL : Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Locales ;

PROGDEM : Programme national de gestion des déchets municipaux ;

S : spéciaux ;

SD : spéciaux dangereux ;

MCDM : Multiple-criteria decision-making (prise de décision à critères multiples);

MCDA : Multiple-criteria decision analysis (l'analyse de décision à critères multiples) ;

VIKOR: Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje;

ALTRO : algérienne des travaux routiers ;

AHP : L'analyse hiérarchique des procédés ;

EMO : évolutionnaire multi objectif en optimisation ;

WSM : Méthode de somme pondérée ;

WPM : Méthode du produit pondéré;

ELECTRE : Élimination et choix traduisant la réalité;

TOPSIS : Technique de préférence de commande par similarité avec les solutions idéales;

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Nous utilisons tous les jours de nombreux produits, mais tous ces produits et objets ne sont pas tombés du ciel. Chaque produit suit un parcours que nous appelons le cycle de vie du produit, ce cycle commence par l'étape d'extraction de la matière première, et il faut souvent plusieurs matières premières pour fabriquer un produit. Ensuite, il faut transformer et assembler ces matières selon une conception prédéfinie pour fabriquer le produit. Une fois le produit fini est acheté. Et puis un jour on l'utilise plus parce que nous n'en avons plus besoin ou bien c'est parce qu'il atteint la dernière phase de dégradation de ses performances, ou bien même lorsqu'il devient obsolète.

Nous produisons actuellement un taux énorme de déchets pour soutenir les activités humaines, cela est dû à l'augmentation massive de l'industrie pendant ces dernières années relative à la progression technologique et au désir d'amélioration de niveau de vie. Face à cette augmentation, les déchets poursuivent toujours leur courbe exponentielle d'où leurs impacts sur l'homme et l'environnement deviennent très importants.

Notre plus grand souci est évidemment pas les déchets biodégradables qui vont subir en quelque sorte un recyclage naturel, mais nous sommes intéressés beaucoup plus au déchet non biodégradable qui cause aujourd'hui des terribles risques sur l'environnement et sur la santé de l'homme. Ces déchets représentent l'un des flux de déchets les plus difficiles à gérer. Ils sont considérés comme des produits conçus pour finir dans une décharge causant une urgence toxique mondiale.

D'un autre côté ce type de déchet contient de grandes quantités de matières valorisables, telles que des métaux ferreux et non ferreux du plastique ou du verre, et plein d'autres, qui sont parfois des gisements plus intéressants que les minerais. Pour cette raison, ils sont considérés aujourd'hui comme une véritable « mine urbaine ».

Afin de réduire nos impacts environnementaux et de diminuer l'exploitation des ressources naturelles et de bénéficier de ces mines urbaines, les économies développées se sont donc engagées à promouvoir la soi-disant économie circulaire comme notre avenir commun nécessaire.

Motivés par l'évolution des réglementations en matière d'écologie et par des contraintes purement économiques, plusieurs secteurs industriels se sont retrouvés dans l'obligation de développer de nouvelles méthodes et modèles pour la gestion des produits en fin de vie ou les produits peuvent être réutilisés, réparés, rénovés, ou recyclés. Selon leur degré de détérioration.

Parmi ces industries on distingue l'industrie pneumatique et spécifiquement les pneus, ce produit qui est de retour annuellement des quantités considérables de déchet non biodégradable. Ou les méthodes actuelles d'élimination de ce type de déchets basées principalement sur l'incinération présentent un risque énorme sur l'environnement et la santé humaine.

Pour objectif de réintégrer le maximum de valeur intrinsèque des pneus usagés non réutilisables. Plusieurs méthodes de valorisation faites partie des démarches proposées par l'économie circulaire, permettant de sortir de notre économie linéaire et de minimiser l'impact environnementales de ce déchet résiduel.

Dans ce travail, nous allons aborder le problème de la valorisation des pneus usagés non réutilisables dans le monde et au niveau de l'Algérie dont l'objectif est d'instaurer une stratégie de gestion approprié de ces déchets passant par les différentes étapes de valorisation prenant en considération les différents facteurs et contraintes. En traitant la problématique de localisation de site de transformation des pneus usagés non réutilisables. Dont nous avons adapté les méthodes d'aide à la décision pour trouver le meilleur emplacement de site.

Ce travail est divisé en quatre chapitres, le premier chapitre sera consacré à la présentation du concept déchet, le cycle de vie d'un déchet, suivie de la présentation des différentes classifications et stratégies de gestion de déchet.

Le chapitre deux décrit les pneus comme la portion majeure de déchets pneumatique, l'industrie des pneus et l'impact environnementales de ce type de déchet.

Dans le troisième chapitre nous allons donner une présentation détaillée de la valorisation des pneus usagés non réutilisables, le cadre juridique et les modes de gestion adaptés dans le monde et en Algérie en particulier. Puis, on va détailler tous le processus de transformation des PUNR en poudrettes / granulats depuis la collecte jusqu'à l'obtention d'un produit fonctionnel en précisant les étapes de réalisation dans une étude de faisabilité technicoéconomique.

Le quatrième chapitre sera consacré à la problématique de localisation de l'unité de valorisation des pneus ou nous allons utiliser les MCDM présenté par la méthode fuzzy-
VIKOR afin de sélectionner le meilleur endroit pour implanter notre entreprise.

Chapitre 1 :

Généralité sur les déchets

1 GÉNÉRALITÉ SUR LES DÉCHETS

1.1 INTRODUCTION

La protection de l'environnement devient de plus en plus une préoccupation collective. La problématique des déchets touche chaque être humain tant sur le plan professionnel que familial. Commence par le producteur, le consommateur, l'usager du ramassage des ordures et le trieur de déchets recyclables, soit citoyen ou contribuable, chacun a la responsabilité de participer afin d'assurer une meilleure gestion des déchets. Dans une vision de développement durable, le problème des déchets ne doit pas être traité comme un objet isolé. Mais, il doit être placé dans une perspective de gestion des risques et des ressources, qui englobe tout le cycle de vie du déchet, depuis sa génération jusqu'au traitement. Elle anticipe le déchet dès le stade projet, inclut les stratégies de réduction à la source, de différentes modes de valorisation et d'élimination et vise à la maîtrise des flux générés tout au long du procédé aboutissant au déchet. (1)

1.2 DÉFINITION D'UN DÉCHET

Les définitions de déchets ou de dispositifs de traitement de déchets ont souvent évolué en espace de quelques années. (2)

Le législateur européen, par la loi du 15 juillet 1975, définit le déchet comme « *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* » (2)

La figure ci-après illustre le concept déchet et ses sources habituelles de production et son statut (nuisance ou gisement de matière première).

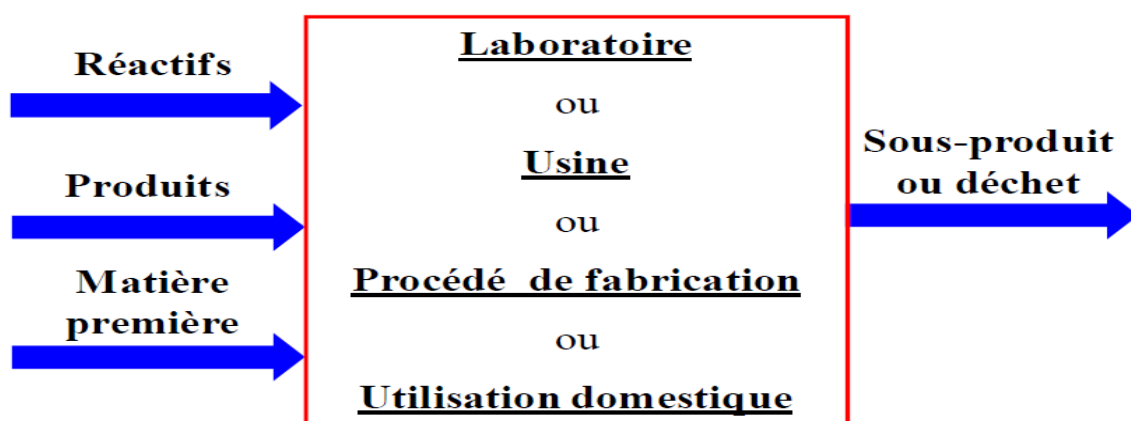


Figure 1-1: le concept déchet ses sources et son statut

La définition du déchet de la directive cadre sur les déchets se réduit à « *toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire* » (2)

D'autres définitions selon le concept utilisé sont :

1.2.1 Concept littéraire

Selon le dictionnaire le petit Robert un déchet est «*ce qui reste d'une matière qu'on a travaillée. Résidu impropre à la consommation, inutilisable (et en général sale ou encombrant).* » (3)

1.2.2 Concept environnemental

Du point de vue de l'environnement, un déchet constitue «*une menace à partir du moment où l'on envisage un contact avec l'environnement. Ce contact peut être direct ou le résultat d'un traitement.* » (3)

1.2.3 Concept économique

Sur le plan économique, un déchet est «*une matière ou un objet dont la valeur économique est nulle ou négative pour son détenteur à un moment et dans un lieu donné. Cette définition exclut une bonne part des déchets recyclables, qui possèdent une valeur économique, même faible.* » (3)

1.2.4 Concept juridique

Ce concept selon le législateur européen est exprimé par l'article 3 de la loi 01/19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets définit le déchet comme suit : «*tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou, plus généralement, tout objet, bien meuble dont le détenteurs défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer.* » (4)

1.3 CYCLE DE VIE D'UN DÉCHET

Selon Debray (1997), le cycle de vie d'un déchet peut être présenté comme suit (Figure I.2) (5) :

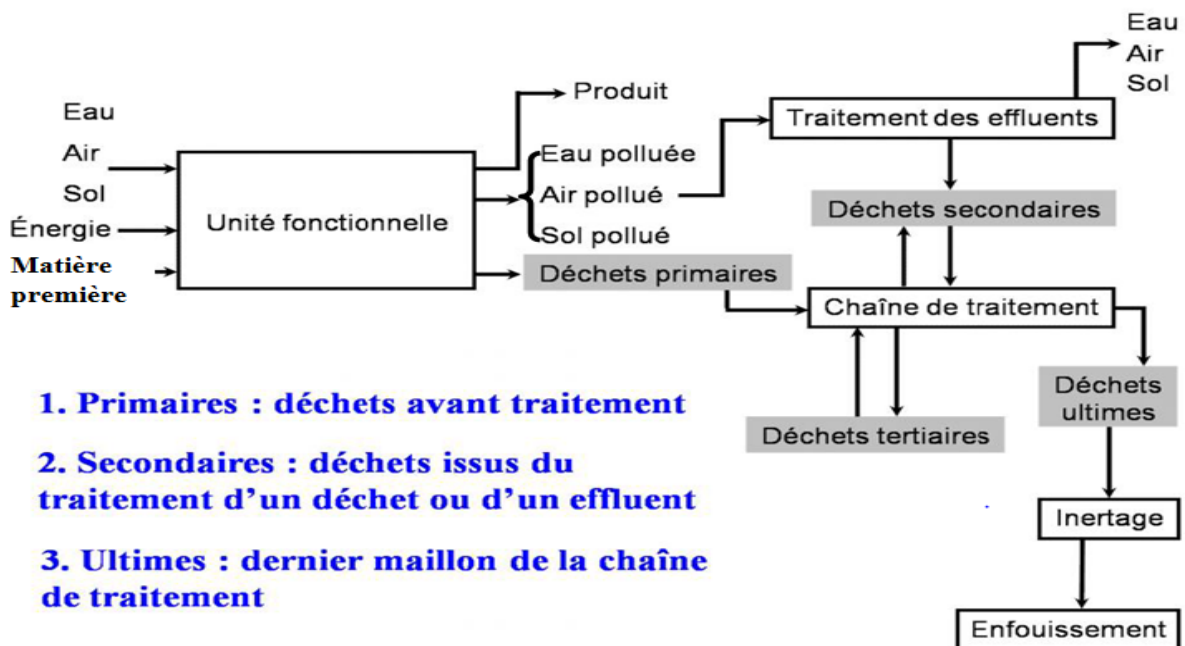


Figure 1-2: cycle de vie de déchet

1.4 TYPES DE DÉCHETS

Les déchets peuvent être classés selon différents critères : propriétés du déchet, producteur du déchet, secteur où est produit le déchet etc. Ce classement est pour objectif de distinguer les règles applicables par les différents acteurs de la gestion des déchets et de moduler ces règles en fonction des capacités du producteur et des risques associés à la manipulation du déchet. (6)

1.4.1 Type selon les propriétés des déchets

1.4.1.1 Déchets Biodégradable

Les déchets biodégradables sont des déchets (notamment des déchets verts, bio-déchets ou déchets organiques) constitués, pour l'essentiel, de matière organique naturelle pouvant être décomposés, plus ou moins rapidement avant d'être réintégrés par les écosystèmes.

Ils représentent environ un tiers des déchets municipaux et sont obtenus principalement à partir de l'agriculture, de l'industrie agroalimentaire, de la restauration, de la filière bois-papier, des jardins privés ou de collectivités (espaces verts) ou de cuisines.

Déchets verts :

Ces déchets représentent les résidus d'origine végétale dû aux activités de jardinage des espaces verts. On distingue les déchets verts des particuliers, dits de jardins et les déchets verts municipaux qui sont produits par les services techniques des collectivités. (7)

Déchets organiques :

Les déchets organiques, ou bio-déchets, sont une catégorie de déchets d'origine végétale ou animale, qui se décomposent sous l'action des bactéries et d'autres micro-organismes. Il y a plusieurs sources de déchets organiques : les déjections humaines et animales ainsi que les déchets d'origine végétale (déchets alimentaires, certains déchets agricoles, etc. (8)

1.4.1.2 Non biodégradables

1.4.1.2.1 Déchets industriels spéciaux :

Ils s'agissent tous les déchets qui présentent un risque particulier à cause des effets toxiques, explosifs, ou bien corrosifs. Généralement, ils sont dommageables pour l'homme et l'environnement. A titre d'exemples, on peut citer : les huiles, les solvants, les néons, les batteries, les piles, les bombes aérosols... etc.

1.4.1.2.2 Déchets industriels banals :

Les DIB (Déchets industriels banals) regroupent l'ensemble des déchets pouvant être générés par les activités courantes d'un établissement d'enseignement supérieur, à l'exclusion des déchets présentant un risque particulier pour l'homme ou pour l'environnement. Pour chaque type des déchets banals, il existe une filière de recyclage ou bien de revalorisation.

Les déchets concernent les activités administratives et de bureautique, espaces verts et équipements divers et variés, les déchets produits par les chantiers de travaux, etc. Certains font l'objet d'une réglementation spécifique. (9)

1.4.1.2.3 Déchets inertes :

Ce sont les déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne produisent aucune réaction physique ou chimique. Parmi les déchets inertes qui présentent des gisements considérables

on a les issus des activités de constructions comme les bétons, les carrelages, les ciments...), les terres non souillées, les tuiles, les sables, etc.

1.4.1.2.4 Déchets dangereux :

Le terme déchets spéciaux ou dangereux englobe toutes catégories des déchets qui, en raison de leur composition ou de leurs propriétés physico-chimiques présentent un risque sur la santé humaine et l'environnement. Même pour les produits phytosanitaires, équipements électroniques, etc. Qui n'en produisent qu'en faible quantité de substances dangereuse, ils ne devraient pas être jetés dans la poubelle réservée aux ordures ménagères. (10)

1.4.1.2.5 Déchets non dangereux :

Ce sont les déchets qui ne présentent aucune des propriétés qui rendent un déchet dangereux.

1.4.2 Les types selon le producteur des déchets :

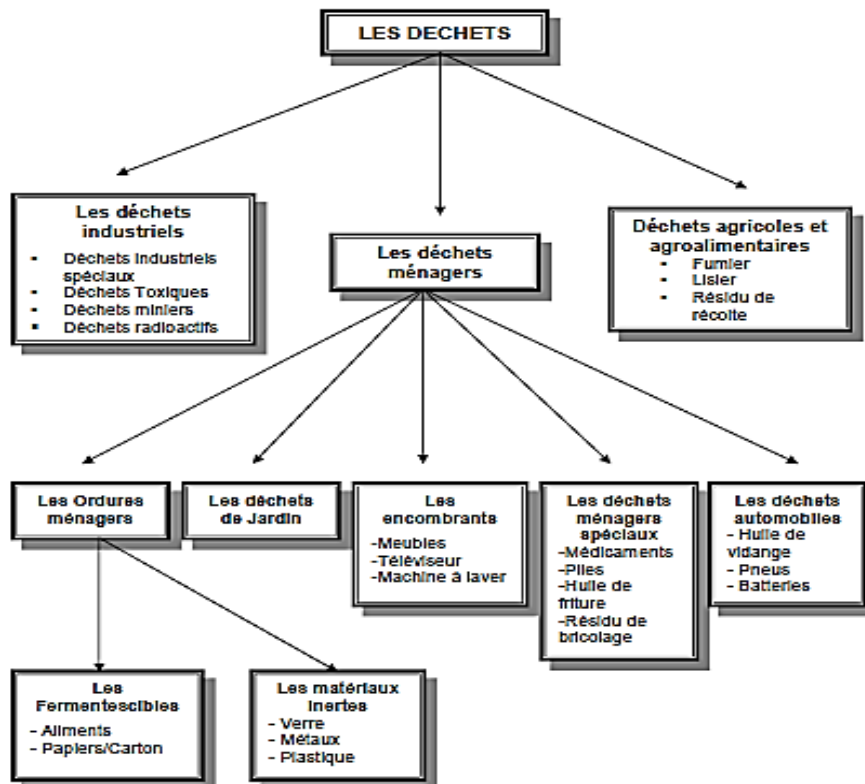


Figure 1-3 Les différents types des déchets

1.5 IMPACT DES DÉCHETS

1.5.1 Impact des déchets sur l'environnement (11)

Aujourd'hui, l'utilisation énorme et abusive des ressources et le décharge des déchets dans l'environnement contribuent à une détérioration rapide et progressive de notre milieu. Cela a un impact direct sur plusieurs niveaux : la santé des espèces vivantes, l'économie, la production alimentaire, etc. Chaque jour la pollution de notre environnement augmente, la santé humaine est de plus en plus mise en danger. (12)

1.5.1.1 Pollution atmosphérique

La pollution de l'air en commune I peut être déterminée d'une part par l'incinération des déchets et d'autre part au transport des particules fines par le vent qui rend l'air dangereux à respirer. Le vent véhicule ainsi les bactéries nocives à la santé. La santé publique est menacée. Cependant, les sources de pollution de l'air sont multiples. Le brûlage anarchique des pneus, des ordures ménagères et des déchets de toutes sortes, les activités industrielles, le trafic automobile, constituent des facteurs polluants de l'air. Prenant le cas des gazes qui suivent l'opération de l'incinération des déchets pneumatiques qui contient des substances très dangereuses comme les dioxines et les furannes. Ces polluants ont une durée de vie qui s'étend sur vingt (20) ans et menace la santé publique. Ces substances peuvent persister dans les cellules des tissus graisseux dans le corps humain et provoquent des malformations, des maladies respiratoires...

Les eaux versées sur le sol contiennent des éléments polluants. Leur contact avec l'air est aussi dangereux. (13)

L'air pollué, flottant à la surface de la terre, est emporté par le vent et la pluie. Les nuages et les températures élevées contribuent également à disperser la pollution pour atteindre de très grandes distances depuis son point d'origine.

La pollution de l'air a un impact majeur sur le processus d'évolution des plantes en empêchant la photosynthèse dans de nombreux cas, avec de graves conséquences sur la purification de l'air que nous respirons.

L'accumulation de gaz dans l'atmosphère génère également des problèmes environnementaux aux conséquences tristement connues : pluies acides, diminution de la couche d'ozone, réchauffement climatique, effet de serre... La concentration de ces gaz dans l'atmosphère, principalement le dioxyde de carbone, augmente en moyenne de 1% par an. Ce phénomène est dû aux propriétés que possèdent certains gaz (dioxyde de carbone, méthane, oxyde nitreux, ozone et chlorofluorocarbones) d'emprisonner la chaleur du soleil dans l'atmosphère.

La pollution de l'air conduit à la formation de pluies acides¹ qui sont libérées lors de la combustion de combustibles fossiles et transformées par contact avec la vapeur d'eau dans l'atmosphère. Les pluies acides modifient la quantité de produits chimiques présents dans les sols et l'eau douce, affectant ainsi les chaînes alimentaires. (14)

1.5.1.2 Pollution de l'eau

Nous savons que l'eau est une substance renouvelable, donc qu'elle se nettoie toute seule des divers polluants. Mais, lorsque l'eau reçoit une grande quantité de polluants, elle n'est plus capable de les détruire elle-même. L'utilisation progressive des matières qui contaminent l'eau, dont les déchets font partie est la première cause de la pollution de l'eau douce. En conséquence, les personnes souffrent de maladies gastriques et de plus dans les pays pauvres, beaucoup de personnes meurent suite à une diarrhée due à me eau sale. Dans le même temps, chaque année plus de **6 millions** de tonnes de déchets différents sont rejetés dans les océans. Cela engendre une pollution visuelle et aussi une contamination des espèces vivant dans l'eau.

¹ Des précipitations atmosphériques sous forme de pluie, de gel, de neige ou de brouillard

Actuellement, Les rejets de la vie quotidienne sont souvent acheminés vers les décharges non contrôlés où la grande contamination des eaux commence. Sans oublier les déchets industriels qui sont rejetés dans les lacs, rivières, est mers. Ces déchets industriels peuvent provenir de diverses origines comme : restes de cafétérias, saleté, gravier, la maçonnerie, le béton, la ferraille, les ordures, le pétrole, les solvants, les produits chimiques, le bois et d'autre résidus industriels dangereux. Ces déchets sont la plupart du temps toxiques, donc s'ils sont mal traités, ils peuvent causer de nombreux problèmes de santé ou d'environnement. (12)

1.5.1.3 Pollution de sol

La pollution du sol par les déchets se fait des plusieurs manières, la plupart d'entre elles ont déjà été citées précédemment. Les pluies acides, dues aux carbones organiques produits par les décharges et qui sont une autre source importante de pollution de nos sols avec le rejet de déchets provenant de l'industrie. L'existence de ces décharges illégales a un grand impact sur l'état de nos sols parce que tous les polluants vont être absorbés par la terre. En conséquence, l'érosion de notre terre ne cessera pas avant que nous nous attaquions à tous ces problèmes de manière résolue et efficace. (12)

1.5.2 Impact des déchets sur l'homme

Les déchets ont des impacts sur l'homme on peut citer :

a. Pathologies liées à des conditions environnementales favorables et maladies spécifiques de la manipulation des déchets (agents de nettoyage, chiffonniers...) :

- _ Hépatites épidémiques et sériques,
- _ Conjonctivites épidémiques,
- _ Tétanos,
- _ Proéminence de la tuberculose,
- _ Effets multiples des substances radioactives,
- _ Intoxications aux produits dangereux,
- _ Maladies de contact de la peau et des muqueuses.

b. Impacts sanitaires des décharges non contrôlées :

- _ Multiplication des maladies infectieuses et parasitaires (MTH virales par altération des ressources en eau, hépatites infectieuses, maladies parasitaires de la peau et autres),
- _ Multiplication des rongeurs qui sont à l'origine de la peste,
- _ Prolifération des chiens errants (zoonoses (la rage) et parasitoses (maladies liées à la tique des chiens),
- _ Prolifération des vecteurs nuisibles (mouches, moustiques,). (5)

1.6 MÉTHODES DE TRAITEMENT DES DÉCHETS

La loi 01-19 du 12 décembre 2001, définit le traitement des déchets comme toute mesure pratique permettant d'assurer que les déchets sont valorisés, stockés et éliminés d'une manière garantissant la protection de la santé publique et/ou de l'environnement contre les effets nuisibles que peuvent avoir ces déchets. (5)

1.6.1 Enfouissement

On appelle un centre d'enfouissement un site ou une terrine dédiée pour l'élimination des déchets en les enfouissant dans le sol. 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 ces déchets. Dans les décharges, les déchets sont recouverts de couches de sol pour briser le volume et permettre la décomposition des matériaux

Cette mode de gestion commence par 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 on 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. Les genres de déchets triés comme le plastique, papier, métaux, verre, textiles, cuir, bois sont déposés au niveau des quais de stockage et seront mis en vente aux enchères.

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.

1.6.2 Traitements thermiques (Incinération):

L'opération d'incinération agit du processus de destruction des matériaux en le brûlant. L'incinération est souvent appelée « Énergie à partir des déchets » ou « des déchets vers l'énergie » ; ces appellations sont trompeuses puisqu'il y a d'autres méthodes de récupération de l'énergie à partir de déchets sans les brûler comme la fermentation, pyrolyse et gazéification.

Elle est connue pour être une méthode pratique pour se débarrasser des déchets contaminés, comme les déchets médicaux biologiques. Plusieurs organisations utilisent aujourd'hui l'exposition des déchets à haute température pour les traiter thermiquement. Cette technique inclut la récupération du métal et de l'énergie des déchets solides municipaux comme le stockage adapté des résidus solides (mâchefers) et la réduction du volume des déchets.

L'incinération est une technique éprouvée et répandue, en Europe comme dans les pays en voie de développement, même si elle est soumise à controverse pour plusieurs raisons.

1.6.3 Traitements biologiques:

Principalement, le traitement biologique est pour objectif d'exploiter certaines activités microbiennes en les stimulant de manière contrôlée pour but de réduction des nuisances potentielles des déchets comme les odeurs, risques sanitaires, etc. ou bien pour la valorisation de ces déchets sous forme énergétique ou sous forme matière. De ce fait, les procédés biologiques sont en pratique utilisés pour le traitement de déchets organiques présentant un caractère biodégradable, à savoir les déchets associés à l'exploitation ou à la consommation de la biomasse (d'élevage, d'industries agroalimentaires, etc.). D'autres applications à des déchets industriels organiques, comme les boues d'hydrocarbures, résidus miniers, etc. (15)

1.6.3.1 Compostage

C'est un procédé biologique de conversion des matières organiques en un produit stabilisé et hygiénique. Il est vrai que les déchets organiques sont de plus en plus recyclés. La quantité de déchets compostés en Europe dans des installations centralisées a augmenté de 70 % pour

atteindre 1,7 million de tonnes. Il s'agit d'une excellente chose pour notre planète, qui a d'ailleurs des effets positifs, à long terme (16).

1.6.3.2 Méthanisation

La méthanisation est une technique basée sur la dégradation par les micro-organismes de la matière organique en l'absence d'oxygène à l'inverse au compostage qui agit d'une réaction aérobie. Cette dégradation provoque un produit humide, riche en matière organique partiellement stabilisée, appelé digeste. Il est envisagé le retour au sol du digeste après une phase de maturation par compostage. Le gaz obtenu a un pouvoir calorifique inférieur (PCI) de 5 à 7 kWh/Nm³. Cette énergie renouvelable peut être utilisée sous forme combative pour la production d'électricité et de chaleur, de production d'un carburant, ou d'injection dans le réseau de gaz naturel après épuration. (16)

1.6.4 Tri et Recyclage

Depuis quelques temps, le recyclage est de plus en plus populaire grâce à son rôle dans la réduction du volume des déchets ainsi que la préservation des ressources naturelles. Le recyclage basé sur un procédé très simple en trois phases : la collecte de déchets, la transformation et la reconsommation. C'est une solution rapide, très efficace et elle fait une grande différence.

1.7 CONCLUSION

Ce chapitre décrit une vue d'ensemble complète sur les déchets commençant par la description de terme déchet, les différentes classifications des déchets et leur impact sur l'homme et l'environnement, arrivant à la description des différents systèmes de gestion de déchet qui existe.

Dans le chapitre suivant nous allons entamer une des catégories de déchets les plus relatives à notre vie quotidienne agit de déchet pneumatique présenté essentiellement par les pneus usagés.

Chapitre 2 :

Pneus comme déchets

2 PNEUS COMME DÉCHETS

2.1 INTRODUCTION

Il existe actuellement deux technologies de pneus, le pneu à architecture diagonale et le pneu à architecture radiale. Le pneu de type diagonal était dominé pendant des années 20 aux années 60, mais la breveté des pneus de type radial en 1946 par Michelin révolutionna le monde du pneumatique pour devenir le standard d'aujourd'hui. Cette technologie permet une surface de contact avec le sol maximum en permanence, un échauffement limité et un confort accru (17). Les pneumatiques actuels sont du type " Radial " (par opposition aux pneus diagonaux qui n'existent plus en automobile). (18) C'est cette technologie de pneu que nous considérerons dans ce qui suit.

2.2 TYPES DE PNEUS

En Europe, l'*ERTRO*² a pour objectif d'aligner davantage les normes nationales en assiste donc depuis l'année 2016 à des normes basées sur les dimensions communes des pneus, la pression, la directive opérationnelle, et sur les caractéristiques du pneumatique (19). Partir de ces normes les pneus peut être classés en trois classes principales :

Selon le poids comme il est présenté au-dessous :

- Les pneus VL, équipent les véhicules de Tourisme, 4x4 tous terrains, enveloppes de secours spéciales ou galettes, camionnettes, agraires (roues directrices), petit agricole (poids unitaire du pneu < 15 kg), motos avec une moyenne de 2 à 4 pneus. (20)
- Le type de pneus PL, équipe les camions, autocars et autobus, tracteurs routiers et les remorques. La moyenne est de 8 pneus pour les camions (peut être équipé de 6 à 12 pneus), 6 pneus pour les autocars et autobus ainsi que les remorques et de 8 pneus pour les tracteurs routiers (un tracteur routier peut être équipé généralement de 6 à 10 pneus selon le nombre d'essieux). (20)
- Les tracteurs agricoles, véhicules spéciaux et motos, sont équipés de type de pneu désigné par autres avec une moyenne de 2 pneus pour les motos et 4 pneus pour les véhicules spéciaux et tracteurs agricoles. (20)

Ça peut être plus détaillé dans les tableaux suivants:

² European Tyre and Rim Technical Organisation

Tableau 2-1: classification des pneumatiques selon la nature de véhicule [4]

Catégories de pneumatiques	Pneumatiques correspondants	Poids moyen
Scooters (SC)	Scooters.	Inférieur à 5 kg
Véhicules légers (VL)	Tourisme, 4x4 tous terrains, enveloppes de secours spéciales ou galettes, camionnettes, agraires (roues directrices), petit agricole (poids unitaire du pneu < 15 kg), motos.	Entre 5 kg et 15 kg
Poids lourds (PL)	Poids lourds, autocars, bus, remorques agricoles, engins légers de manutention (poids unitaire du pneu < 60 kg).	Entre 15 kg et 60 kg
Agraires, génie civil 1 (AGRI-GC1)	Agraires (roues motrices), petit génie civil, travaux publics, engins moyens de manutention (poids unitaire du pneu entre 60 et 200 kg).	Entre 60 kg et 200 kg
Génie civil 2 (GC2)	Génie civil, engins lourds de manutention (poids unitaire du pneu > 200 kg).	Supérieur à 200 kg
Avions (AV)	Avions, hélicoptères.	Toutes tranches de poids

Tableau 2-2: classification des pneumatiques selon allia pur

TYPE DE PNEUMATIQUES	POIDS MOYEN	CATÉGORIE
A1 (de 3 à 5 kg)	4,06 kg	Motos, quads, tous pneus entre 3 et 5 kg
A2 (de 5 à 20 kg)	7,89 kg	Voitures, 4X4, petits utilitaires, tous pneus entre 5 et 20 kg
A3 (de 5 à 20 kg)	7,89 kg	Pneus spéciaux (colmatables, équipés de dispositifs additionnels...) sous réserve qu'ils soient aisément identifiables lors du tri
B1 (de 20 à 80 kg)	53,99 kg	Véhicules utilitaires, poids-lourds, tous pneus entre 20 et 80 kg
B2 (de 20 à 80 kg)	53,99 kg	Pneus spéciaux (colmatables, équipés de dispositifs additionnels...) sous réserve qu'ils soient aisément identifiables lors du tri
C1 (de 80 à 130 kg)	92,12 kg	Agraire, génie civil, travaux publics, manutention
C2 (de 130 à 200 kg)	161 kg	Agraire, génie civil, travaux publics, manutention
D1 (de 200 à 450 kg)	257,17 kg	Agraire, génie civil, travaux publics, manutention
D2 (> à 450 kg)	465 kg	Agraire, génie civil, travaux publics, manutention 101,65€ E (< à 3 kg) 2 kg Scooters, tous pneus inférieurs à 3 kg
F1	77 kg	Avion commercial
F2	6 kg	Avion général
F3	16 kg	Avion militaire & régional

D'autres classifications sont distribuées par rapport aux caractéristiques de fonctionnement à :

➤ Pneus pour autos :

- Les **pneus été** qui résistent toute l'année, seulement qu'ils ne sont pas faits pour rouler sur la neige ou bien à des températures inférieures à 7 °C.
- Les **pneus d'hiver**, ce type est conçu exclusivement pour des zones géographiques à basse température. Ils sont finement laminés pour objectif de rouler sur la neige, du verglas ou autres terrains glissants sans perdre le contrôle du véhicule.
- Les **pneus toutes saisons**, ils sont pour objectif de résister aux différentes saisons. Ils ne sont pas efficaces qu'un pneu d'hiver en hiver ou qu'un pneu d'été en été. l'état des pneus en toutes saisons est souvent nécessaire.

- Les **pneus roulage à plat**, ou bien pneus **Run flat**, sont des pneus anti-crevaisson utilisés en cas d'absence de roue de secours.
- Pour les motocycles :
- Les pneus de routière, ce sont des pneus qui répondent à des exigences techniques particulières comme l'indice de vitesse et de charge que peut supporter le pneu.
 - Les pneus de tourisme exclusivement pour les usagers qui roulent à une vitesse inférieure à 200 km/h.
 - Pneumatique Chopper-Cruiser Ce sont des pneus pour tous types de terrain caractérisés par le temps de conduite, une bonne stabilité lors des virages ainsi que le bruit émis pour les motos lourdes.

2.3 COMPOSITION DES PNEUS

Les pneus d'aujourd'hui comprennent près de vingt-cinq composants ainsi qu'une dizaine de gommes différentes distinguées par leur dureté et leur composition, et chaque composant est développé pour un besoin particulier : le caoutchouc (naturel ou synthétique) pour l'élasticité, le noir de Carbone ou la Silice pour renforcer sa résistance au frottement, des plastifiants (huiles et résines) pour renforcer la tenue à froid de la matière, du soufre (agent indispensable à la vulcanisation), des renforts métalliques et textiles.... (21)

2.3.1 Structure des pneus:

Nous allons détailler dans cette partie les différents éléments constitutifs de la structure d'un pneu que l'on peut voir sur l'illustration ci-dessus :

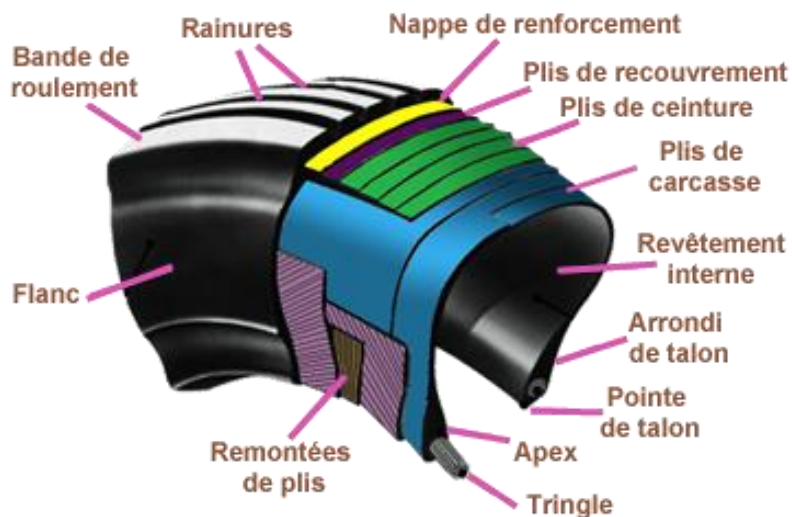


Figure 2-1: architecture du pneu

2.3.1.1 *La gomme d'étanchéité*

Il s'agit d'une feuille de gomme placée à l'intérieur du **pneu** et qui fera office de chambre à air. Elle est l'élément le plus important du pneu réunir plus de **200 matières premières** dont les composants de base comprennent :

- Les **élastomères** ou **caoutchoucs**;
- Les **charges renforçantes**;
- Les **plastifiants**;
- Les **adjuvants chimiques** ;
- _des fibres textiles ;**
- _Des fibres métalliques.** (22)

2.3.1.2 *La carcasse*

Cette pièce est composée de minces fibres textiles en rayonne ou en polyester qui sont placées en arceaux droits et collés au caoutchouc qui s'appelées les **nappes**. Avec cette armature le **pneu** pourrait résister à la pression de l'air interne et à la charge qu'il doit supporter. (23)

2.3.1.3 *La zone talon*

La zone talon est la partie qui permet l'accrochage du **pneu** sur la jante. Cette jonction est assurée par deux anneaux métalliques:

- Les tringles qui transmettent le couple entre la jante et le pneumatique. Ils sont faits d'un fil d'acier recouvert de caoutchouc, et enroulé sur plusieurs boucles.
- Le talon est la partie du pneu en contact avec la jante, c'est un anneau rigide qui fixe les nappes carcasses et bloque le pneu à la roue, de manière à ce que celui-ci ne glisse pas sur la jante. Le talon est composé de :
 - la boucle en câble d'acier;
 - l'apex ou bourrage sur tringle ;
 - la bandelette du talon qui protège les éléments du talon ;
 - une nappe qui protège le flanc bas ;
 - la bandelette support qui permet de tenir la tringle en place. (24)

2.3.1.4 *Les flancs*

Représentent les parties latérales du pneu composées de gomme souple. Ils sont capables de supporter les déformations et très résistantes aux différentes chocs (contre les trottoirs...), et devant transmettre le mieux possible les ordres de la direction. C'est pour ça Les flancs vont protéger le pneu des chocs qui pourraient compromettre la carcasse. Plus de ça c'est sur les flancs que l'on peut trouver toutes les caractéristiques techniques du pneu (dans le marquage). (25)

2.3.1.5 *Les nappes*

On site trois (03) types selon leurs fonctionnement :

- La nappe carcasse, se située entre la gomme intérieure et le sommet, elle permet au pneu de résister à la pression interne grâce à une couche de textile métallique s'agit des câbles d'acier (26). Ces câbles sont ancrés de chaque côté autour des tringles. Les

matériaux de renfort utilisés pour la carcasse incluent également des fibres textiles comme le polyester.

- Les nappes de sommet qui sont constituées de couches de câbles d'acier orientées les unes par rapport aux autres selon un angle de 20° environ (26). Le croisement des fils avec ceux de la carcasse crée des triangles indéformables ce qui permet de rigidifier le sommet. Et qui empêche ainsi la déformation de la bande de roulement. Ces nappes doivent également être souples dans les sens vertical pour absorber les déformations de la chaussée. (27)
- Les nappes de ceinture, Ce type des nappes permet de la conservation d'un profil stable du pneu sous l'effet de la vitesse et plus de la réduction des échauffements. Elles sont armées de câbles généralement en nylon, posés en fils unitaires ou en bandelettes perpendiculaires à la nappe de la carcasse et dans un sens circonférentiel pour objectif de ne pas s'étirer sous l'effet de la force centrifuge. (27)

2.3.1.6 La bande de roulement

C'est la partie du pneu en contact avec la route, assurant l'adhérence et devant résister à des efforts très importants. Elle est superposée aux nappes sommet, est la zone du pneu qui contient les sculptures³. Puisqu'elle est en contact avec le sol, elle doit assurer un faible échauffement, Une bonne résistance à l'usure et à l'abrasion, une bonne adhérence dans les différents conditions climatiques et états de sols.

2.3.2 Matériaux

2.3.2.1 Élastomères

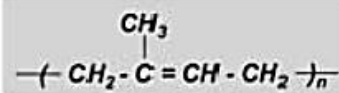
Il est présent sous la forme de composés combinant plusieurs polymères le caoutchouc naturel, le poly-isoprène synthétique, le polybutadiène et le styrène butadiène. Le pourcentage typique de caoutchoucs synthétique et naturel variés selon la nature de véhicule Pour un pneu de camion est 20% - 80%. Pour une voiture de tourisme, ce pourcentage est d'environ 55% - 45%.

³ (Aussi appelés profils ou bien les rainures) sont dessinées sur la bande de roulement on distingue deux types de rainures sur un pneu :

Les rainures principales qui sont plus larges, dans lesquelles figurent les témoins d'usure;

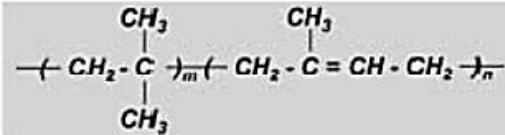
Les rainures secondaires qui sont plus étroites et plus courtes, qui s'usent plus rapidement et qui ne comportent pas d'indicateurs.

Caoutchouc naturel



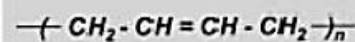
POLY ISOPRENE SYNTHETIQUE

Caoutchouc butyl

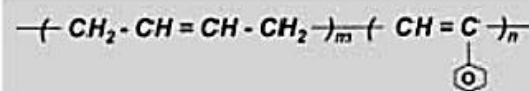


MODIFICATION par HALOGENATION

Polybutadiène



**Copolymère
butadiène styrène (SBR)**



- Le caoutchouc naturel est obtenu à partir de la sève de l'hévéa qui contient un polymère appelé poly isoprène. Le caoutchouc naturel a une résistance à la rupture élevée et il on peut modifier sa rigidité par le noir de carbone avec des doses prédéterminées. Il reste flexible entre -55 °C à 80 °C. Son utilisation découle principalement de son faible échauffement viscoélastique. (28)



Figure 2-2: l'extraction de caoutchouc naturel

- Les caoutchoucs synthétiques ont apparus à partir de la première guerre mondiale dans l'Allemagne bloquée. tandis que la production de caoutchouc naturel ne suffit plus. Le poly isoprène synthétique est la version synthétique du caoutchouc naturel (29). Ils sont fabriqués à partir du pétrole brut selon l'organigramme suivant :

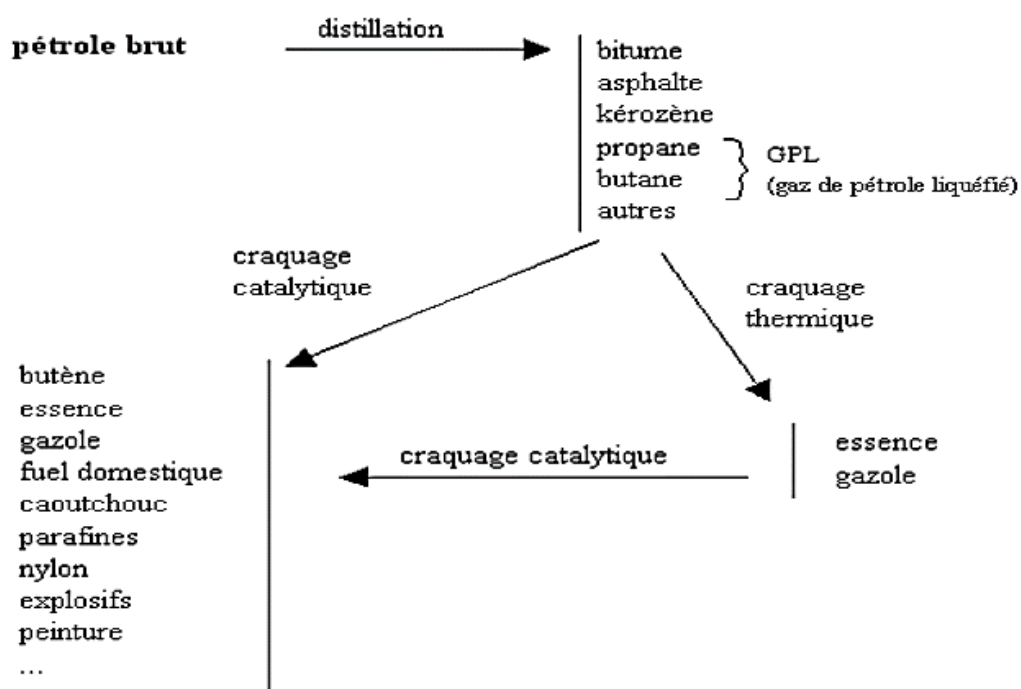


Figure 2-3: organigramme de fabrication de produits, à partir du pétrole

- Le caoutchouc styrène butadiène **SBR** est un copolymère de styrène et butadiène possédant une grande résistance à l'abrasion et au vieillissement. (30)

2.3.2.2 Fibres textiles

Le textile est utilisé comme renfort depuis les origines du pneu. Ils jouent aujourd'hui un rôle important dans les pneus haute performance homologués pour rouler à très haute vitesse. Les matériaux utilisés pour la fabrication de ces renforts sont le polyester, le nylon, la rayonne et l'aramide qui apportent résistance, endurance et confort. (31)



Figure 2-4: les fibres textiles

2.3.2.3 Fibres métalliques

Cette invention a été utilisée industriellement dans la première fois en 1937 dans le pneu Michelin **Metalic** pour les véhicules Poids Lourds. Depuis, l'acier a été adopté comme ceinture des pneus radiaux. Ces fibres sont pour objectif de décupler la résistance et la rigidité des

pneus contre les différentes contraintes auxquelles il va subir. Ces renforts vont prendre plusieurs formes (nappes, tringles...) pour raffermir les zones du pneumatique. (22)

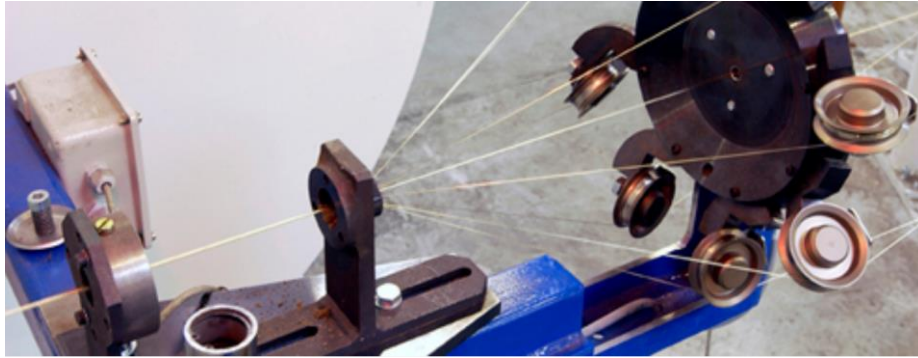


Figure 2-5: production des fils en acier

2.3.2.4 Les adjuvants chimiques

Ces constituants (principalement le soufre) aussi que des activateurs de vulcanisation (oxyde de zinc, acide stéarique) et des accélérateurs (sulfénamides, thiurames), bien proportionnés et intelligemment choisis afin qu'ils vont donner une **matière gélatineuse** qui répond aux exigences de résistance, de souplesse ou encore d'adhérence selon le type de pneu souhaité. (22)

- Le soufre est l'élément le plus important, après le caoutchouc, il intervient dans le processus de vulcanisation du pneu. Le rôle du Soufre est de lier les différents composants du futur pneu ensemble ; schématiquement, le Soufre va se placer entre deux molécules et s'accrocher à chacune d'elles pour les relier, comme il est représenté sur le schéma ci-dessous afin de rendre le mélange plus élastique et moins plastique : (24)

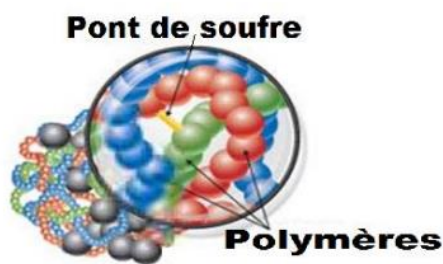


Figure 2-6: pont sulfure dans un polymère

2.3.2.5 Charges renforçantes

Lesquelles sont constituées du :

- **noir de carbone** qui donne la couleur noire au pneu, cette couleur qui a par ailleurs un réel pouvoir contre le rayonnement des ultraviolets pour s'opposer à la fissuration et au craquelage de la gomme. Plus que le carbone renforce également sa résistance à l'usure. (22)



Figure 2-7: poudre de noir de carbone

- la **silice** est un composant qui a été introduit plus tard pour améliorer la résistance à la déchirure de la gomme. Les mélanges obtenus ont permis l'élaboration de pneus présentant une faible résistance au roulement et une bonne adhérence sur sol froid, et pour que certains pneus permettent une économie en carburant tout en maintenant des performances de longévité exceptionnelles. (17)



Figure 2-8: poudre de silice

2.3.2.6 Les plastifiants

Comme des huiles appelées Plaxolène ou Plaxène, des solvants comme les essences spéciales Solane, ou encore des résines sont aussi utilisés.

2.4 INDUSTRIE DES PNEUS

2.4.1 Fabrication de pneumatiques

Le processus de fabrication des pneus passe par quatre (04) étapes principales, et chaque étape suit une ou plusieurs procédures spécifiques qui assurent la qualité des pneus défini dans le cahier de charge.

2.4.1.1 Préparation des produits semi-finis

On compte: Une feuille de caoutchouc synthétique, les nappes et les tringles et enfin la gomme qui constituera notamment les flancs, et la bande de roulement. Chaque composant a été préparé selon les normes⁴ standardisées.

2.4.1.2 Assemblage des composants

- La première étape est de les superposer dans un ordre bien précis sur un tambour⁵. Les produits qui constitueront la partie intérieure du pneumatique sont positionnés en premier

⁴ Vérifier l'annexes de chapitre 02

- Après l'assemblage des nappes et des tringles du pneumatique, on obtient une carcasse qu'il va ensuite falloir mettre en forme.
- On va donner forme à cette carcasse en gonflant le tambour ce qui va rapprocher les deux tringles.
- Une fois cette opération réalisée, on pose les nappes extérieures (nappes sommets), destinées à constituer la ceinture et la bande de roulement du futur pneumatique.
- Dans cet état, on obtient ce qu'on appelle «le bandage cru », encore plastique et dont la cohésion n'est assurée que par le caractère collant des gommes. La cohésion définitive du pneumatique va être établie grâce à la cuisson. (22) (32) (33)

2.4.1.3 Cuisson

- Dans cette étape en voit que le chauffage sous pression dans des presses de moulage provoque la vulcanisation⁶ (34).
- Une poche torique en caoutchouc est mise sous pression à l'intérieur du futur pneumatique pour forcer la gomme à remplir les empreintes qui permettent de créer les sculptures de la bande de roulement et d'obtenir les inscriptions permettant d'identifier le pneumatique.
- Le pneu est vulcanisé de 30 minutes à 3 heures et 30 minutes, selon sa dimension.
- Le bandage est chauffé à la fois par l'extérieur par une circulation de vapeur, et par l'intérieur grâce au fluide qui gonfle la poche interne.
- La pression peut atteindre environ 10 bars ou la température varie de 100 à 200°C, le temps de cuisson varie de quelques minutes pour les pneumatiques les plus légers à 24 heures ou plus pour les plus lourds.

Au cours de cette cuisson sous pression, les différents mélanges et les armatures adhèrent entre eux, assurant la cohésion de l'ensemble et la stabilisation des propriétés élastiques. (35)

⁵ Un cylindre rotatif doté d'extrémités qui peuvent être rapprochés

⁶ Connue aussi par le curage, elle s'agit d'une opération chimique qui consiste à incorporer un agent vulcanisant à un élastomère brut pour former après cuisson des ponts entre les chaînes moléculaires. Cette opération permet de rendre les matériaux moins plastiques et plus élastiques.

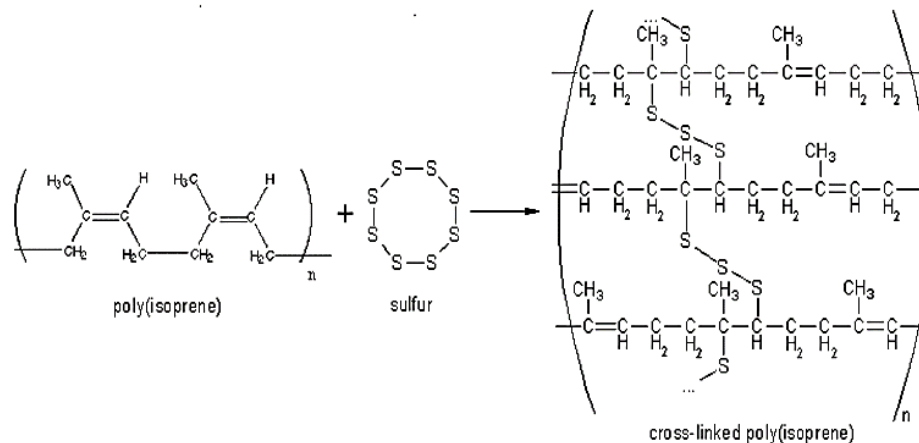


Figure 2-9: la vulcanisation provoquée par la cuisson

2.4.1.4 Contrôle final

À la sortie de la cuisson, les pneus sont soumis à des contrôles de qualité détaillés parce qu'il faut assurer qu'ils ne présentent aucun défaut avant la commercialisation. Le contrôle contient une chaîne successive des tests commence par un examen visuel du pneu ou on cherche aux petites bulles d'air ou les petites fissures dans lesquelles les eaux de pluie peuvent s'infiltrer. Ensuite, on passe à un contrôle ultrasons à l'aide d'une sonde qui envoie des ultrasons dans l'enveloppe, cela permet de vérifier que la gomme ne comporte pas de défauts. Certains pneus sont soumis à des tests aux rayons X pour observer les câbles métalliques à l'intérieur ; à la fin, est vérifié comment les pneus roulent et leur comportement sur le tapis de test. (22) (21)

2.4.2 Normes liées à la fabrication de pneumatiques en Europe

En Europe, le Parlement européen met en place des règles liées à la fabrication de pneumatiques sur le territoire européen. Ces réglementations d'homologation autour 3 axes principaux :

Les pneus qui respectent les normes européennes relatives au bruit de roulement, adhérence au sol mouillé et à la résistance au roulement portent le code S1WR1 à la fin de leur numéro d'homologation : celui-ci est composé de la lettre E associée à un chiffre correspondant au pays de production. Les deux chiffres suivants donnent le type de véhicule destiné au pneu, enfin, les quatre chiffres suivants représentent le numéro d'homologation (par exemple : E2 024567 S1WR1).

2.4.2.1 Homologation par type

Présenté par la directive 92/35/CEE une réglementation technique émanant de l'ONU qui rend les marquages obligatoires par le fabricant : la marque, les dimensions, la structure du pneu, la catégorie de vitesse, la capacité de charge, l'indication pour pneus neige, la date de fabrication, le marquage spécifique pour pneus sans chambre à air, pneus renforcés... (36).

2.4.2.2 Homologation bruit

- Là on a la directive 2001/43/CE qui régleme le bruit du roulement, la résistance au roulement ainsi que l'adhérence au sol mouillé. L'ensemble des pneus homologués à partir d'août 2003 sont soumis à la réglementation relative aux nuisances sonores (37).
- Le règlement CE/1222/2009 mis en place contraint tous les pneumatiques neufs de véhicules de tourisme et utilitaires légers fabriqués après le 1^{er} novembre 2012 à disposer d'une étiquette qui affiche une note correspondant aux caractéristiques principales du produit comme l'efficacité énergétique, l'adhérence sur sol mouillé et la nuisance sonore (37).

2.4.3 Marché des pneumatiques

L'industrie du pneu devrait retrouver leur croissance d'environ 5% par an et les cours de matières premières pourraient évoluer au même rythme depuis 2004. Il y a 75 sites de production de pneus dans le monde, 42 en Europe et 18 en France (38).

Le 1^{er} fabricant de pneumatiques au monde pour l'année 2008 est Bridgestone avec un chiffre d'affaires de 23,4 milliards de dollars. Il devance Michelin (22,8 milliards) et Goodyear demeure (18,5 milliards), suivi de Continental (8 milliards) et Pirelli (6 milliards). Derrière, les manufacturiers chinois et coréens poursuivent leur croissance (39).

Aujourd'hui la production mondiale de pneus dépasse 3,1 millions par jour, soit environ 1,2 milliard de pneus par an et plus de 38 pneus par seconde. Cela représente un marché d'environ 130 milliards d'euros

- **le français** : Michelin (BFGoodrich, Kléber, Kormoran, Riken, Tigar, Uniroyal, ...)
- **le japonais** : Bridgestone (Dayton, Firestone, Seiberling, Fuzion,...)
- **l'américain** : Goodyear (Kelly, Debica, Dunlop, Fulda (de), Sava (en), ...)
- **l'allemand** : Continental AG (Barum (en), Viking, Gislaved, General, Euzkadi, Semperit, Uniroyal (Europe), Matador, Mabor, ...)
- **l'italien** : Pirelli (Ceat, Amtel, ...).

Il existe également de nombreux autres manufacturiers, notamment asiatiques (Hankook, Kumho, Toyo, Yokohama, Triangle, ...). Et européens (Vredestein aux Pays-Bas et Nokian en Finlande).

Dans la figure suivante on a une représentation de classement des producteurs pneumatiques selon les ventes mondiales en 2018. Cette statistique montre les principaux fabricants de pneumatiques dans le monde à partir du chiffre d'affaires généré par leurs ventes dans ce secteur. Le chiffre d'affaires de Bridgestone dans ce secteur cette année-là s'élevait à environ 26 milliards de dollars des États-Unis, contre plus de 24 milliards pour le fabricant français Michelin. (40)

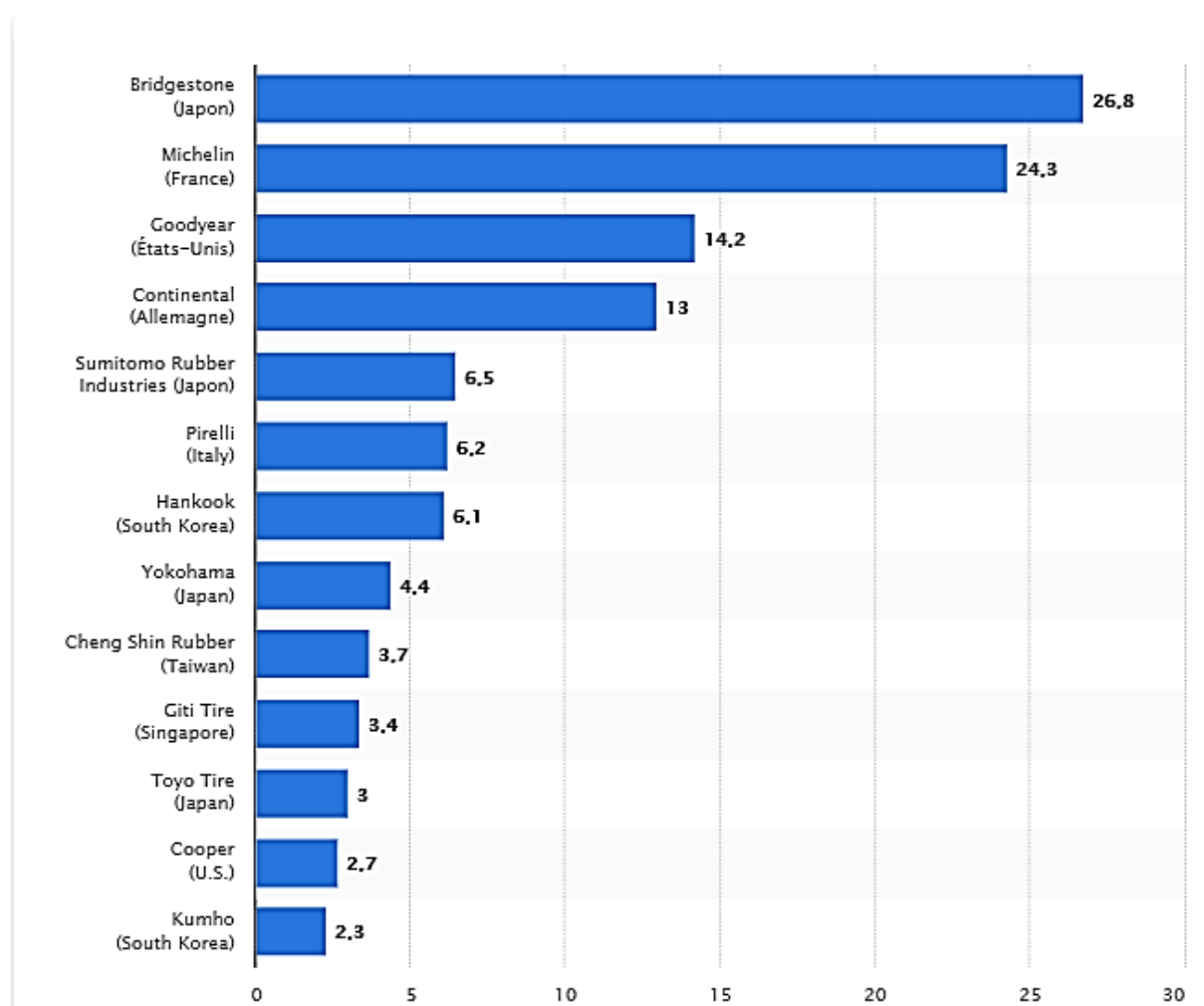


Figure 2-10 : classification des premiers producteurs pneumatiques selon leur chiffre d'affaire

2.5 UTILISATION DES PNEUS

Les fonctions des pneus sont indispensables dans la structure du véhicule. Car les pneus ont un rôle fondamental ; En effet, conduire un véhicule nécessite de guider, accélérer, freiner, répondre aux multiples sollicitations de la conduite, de la chaussée et de l'environnement, et ce avec une faible surface au sol (41). Il existe trois fonctions principales d'un pneu : guider, transmettre et porter.

- Fonction de guide qui permet aux véhicules de suivre les trajectoires souhaitées par les conducteurs, bien sûre avec un certain équilibre. Plus qu'il doit pouvoir faire face aux différentes conditions climatiques.
- Fonction de transmettre qui permet de freiner, ralentir ou accélérer le véhicule selon les besoins du conducteur. Aussi qu'il s'adapte aux différents chocs le plus souvent liés à la déformation de la route afin d'assurer sécurité et confort du conducteurs et des passagers.
- Fonction de porter qui est destiné à supporter le poids du véhicule et certaines surcharges. Un pneu (véhicule) porte plus de cinquante fois son poids.

2.6 CYCLE DE VIE DU PNEU

Le pneu continue d'apporter, par une innovation permanente, une contribution forte à l'amélioration de la vie des hommes : plus de mobilité, plus de sécurité, dans un environnement mieux préservé. Cette polyvalence du pneu n'est pas uniquement due au pneu fini mais aux différentes phases de vie de celui-ci. Par définition, le cycle de vie représente les différentes étapes par lesquelles passe un produit, de la phase de matière première à la phase où celui-ci est mis hors service et entre dans une phase de retraitement.

- Dans la première phase du cycle de vie le pneu est issu du monde végétal via l'hévéa et qui est appelé le caoutchouc.
- La deuxième phase concerne la fabrication, l'alliage de l'énergie des facteurs de production et des techniques de conception combinées avec le caoutchouc de l'hévéa.
- La troisième phase s'étend sur son utilisation, le pneu est désormais un produit fini et nécessite maintenant d'exprimer pleinement ses capacités techniques dans le temps.
- La dernière étape du cycle de vie correspond à l'utilisation des pneus usagés qui peut être mise en œuvre sous plusieurs formes (La réutilisation par rechapage ; La valorisation matière ; La valorisation énergétique).

2.7 IMPACT DES PNEUS USÉS

Des centaines de millions de pneus sont générés et cumulés dans nombreux pays à travers le monde. Les dernières statistiques montrent que des 17 millions de tonnes de déchets de pneumatiques sont jetées chaque année dans le monde. Les pneumatiques usagés représentent un déchet encombrant, polluant et préoccupant. Les politiques de stockage et d'élimination des pneumatiques usagés sont devenues des préoccupations graves pour l'environnement à travers le monde. (42)

2.7.1 Impact des pneus usés sur l'environnement

La recrudescence du nombre de pneumatiques non biodégradables représente certains risques à combattre. Outre l'évidente pollution visuelle qu'ils engendrent, les risques d'incendies, leur forte combustibilité représente des risques majeurs (Les pneus usagés sont des déchets non dangereux mais ils présentent un danger pour l'environnement en cas d'incendie par l'émission de fumées toxiques. Le point le plus critique est lié au résidu après incendie. Les résidus de calcination présentent des caractéristiques physico-chimiques qui imposent de les considérer comme des déchets dangereux, avec neutralisation avant stockage. Il est donc recommandé de recouvrir les parties d'ouvrages contenant des pneus déchiquetés par une couche de sol pour limiter le risque de départ d'incendie.). (43)

Aux vues des différentes études exploitées comme la critique bibliographique sur la toxicité des lixiviats de pneus réalisée par WIK et DAVE en 2009 (44) et nombreuses études, dont certaines publiées par les auteurs eux-mêmes, indiquent que la toxicité des lixiviats de pneus est probablement due aux composés organiques et au zinc. Autres études sur la toxicité comme une étude sur la gestion des pneus usés pour le Ministère de l'Environnement Néo-Zélandais rappellent les différents dangers des lixiviats de pneus usés pour l'environnement, notamment leur toxicité pour les milieux aquatiques. Mais dans l'autre côté il a été autre études qui refusent ces résultats (45) .

2.7.2 Impact des pneus usés sur les êtres vivants

Les pneus hors d'usage abandonnés dans l'environnement ou entreposés dans des dépotoirs favorisent la prolifération de nombreuses espèces de moustiques et de reptiles, les vieux pneus présentent des conditions idéales pour la croissance des larves. Là où il faut mentionner que les moustiques peuvent être des vecteurs de virus responsables d'encéphalites humaines. Ainsi, au milieu des années 1980, l'importation de pneus hors d'usage en provenance d'Asie a déclenché l'introduction en Amérique du Nord d'une nouvelle espèce de moustiques appelée *Aedes albopictus* ou "Asian Tiger Mosquito". Depuis, ce moustique s'est installé dans plus de 20 états américains et représente un problème considérable. (46)

2.8 CONCLUSION

Ce Chapitre a été réservé pour la récapitulation des informations sur le déchet pneumatique. Au premier temps nous avons présenté les types et les compositions d'un pneu, puis nous avons entamé l'industrie des pneumatiques et ses utilités, ensuite on a déterminé l'impact des pneus sur l'environnement et les êtres vivants.

Chapitre 3 :

Etat de lieu de traitement

3 ETAT DE LIEU DE TRAITEMENT

3.1 INTRODUCTION

Les pneus usagés sont des déchets non dangereux mais ils présentent un danger pour l'environnement en cas d'incendie par l'émission de fumées toxiques. On distingue :

✓ Les Pneus Usagés Réutilisables (PUR) qui peuvent faire l'objet d'un rechapage ou d'une vente comme pneus d'occasion ;

✓ Les Pneus Usagés Non Réutilisables (PUNR) qui doivent être éliminés.

La deuxième catégorie représente un gisement très important dans le monde et en Algérie ce qui demande une réaction efficace pour traiter ce déchet présenté par les divers modes de valorisation.

3.2 PNEUS USAGÉS NON RÉUTILISABLES PUNR

Les pneus usagés non réutilisables sont des déchets dits « non dangereux » car ils sont constitués de mélanges de caoutchouc, d'acier et de textiles. Cependant ils présentent un risque pour l'environnement en cas d'incendie à cause d'émissions de gaz toxiques et éventuellement d'un liquide huileux.

3.3 ORGANISATION DE LA FILIÈRE DE GESTION DES PUS

Cette filière regroupe de nombreux acteurs intervenant tout au long du cycle de vie, depuis les fabricants jusqu'aux opérateurs de la collecte et du traitement des pneus en fin de vie de la succession suivante :

- Les producteurs qui mettent sur le marché et regroupent les personnes qui fabriquent, des pneumatiques destinés à être vendus à l'utilisateur final sur le marché national ou montés sur des engins, les personnes qui importent ou introduisent des engins équipés de pneumatiques commercialisés pour la première fois sur le marché. Si ces pneumatiques sont cédés sous la seule marque d'un revendeur, ce revendeur est considéré comme metteur sur le marché » (47).
- Les distributeurs, ce sont les personnes qui y compriment par le biais de la communication à distance, fournissent à titre commercial des pneumatiques ou des engins équipés de pneumatiques à l'utilisateur final (47).
- Les détenteurs qui s'agissent toutes les personnes qui sont en possession de déchets de pneumatiques en raison de leurs activités professionnelles, à l'exception des personnes qui ont procédé à la valorisation de ces déchets (47).
- Les collecteurs , présenté par les personnes qui assurent les opérations de ramassage des déchets de pneumatiques auprès des distributeurs et détenteurs et le regroupement de ces déchets en vue de leur transport vers une installation de traitement (47).

La figure au-dessous représente les déferents acteurs et les corrélations entre eux

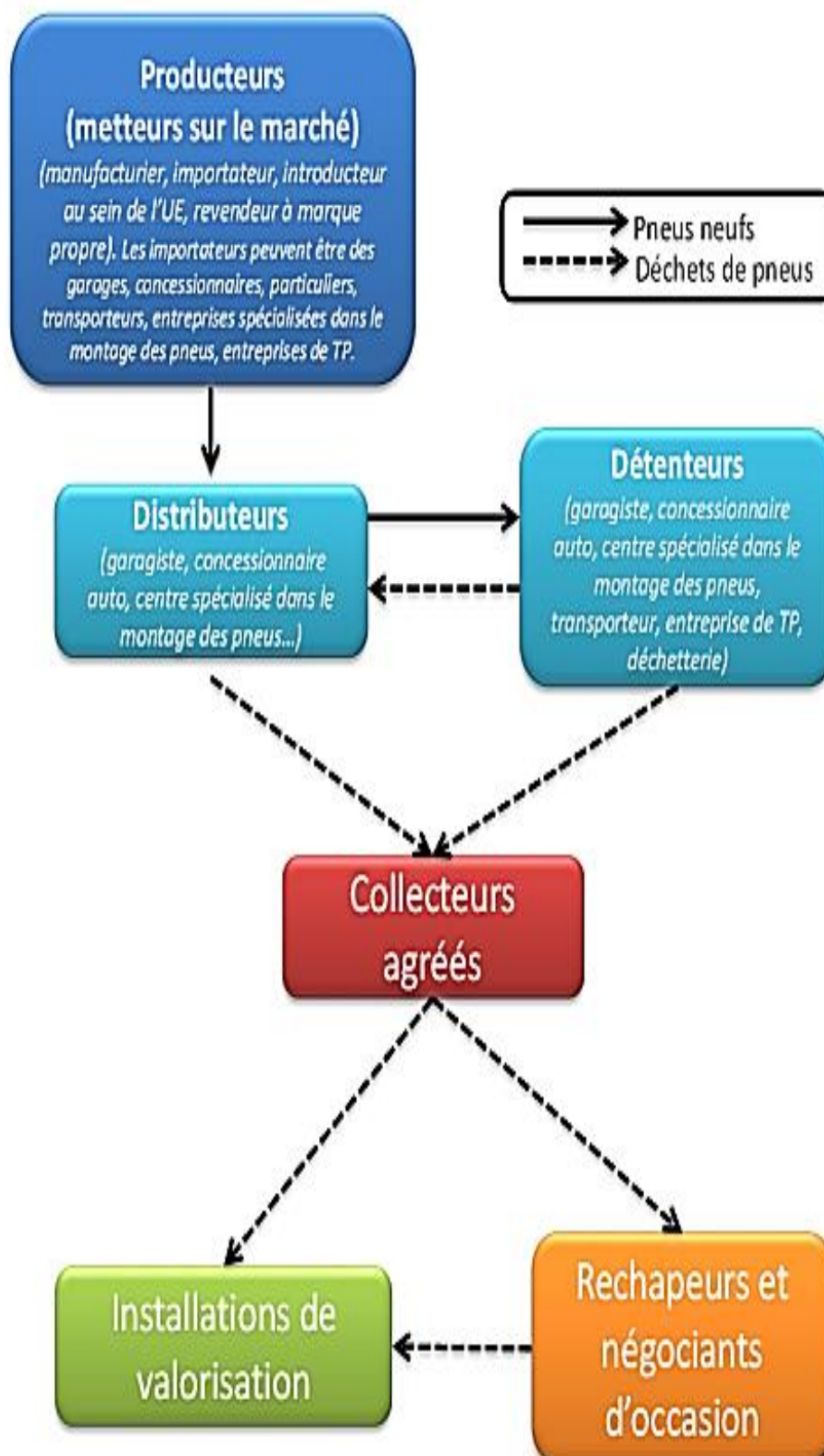
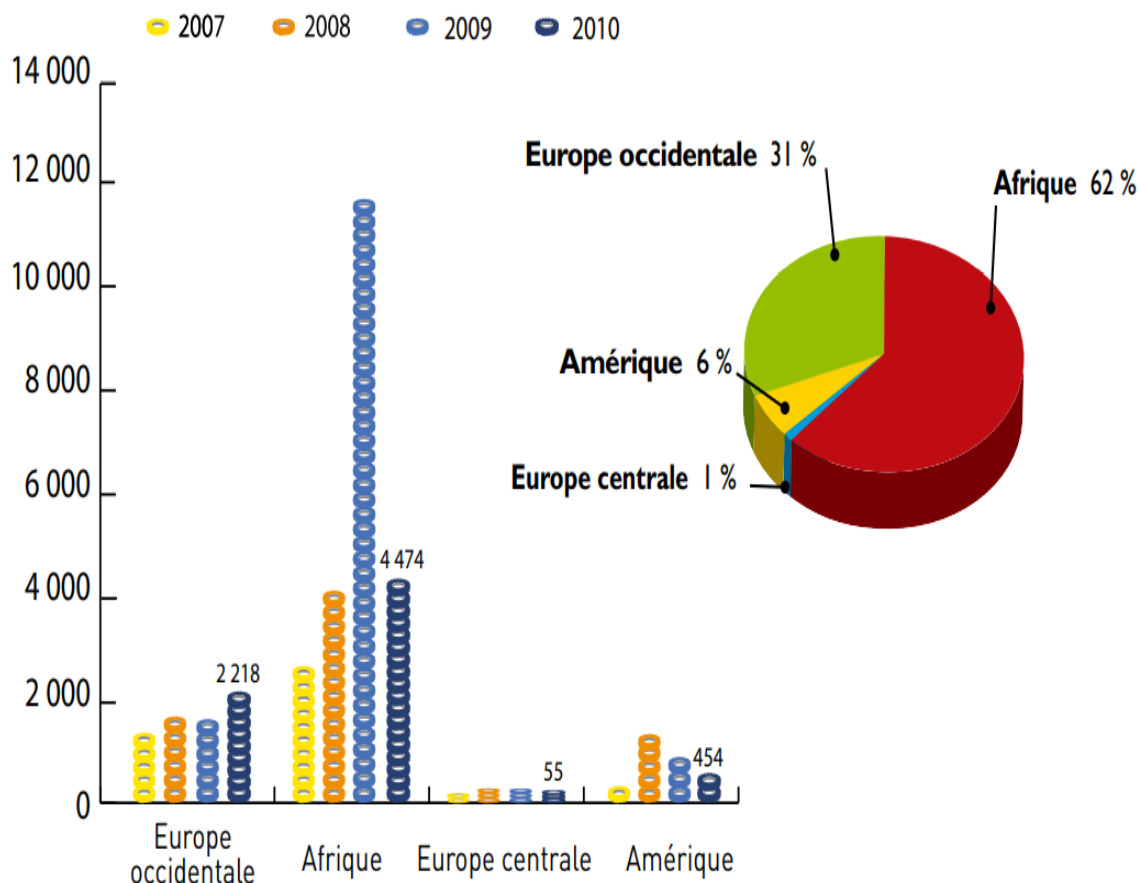


Figure 3-1: Principaux acteurs et flux de la filière PU

3.4 VALORISATION DES PNEUS USÉS DANS LE MONDE

3.4.1 Etat de lieu de déchet pneumatique dans le monde

17 millions de tonnes de pneumatiques usagés sont générés chaque année dans le monde, 350 000 t sur le périmètre français. Hors réutilisation (réemploi et rechapage), 270 836 tonnes de pneus usagés ont été valorisées en Europe par Aliapur en 2015, soit l'équivalent de 35,8 millions de pneus tourisme. La valorisation de ces pneus a permis des économies de ressources naturelles et d'impacts environnementaux. L'ACV des pneus usagés permet d'exprimer ces économies en équivalences d'utilisation d'appareils et d'actions de la vie

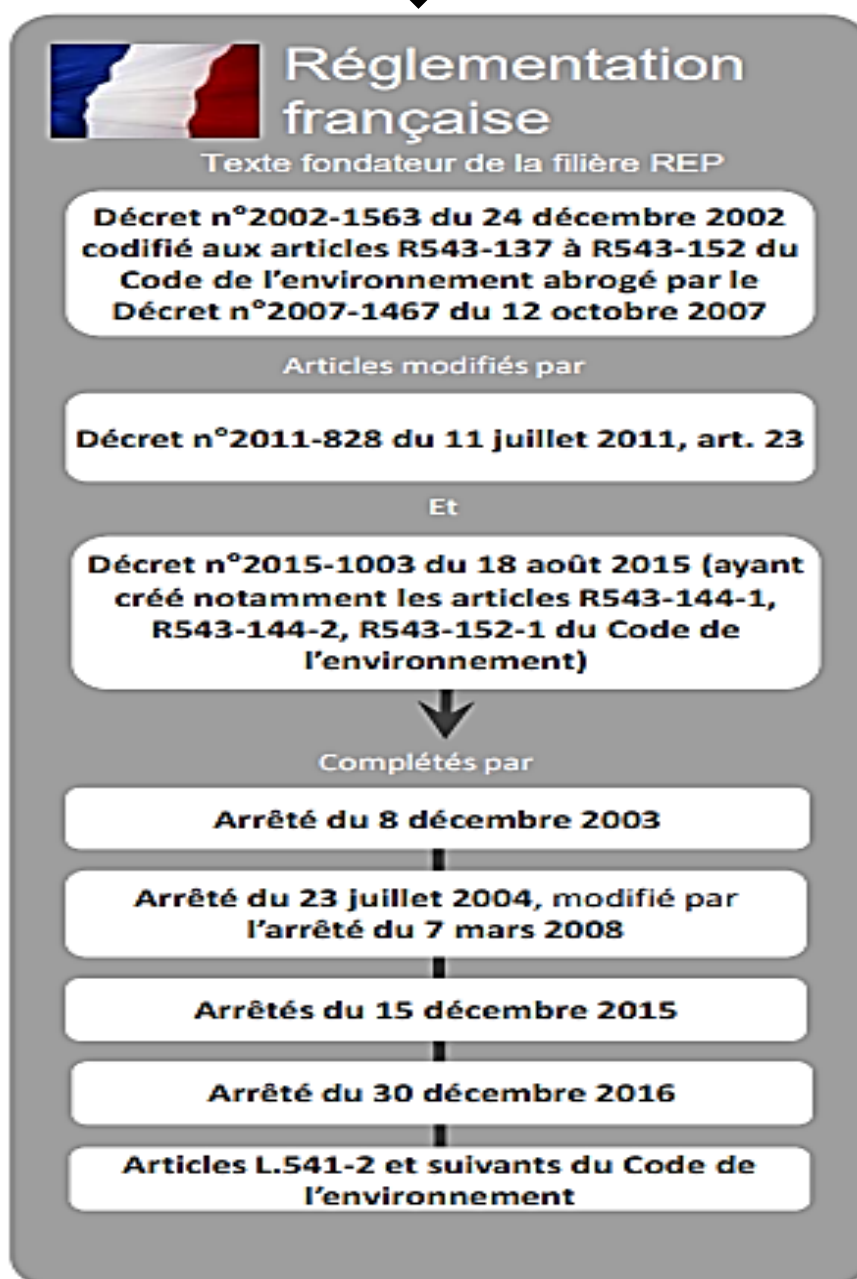


courante.

Figure 3-2 Répartition et évolution des exportations de PUR par continent destinataire (en tonnes)

3.4.2 Cadre juridique et institutionnel (EN FRANCE, EUROPE)







3.4.2.1 Cadre législatif



3.4.2.2 Cadre institutionnel

Six organismes collectifs (OC) coexistent au sein de la filière PU. La majorité des producteurs

Tableau 3-1: Les organismes collectifs en France

NOM DE L'ORGANISME COLLECTIF (DATE DE CREATION)	NOMBRE D'ADHERENTS EN 2018 ET EVOLUTION PAR RAPPORT A 2017
ALIAPUR (2003) 	<p>389 (+11,3 %)</p>
FRANCE RECYCLAGE PNEUMATIQUES (2004) 	<p>265 (+5,3 %)</p>
ARDAG (Guyane – 2006) 	<p>14 (identique)</p>
AVPUR (La Réunion - 2003) 	<p>58 (-7,9 %)</p>
TDA (Guadeloupe - 1995) 	<p>65 (-11 %)</p>
TDA PUNR (Martinique – 2003) 	<p>35 (+5,7 %)</p>

en termes de parts de marché ont choisi de confier à ces OC la mission de remplir collectivement leurs obligations en matière de traitement des déchets de pneumatiques.

3.4.3 Mode de gestion

La valorisation des déchets pneumatiques passe en trois voies comme suit :

3.4.3.1 Valorisation non énergétique

Là on a deux possibilités soit la réutilisation des pneus usés par les deux méthodes suivantes :

3.4.3.1.1 Le recyclage par recreusage

Le recreusage permet de redonner « une seconde vie » à un pneumatique, cette technique de valorisation est prise en compte dès la conception. En effet, le recreusage permet à un pneu usagé d'avoir un potentiel d'adhérence qu'il avait perdu et le redonner sa fonction de sécurité et augmente le rendement kilométrique de 20 à 30% selon les cas grâce à une augmentation

de la surface de gomme en contact avec le sol. De plus il permet de diminuer la résistance au roulement et donc de réaliser une économie de carburant. Le recreusage doit obéir à certaines règles (Limite d'usure Afin de conserver une épaisseur de gomme minimum de 2 millimètres entre le fond de la sculpture et les nappes de sommet du pneu (48) (49).

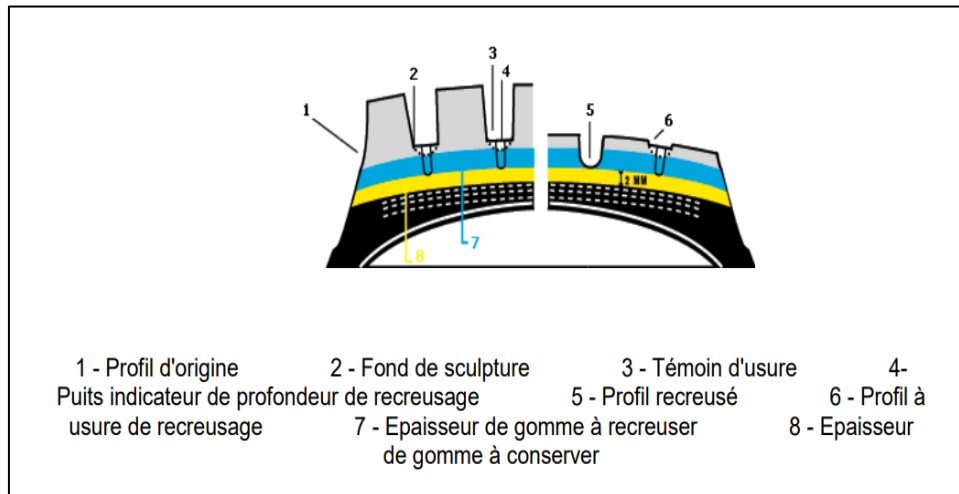


Figure 3-3: schéma d'un pneu à recreuser

3.4.3.1.2 Recyclage par rechapage

Cette technique consiste à changer les bandes de roulement des pneus usagés, en les remplaçant par des bandes de roulement neuves afin de cibler les pneumatiques usagés dont les carcasses ont gardé intacte l'ensemble de leurs qualités intrinsèques et notamment leurs durances. Les pneus de tourisme présentent une rechapabilité moins que les pneus de poids lourds qui supportent jusqu'à deux rechapages.



Figure 3-4: rechapage d'un pneu

3.4.3.1.3 La valorisation matière

Ou bien, La valorisation matière qui s'agit du processus de traitement et de transformation des pneus usagés pour les utiliser sous une autre forme par un traitement physique afin d'obtenir soit des poudrettes ou des granulés :

- poudrettes sont utilisées comme charges dans des mélanges servant à produire des pièces, ne subissant pas de contraintes mécaniques ou dynamiques élevées comme la fabrication de bandages et de roues pleines (poubelles, tondeuses ...), la modification des revêtements routiers (diminution du bruit,...).
- Les granulés peuvent être agglomérés par des résines, colorés ou non, et permettent, par moulage, de réaliser facilement des feuilles ou des plaques. Comme les aires de jeux, les revêtements pour terrains de sport,...

Comme il existe autres types de valorisation de matière, par la transformation chimique, telle que la régénération (par combinaison d'actions chimiques, mécaniques et thermiques), ou la Pyrolyse – Thermolyse. Les produits issus de cette décomposition, sont des huiles combustibles lourdes et légères, du carbone...etc. Le développement industriel de ces types de valorisation, est cependant freiné par le coût de mise en œuvre (50).

3.4.3.2 Valorisation énergétique

Le pneumatique a un excellent pouvoir calorifique (3 tonnes de pneus est équivalent à 2 tonnes de fuel) (51). Sa composition homogène en fait par ailleurs un combustible de substitution stable. Le recours à des installations dédiées, étant très faible. Ces quantités pourraient progresser, mais les pneus sont concurrencés par d'autres déchets beaucoup plus rémunérateurs dont la destruction, peut présenter un caractère prioritaire (52). Elle repose de surcroît essentiellement sur les cimenteries et les Aciers. Autres valorisations thermiques sont actuellement très limitées. Ont été développées notamment par des réchappeurs soucieux de valoriser des pneus, ne pouvant être rechapés et des rebuts de rechapage, afin de produire de l'énergie nécessaire aux unités de production.

Les pneus usagés sont utilisés comme combustible de substitution dans les fours des cimenteries, de façon à réduire leurs consommations en combustibles fossiles en vue de diminuer leur consommation énergétique. Les pneus usagés ont l'avantage de présenter un Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) élevé proche à d'autres combustibles conventionnels (53).

Tableau 3-2: Tableau représentant les valeurs de PCI⁷ par unité de masse de certains combustibles

Vecteur	PCI du combustible	
	Unité	en MJ
Pneumatiques usagés	Kg	34,5
Gaz naturel pauvre	m ³	32,97
Électricité	kWh	3,6
Gaz butane	kg	45,56
Gaz naturel riche Algérien	m³	36,43
Charbon	kg	26
Coke	kg	32
Propane	L	23,72
Fuel léger	L	36,37
Fuel moyen	L	37,68
Fuel lourd	L	38,16
Fuel extra lourd	L	38,58

Le graphe suivant récapitule les modes de valorisations de pneus usagés :

⁷ Pouvoir Calorifique Inférieur

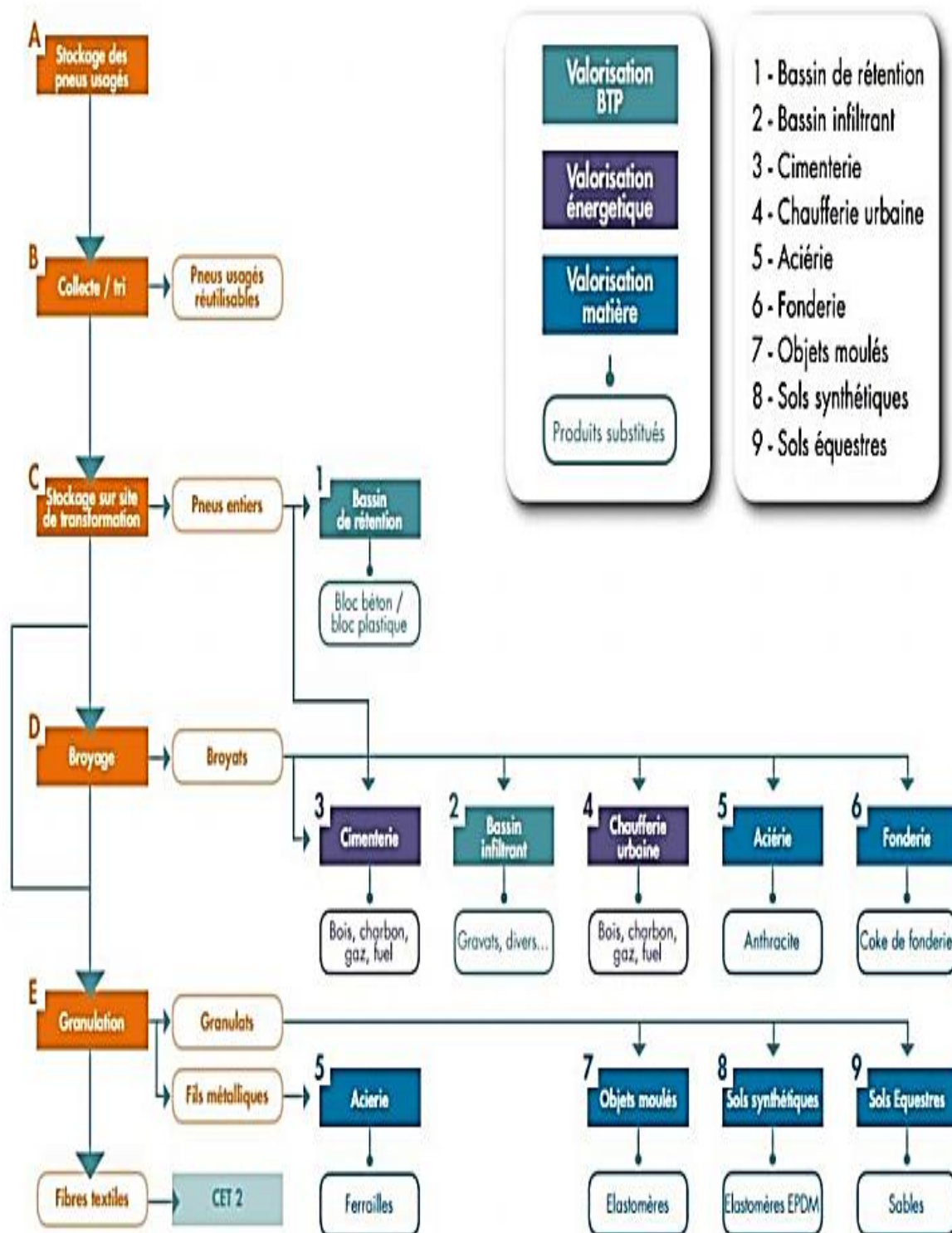


Figure 3-5: récapitulation des différentes voies de recyclage des pneumatiques

Si on prend le cas de l'exemple le plus connu dans le domaine de récupération et valorisation des pneus usagés Aliapur on a les différents origines des Pus (figure 3.6) et la répartition de chaque voie de valorisation comme il est présenté dans (la figure 3.7)

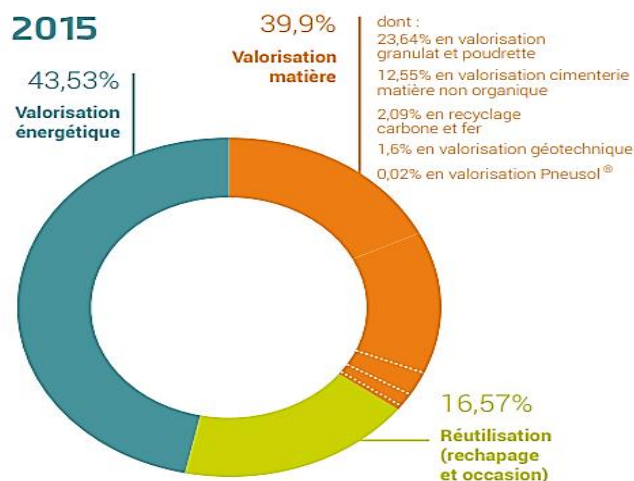
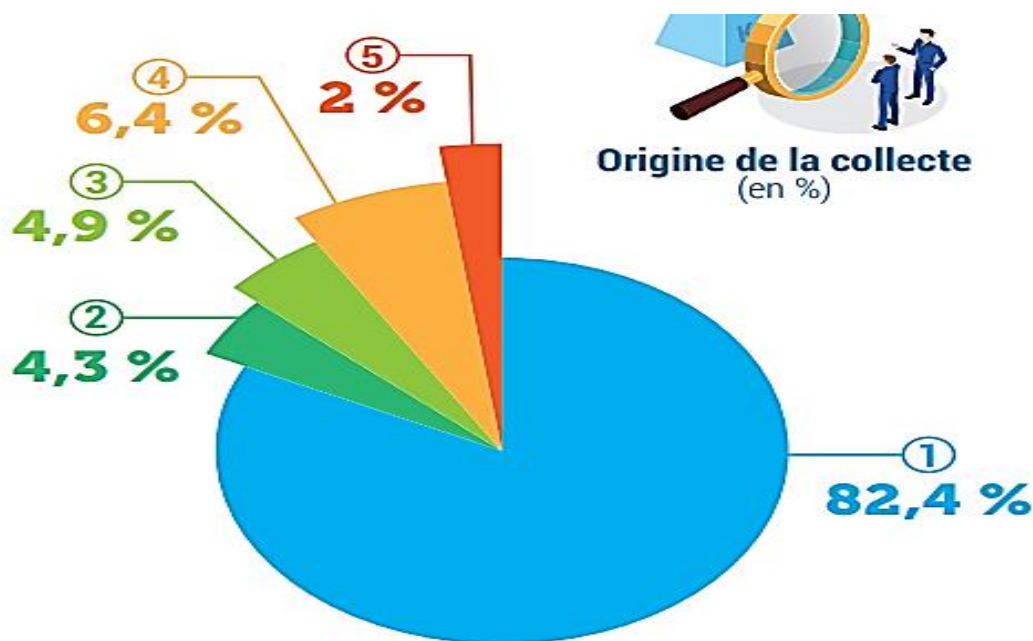


Figure 3-6: l'origine des pneus usagés



- 1. Professionnels de l'automobile** (garagiste, exploitant de centre d'entretien ou de réparation automobile, loueur)
- 2. Industriels**
- 3. Déchèteries**
- 4. Centres agréés de véhicules hors d'usage (VHU)**
- 5. Autres** (administration civile, agriculteur - hors pneu d'ensilage, collectivité territoriale, défense nationale, transporteur routier, entreprise de travaux publics)

Figure 3-7: la répartition des voies de valorisation



Figure 3-8: les projets R&D organisés par ALIAPUR

Parmi les bénéficiaires de la valorisation énergétique des PUNR par Aliapur on a (54):

<u>ACIÉRIES</u>	HOLCIM SUISSE	HET FRANCE
LAMINÉS MARCHANDS	Eclépens/VD	57260 Dieuze
EUROPÉENS	JURA-CEMENT	KIAS RECYCLING GMB
59125 Trith Saint Léger	Wildegg, Suisse	Ohlsdorf, Autriche
ARCELOR MITTAL	LAFARGE	RBSI
Esch-sur-Alzette, Luxembourg	76430 Saint-Vigor-d'Ymonville	57385 Tétting-sur-Nied
ARCELOR MITTAL	13320 Bouc-Bel-Air	ROLL GOM
Differdange, Luxembourg	69380 Lozanne	62217 Tilloy-les-Mofflaines
<u>CHAUFFAGE URBAIN</u>	11210 Port-La-Nouvelle	RUMAL - KARGRO
E.ON SUÈDE	53410 Saint-Pierre-La-Cour	Weert, Hollande
Norrköping	LAFARGE MAROC	<u>GÉOTECHNIQUE - PNEUSOL®</u>
<u>CIMENTERIES</u>	Casablanca	EUREC ENVIRONNEMENT
CALCIA	VICAT	69780 Saint-Pierre de Chandieu
30300 Beaucaire	38390 Montalieu-Vercieu	SMC (SOCIÉTÉ DES MATÉRIAUX CAENNAIS)
CIMENTS DE L'ATLAS	03150 Créchy	14550 Blainville-Sur-Orne
Beni Hellal, Maroc	<u>GRANULATEURS</u>	ADS
CIMENTS DU MAROC	DELTA GOM	59760 Grande Synthe
Casablanca, Maroc	60400 Noyon	
HOLCIM MAROC	ESTATO UMWELTSERVICE GMBH	
Fes	Weiden, Allemagne	
Oujda	GMN MAIALS	
Rabat	Lleida, Espagne	
Settat		

Figure 3-9: les bénéficiaires de la valorisation énergétique des PUNR par Aliapur

3.5 VALORISATION DES PNEUS USÉS DANS NOTRE PAYS

3.5.1 Etat de lieu de déchet pneumatique en Algérie

Le développement de l'Algérie a conduit à des nouveaux modes de consommation de ses habitants générant des quantités importantes de déchets. Ce potentiel de déchets est souvent géré d'une manière improductive malgré de nombreux programmes mis en place. En effet, en l'absence d'une stratégie de collecte et de valorisation adéquate, les communes algériennes sont confrontées aux difficultés de gestion des déchets urbains (DU) avec des problèmes environnementaux non maîtrisés. C'est ainsi que des problèmes d'hygiène et de salubrité publique (odeurs nauséabondes, problèmes respiratoires, allergies, etc.) sont apparus avec des conséquences sur la santé de la population (55).

Tous ces problèmes de l'environnement ont, malheureusement, des impacts négatifs directs ou indirects sur l'efficacité économique et sociale, et sur la productivité et la durabilité du patrimoine naturel, par conséquence, sur le développement durable du pays (56).

Les pneumatiques usagés représentent un déchet encombrant, polluant et non biodégradable. Les opérations de stockage et de collecte de ce type de déchet sont difficiles à cause de leur volume important qui rend le stockage difficile et le transport onéreux. En plus de ça la quantité de pneus usagers est en augmentation constante. Elle a été évaluée en 2009 à plus de 1 million d'unités par an qui égale environ 26000 T/an et un stock d'environ 130 000 Tonnes (57). En 18 juin 2020, l'AND a déclaré que le taux des pneus usagés a élevé à 318077,29 T/an au moment où la quantité valorisée est 5606 T/an malgré que la capacité de traitement par les déferents acteurs soit 18200 T/an (57).

3.5.1.1 Évolution quantitative des pneus usagés à l'échelle nationale

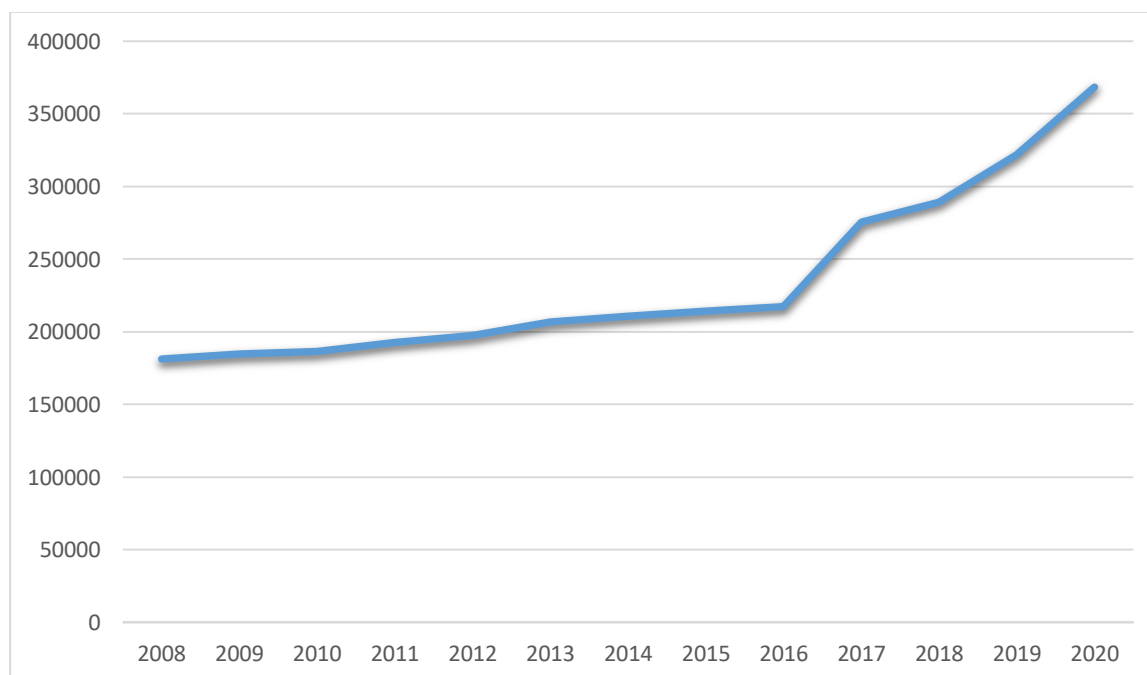


Figure 3-10: l'évolution de la quantité de déchets pneumatiques en Algérie entre 2008 et 2020 (58)

3.5.1.2 Répartition spatiale de la quantité des pneus usagés sur le territoire algérien (2018)

Alger, Tizi Ouzou, Annaba et Ouargla représentent les wilayas où l'équipe responsable de collecte des données concernant les pneus usagés de l'agence nationale de déchets a marqué des densités majeures de ce type de déchets. Au temps que les autres wilayas marquent une densité inférieure à 100000 T (58).

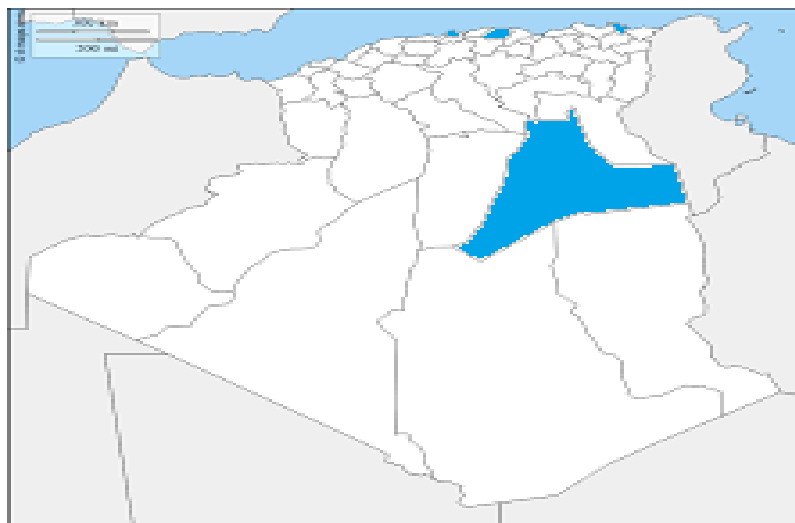


Figure 3-11: les wilayas avec le taux le plus élevé des PUs

3.5.2 Cadre juridique et institutionnel

Selon le décret exécutif N°6 - 104 du 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets (vérifier l'annexe), les pneus hors d'usages sont classés comme des déchets spéciaux (classe S) sous le code 16.1.1) sans aucun critère de dangerosité (59).

3.5.2.1 Cadre législatif

- 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.

3.5.2.2 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), le Conservatoire Nationale des Formations en Environnement (CNFE) et les Directions de l'environnement de Wilayas qui sont au nombre de 48 ;
- Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Locales (MICL) par l'appui financier en direction des municipalités ;
- Ministère de l'industrie et des investissements ;
- Ministère du commerce.

3.5.3 Stratégies et planification

Les décideurs aiment de mettre en place une industrie de récupération et de valorisation des déchets à travers le développement de plusieurs filières. Les pneus usagers trouvent pleinement leur place dans la filière de valorisation, soit dans le renforcement des sols ou comme source d'énergie notamment dans l'industrie cimentière. Ce type de déchets est au cœur même du Programme national de gestion des déchets municipaux (*PROGDEM*)⁸.

3.5.4 Mode de gestion actuel

Les étapes de la collecte et le transport des pneus usagers trouvent plein des difficultés sur le terrain à cause de leur volume encombrant. Néanmoins, Le secteur privé est le seul acteur actif dans le domaine de la récupération des pneus usagés, plusieurs petites entreprises (qui fonctionnent de façon formelle et informelle) sont en train de se mettre en place pour prendre en charge cette catégorie de rebut. Les pneus usagers sont d'abord stocker avant de les acheminer vers les lieux de traitement. Le cheminement des pneus usagés est organisé comme suit :

- Le rechapage : c'est la première solution de recyclage. Après le démontage des pneus usagés, ils sont les rechapés permettant d'allonger considérablement la vie du pneu. Michelin Algérie est la seule unité de rechapage inscrite au registre de commerce. Cette unité ne recape que les pneus homologués par Michelin et avait pour objectif d'atteindre 100 pneus rechapés/ jour (Quotidien El Watan).
- Les projets de valorisation énergétique buttent sur des contraintes réglementaires. Les pneus usagés sont considérés comme des « déchets », et non des « combustibles », et à ce titre, soumis à une réglementation contraignante notamment en terme d'émissions dans l'air. En Algérie, le problème reste posé puisque la réglementation n'est pas encore claire sur la valorisation énergétique. En plus de ça, les cimenteries algériennes préfèrent utiliser du gaz naturel qui est nettement moins coûteux que les pneus usés déchiquetés.
- La valorisation sous forme de matières premières ou les pneumatiques usagés peuvent être broyés en poudrettes⁹ ou en granulés¹⁰ de caoutchouc. Ou bien, par transformation chimique, Le développement industriel de ces types de valorisation en Algérie est cependant freiné par le coût de mise en œuvre.
- La technique Pneusol en Algérie, cette technique est formée par l'association de pneus usagés non



Figure 3-12: chantier expérimental Pneusol à bou-smail

⁸ C'est un programme qui constitue le principal cadre de référence en termes de gestion et de valorisation des déchets ménagers. Deux types de filières ont été identifiés : «classiques» (plastiques, papiers, métaux, textiles, verres, bois et matières organiques) et «complexes» (pneus usagés, huiles usagées, piles et batteries et autres déchets d'équipements électriques et électroniques).

⁹ Il s'agit de particules de caoutchouc dont les dimensions sont inférieures à 2mm. Son coût d'obtention dépend de sa finesse, de son origine chimique et de l'absence ou non de corps étrangers

¹⁰ Il s'agit de particules de caoutchouc d'une taille supérieure à celle des poudrettes.

rechapables entiers, partiellement découpés, ou totalement découpés et de sols pulvérulents, cohérents ou déchets. Plus de 12 ouvrages Pneusol Anti Marston, sont réalisés en Algérie en 1986 à Bou-smail (60).

Quelques ouvrages Pneusol réalisés en Algérie sont cités dans le tableau suivant (61) :

Tableau 3-3: les Pneusol réalisés en Algérie

Types d'ouvrage	Lieu de réalisation	Nombre d'ouvrage
Répartiteur de contrainte	Ain Temouchent (1986)	12 Ouvrages
Ouvrage de soutènement	Mur de soutènement provisoire Métro d'Alger (2002)	1 Ouvrage
Stabilité de talus	Renforcement d'un talus Evitement de la ville de Bousmail Wilaya de Tipaza (2005)	1 Ouvrage
Protection contre les glissements	Wilaya de Bejaia (2006)	1 Ouvrage
Stabilité de talus	Modernisation de la RN 11-Wilaya de Mostaganem (2007)	1 Ouvrage
Digue de Protection	Pont de Bou Arfa - Wilaya de Blida (2008)	1 Ouvrage

3.6 RÉFLEXION POUR LA CRÉATION D'UNE ENTREPRISE DE TRAITEMENT DES PNEUS USÉS

Le marché des unités de recyclage des pneus est encore émergent en Algérie, Afrique et en Europe et présente un potentiel de développement important. La réglementation environnementale tend à se répandre à travers le monde, avec notamment des mesures concernant le réchauffement planétaire, le traitement et le recyclage des déchets, ou des restrictions concernant l'utilisation des ressources. Ces réglementations en matière d'environnement et de ressources génèrent également de nouveaux marchés et les entreprises qui s'adaptent bien à ces changements sont de plus en plus compétitives.

Concernant la situation concurrentielle, malgré l'augmentation continue du nombre d'installation pour le traitement et le recyclage des pneus usés en Europe. En Algérie il n'existe que 4 unités de recyclage de pneus et selon la ministre d'industrie ce marché est loin de saturation dans le présent temps, pour cela, la production sera commercialisée aussi bien sur le marché local dans en 1er temps.

3.6.1 Étude de la faisabilité technico-économique

Aujourd'hui, la recherche technologique concernant le traitement des pneus hors d'usage tend vers une standardisation des méthodes. Les technologies performantes permettant d'effectuer la transformation du pneu au moindre coût seront préconisées. Actuellement, d'études d'impacts environnementaux ont été réalisées au sujet des technologies employées lors du traitement des pneus hors d'usage. L'étude de faisabilité nos permette de vérifier la faisabilité technique et économique de notre projet et elle couvre les études suivantes :

- L'étude technique;
- L'étude financière.

3.6.1.1 Étude technique

Dans cette phase on identifie les processus de travaille, les moyens et les ressources nécessaire à la réalisation et survivre de notre projet.

3.6.1.1.1 Processus de recyclage

Les étapes de recyclage des pneus usés sont présentés comme de suit :

3.6.1.1.1.1 Collecte des pneus :

La collecte des pneus est la partie la plus délicate. En effet, la maîtrise de l'aspect logistique de la collecte est primordiale pour la compression des coûts de production. Parmi les candidats principaux au niveau de territoire Algérien on a:

- Société algérienne des travaux routiers ALTRO;
- Les représentants des marques internationales;
- Les grossistes;
- Les revendeurs;
- Les sociétés de transport;
- Les sociétés disposant d'important parc;

- Les décharges;
- Les vulcanisateurs.

3.6.1.1.1.2 Préparation des pneus :

Cette préparation consiste en un contrôle des corps étrangers contenus dans les pneus et leur éventuel lavage. Les pneus sont ensuite triés par type pour une utilisation équilibrée et rationnelle. Les pneus dont le diamètre extérieur dépasse 1400 mm sont découpés en deux parties. Les pneus dont le diamètre de la tringle dépasse 2 pouces sont dé-tringlés au préalable.

3.6.1.1.1.3 Fabrication de déchiquetas :

Cette phase permet :

- De réduire le volume des stocks;
- De séparer les éventuelles incrustations de matières étrangères contenues dans le pneu;
- D'assurer un meilleur débit au premier élément de la chaîne de poudrette (1er granulateur);
- Produit obtenu : déchiquetas de 15- 300 mm.

3.6.1.1.1.4 Première granulation

Cette phase est réalisée dans un broyeur qui permet :

- La fabrication de la poudre de gomme d'une granulométrie inférieure ou égale à 6mm.
- La séparation d'environ 98% des parties métalliques et textiles contenues dans le pneu.

3.6.1.1.1.5 Deuxième granulation

Cette phase est réalisée dans un deuxième broyeur qui permet :

- La fabrication de la poudre de gomme propre d'une granulométrie inférieure ou égale à 4 mm.
- La séparation du reste des parties métalliques et textiles encore retenues dans la poudre.

3.6.1.1.1.6 Tamisage et séparation densimétrique

Cette phase est très importante pour la séparation des fractions textiles encore contenues dans la poudre, elle est réalisée dans le Classifieur. Elle permet aussi la séparation de la poudre obtenue en plusieurs types en fonction de leur dimension à savoir :

- Poudrette < 1mm
- Poudre entre 1 et 1.5 mm
- Poudre entre 1.5 et 2 mm
- La préparation des produits obtenus pour la mise en sacs et commercialisation.
- L'éventuelle préparation pour la fabrication de la poudrette extra fine

3.6.1.1.1.7 Broyage fin :

Cette phase permet la fabrication d'une haute qualité de la poudrette utilisée dans quelques secteurs très exigeants. Elle consiste à broyer et filtrer davantage la poudre. Le produit fabriqué est composé de :

- Poudrette fine extra- propre d'une granulométrie située entre 0.5 et 1 mm.
- Poudrette fine extra- propre d'une granulométrie située entre 0.3 et 0.5 mm.

3.6.1.1.1.8 *Ensachage :*

Cette phase permet le remplissage des produits fabriqués dans des sacs de 25 à 1000 Kg.

3.6.1.1.2 Les ressources nécessaires

3.6.1.1.3 Besoins en équipement:

Le besoin en équipements est comme de suit :

Équipement	Quantité
Déchargeur vibreur convoyeur	1
Drum magnet for steel	1
Pneumatic material transport	4
Aspirateur type UP1500	1
JET AIR FILTER JM56/60-05	1
BAGGING SYSTEM FOR RUBBER GRANULATE	1
MILL SYSTEM 1,5T	1
MURE D'ISOLATION SONORE POUR LE RASPER	1
Inlet convoyeur	2
Super chopper (déchiqueteur)	1
Tumble back feeder	1
Heavy rasper type HR122T	1
Over band magnet type DM1450	2
Screw convoyeur	1
Silo type V4	1
Fine granulator type FG952	1
Classifier type PC10T	1
Service Platform	3

3.6.1.1.4 Besoin en terrain

Par contre le besoin en terrain est le suivant :

Terrain & bâtiment	
Superficie	3000 m ²
Bâtiment et aménagement	1000 m ²

3.6.1.2 *L'étude financière*

Dans cette partie et due à l'absence des valeurs exactes relatifs au : cout d'achat de terrain (dépond au résultat de choix de site d'implantation de l'entreprise), cout de construction, d'agencement et d'aménagement, et le cout d'acquisition des machines. Due à cette contrainte nous avons adapté la méthode de Benchmarking pour estimer le montant de l'investissement.

Les entreprises utilisées pour cette méthode sont des sociétés au niveau de territoire Algérien (les fiches de projet de ces entreprises dans l'annexe).

A partir le Benchmarking nous avons obtenu un montant d'investissement à propos de 80.000.000 DA

3.7 CONCLUSION

Les Pneus Usagés Non Réutilisables (PUNR) constituent une matière exploitable dans des applications diverses. L'utilisation des PUNR, entiers ou déchiquetés, comme combustible de substitution en cimenteries et en aciérie est l'un des profils les plus envisageables pour la valorisation des pneus usagés en Algérie. Mais comme nous avons mentionné au-dessus ça contracte avec le règlement Algérien et demande de chercher d'investir dans d'autres applications annexes qui peuvent être envisagées à savoir (Valorisation de la fibre de textile et le fil métallique ; Recyclage par le rechapage des pneus pour poids lourd ; Valorisation du caoutchouc sous ses différentes formes).

Pour cela, la dernière section de ce chapitre est concernée par une réflexion pour la création d'une unité de recyclage des PUNR ou nous avons entamé le côté technico-économique de cette étude en précisant toutes les opérations et les procédés de recyclage des PUNR, depuis la réception des PU jusqu'à l'obtention de la matière finale soit en poudre ou granulats.

Chapitre 4 :
Problème de localisation de
l'unité de valorisation des
PUNR

4 PROBLEME DE LOCALISATION DE L'UNITÉ DE VALORISATION DES PUNR

4.1 INTRODUCTION

Dans chaque processus de création d'entreprise, on a amené à répondre aux trois principales questions (Quoi ?, Comment ? et Où ?). La mondialisation, l'évolution rapide des technologies, les exigences légales... ont poussé les entrepreneurs à devenir plus réalistes. Il ne s'agit plus d'avoir simplement une bonne idée et les fonds nécessaires pour la mettre en pratique mais plutôt de savoir la "planter" dans un environnement fertile, où l'entreprise aura plus de chance de grandir et d'évoluer. C'est pour ça la localisation d'une entreprise devient une des préoccupations majeures des entrepreneurs afin de trouver le meilleur emplacement possible pour leur entreprise.

Motivés par l'évolution des réglementations en matière d'écologie et par des contraintes purement économiques, la quantité considérable de déchet pneumatique et spécifiquement les pneus, et les estimations ambitieuses concernant le marché de la valorisation des pneus usagés non réutilisables. Dans ce chapitre nous allons présenter le bœuf de notre travail. Ou notre objectif consiste l'application des outils d'aide à la décision basé sur les MCDM plus précisément la méthode VIKOR floue afin de localiser une usine de transformation des pneus à des poudrettes et granulats toute en respectant de déférentes contraintes économiques et environnementales.

4.2 MCDM

La prise de décision à critères multiples (MCDM)¹¹ ou l'analyse de décision à critères multiples (MCDA)¹² est une sous-discipline de la recherche opérationnelle qui évalue explicitement plusieurs critères contradictoires dans la prise de décision. Des critères contradictoires sont typiques dans l'évaluation des options: le coût ou le prix est généralement l'un des principaux critères, et une certaine mesure de la qualité est généralement un autre critère en conflit avec les dépenses.

Dans la gestion de portefeuille, les gestionnaires souhaitent obtenir des rendements élevés tout en réduisant les risques; cependant, les actions susceptibles de générer des rendements élevés comportent généralement un risque élevé de perdre de l'argent. Dans le secteur des services, la satisfaction du client et le coût de la prestation distribué représentent des critères contradictoires fondamentaux.

Une bonne structuration des problèmes complexes et la prise en compte de plusieurs critères conduisent explicitement à des décisions plus éclairées et meilleures. Des progrès importants ont été accomplis dans ce domaine depuis le début de la discipline décisionnelle moderne à critères multiples au début des années 1960.

¹¹ Multiple-criteria decision-making

¹² multiple-criteria decision analysis

4.2.1 Définition

Les MCDMs s'occupent de structurer et de résoudre des problèmes de décision et de planification impliquant plusieurs critères. Généralement, il n'existe pas une seule solution optimale pour de tels problèmes et il est nécessaire d'utiliser les préférences du décideur pour différencier les diverses solutions. Il n'y a plus de solution optimale unique à un problème MCDM qui peut être obtenue sans incorporer des informations de préférence. Le concept de solution optimale est souvent remplacé par l'ensemble des solutions non dominées (62).

Une solution non dominée à la propriété qu'il n'est pas possible de s'en éloigner vers une autre solution sans sacrifier au moins un critère. Par conséquent, c'est de la logique que le décideur choisisse une solution parmi l'ensemble des choix non dominé. Normalement, il faut «arbitrer» certains critères pour d'autres (63).

Le MCDM est un domaine de recherche actif depuis les années 1970. Il existe plusieurs organisations liées au MCDM, notamment la Société internationale sur la prise de décision multicritères, Groupe de travail européen sur le MCDA, et la Section INFORMES sur le MCDM (64).

4.2.2 Typologie

Il existe différentes classifications des problèmes et méthodes MCDM. Une différence majeure entre les problèmes MCDM est basée sur le fait que les solutions sont définies de façon explicite ou implicite. Les méthodes de résolution des problèmes MCDM sont généralement classées en fonction du moment des informations de préférence obtenues du DM.

Les méthodes basées sur l'estimation d'une fonction de valeur ou utilisant le concept de «relations de sur classement», AHP et certaines méthodes basées sur des règles de décision tentent de résoudre des problèmes d'évaluation à critères multiples en utilisant l'articulation préalable des préférences (64).

4.2.3 Génération d'une solution non dominée

Il existe plusieurs façons de générer des solutions non dominées. Parmi eux on entame les deux suivantes : La première approche peut générer une classe spéciale de solutions non dominées (*Weighted sums*) tandis que la seconde approche peut générer n'importe quelle solution non dominée (*Achievement scalarizing function*) (64).

4.2.4 Résolution des problèmes MCDM

Différentes écoles de pensée apparus pour résoudre les problèmes relatives au MCDM. Parmi ces écoles on cite (63) :

- École de programmation mathématique à objectifs multiples.
- École de Programmation par objectif.
- Théoriciens des ensembles flous.
- Théoriciens de l'utilité multi-attributs.
- L'école française.
- École d'optimisation évolutive multiobjective (EMO).
- Processus de hiérarchie analytique (AHP).

4.2.5 Etat de l'art des MCDM les plus utilisables

Méthode	Application	avantages	Inconvénients
WSM¹³ (Lisburn, 1967) (65)	1. Optimisation structurelle. 2. Planification énergétique	1. Calcul simple. 2. Convient au problème d'une seule dimension	1. Seule une estimation de base de sa fonction de penchant 2. Ne parvient pas à intégrer plusieurs préférences
WPM¹⁴ (Bridgman, 1922) (66)	1. Division du travail dans un processus basé sur divers éléments. 2. Stratégies d'enchères	1. Étiqueté pour résoudre des problèmes de décision impliquant des critères de même type. 2. Utilise des valeurs relatives et élimine ainsi le problème d'homogénéité	Conduit à des résultats indésirables car il priorise ou non l'alternative qui est loin d'être moyenne...
AHP¹⁵ (Saaty, 1970) (67)	1. Gestion des ressources 2. Politique et stratégie d'entreprise 3. Politique publique 4. Planification énergétique 5. Ingénierie de la logistique et des transports	1. Adaptable 2. N'implique pas de mathématiques complexes 3. Sur la base d'une structure hiérarchique, chaque critère peut donc être mieux ciblé et transparent	1. L'interdépendance entre les objectifs et les alternatives conduit à des résultats dangereux. 2. L'implication d'un plus grand nombre de décideurs peut compliquer le problème lors de l'attribution des pondérations. 3. Exige des données collectées sur la base de l'expérience
ELECTRE¹⁶ (Benayoun et al, 1966) (68)	1. Gestion de l'énergie 2. Gestion financière 3. Gestion commerciale 4. Technologies de l'information et communication	1. Traite à la fois des caractéristiques quantitatives et qualitatives des critères. 2. Les résultats finaux sont validés avec les raisons 3. Traite des échelles hétérogènes	1. Moins polyvalent 2. Exige une bonne compréhension de l'objectif, en particulier lorsqu'il s'agit de caractéristiques quantitatives.

¹³ Méthode de somme pondérée

¹⁴ Méthode du produit pondéré

¹⁵ Analytical hierarchy process

¹⁶ Élimination et choix traduisant la réalité

	5. Ingénierie de la logistique et des transports		
TOPSIS¹⁷ (Hwang and Yoon 1981) (69)	1. Logistique 2. Gestion des ressources en eau 3. Gestion de l'énergie 4. Génie chimique	1. Fonctionne avec un classement fondamental 2. Utilise pleinement les informations attribuées 3. Les informations n'ont pas besoin d'être indépendantes.	1. Fonctionne essentiellement sur la base de la distance euclidienne et ne considère donc aucune différence entre les valeurs négatives et positives. 2. Les valeurs d'attribut doivent augmenter ou diminuer de manière monotone.
VIKOR¹⁸ (Opricovic, 1998) (70)	1. Génie mécanique 2. Ingénierie de fabrication 3. Politique énergétique 4. Gestion d'entreprise 5. Médecine et santé	1. Une version mise à jour de TOPSIS 2. Calcule le ratio de solution idéale positive et négative, supprimant ainsi l'impact	1. Difficulté en cas de situation conflictuelle. 2. Besoin de modifications tout en traitant des données laconiques car il devient difficile à modéliser un modèle en temps réel.

4.2.6 Etat de l'art de l'utilisation de la méthode VIKOR floue dans la résolution du problème de localisation

- “Site selection in waste management by the VIKOR method using linguistic assessment” par Liu HC, You JX, Fan XJ, Chen YZ en 2014.

Nous avons remarqué qu'il y a peu de travaux qui sont intéressés à appli VIKOR floue pour la résolution des problèmes de localisation. Donc le but de la section suivante du travail consiste à appliquer la méthode VIKOR floue pour la résolution de la problématique de la localisation de l'usine de valorisation des pneus usagés non réutilisables en Algérie

¹⁷ Technique de préférence de commande par similarité avec les solutions idéales

¹⁸ Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje

4.3 MÉTHODE VIKOR FLOUE

4.3.1 Définition

La méthode VIKOR « Vlse Kriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje » que veut dire optimisation multicritères et solution compromise en serbe. C'est une méthode de prise de décision multicritères qui a été développé à l'origine par Serafim Opricovic pour résoudre des problèmes de décision avec des critères contradictoires et non commensurables. VIKOR classe les alternatives et détermine la solution nommée compromis qui est la plus proche de l'idéal.

Fuzzy VIKOR ou bien VIKOR floue est pour objectif de résoudre des problèmes dans un environnement flou où les critères et les poids peuvent être des ensembles flous. Les nombres flous triangulaires sont utilisés pour gérer des quantités numériques imprécises (71) (72).

4.3.2 Étapes de résolution

Le problème de la prise de décision est l'opération de trouver la meilleure option parmi l'ensemble des alternatives disponibles.

1. **Identifier les alternatives** : A_1, A_i, \dots, A_m , m est le nombre des alternatives.
2. **Identifier les critères** : C_1, C_j, \dots, C_n , n est le nombre des critères.
3. **Identifier les décideurs** : D_1, D_2, \dots, D_k , k est le nombre des décideurs.
4. **Identifier la valeur d'importance pour chaque critère** : Chaque décideur a son propre point de vue et des préférences concernant les critères.

Very Low (VL)
Low (L)
Medium (M)
High (H)
Very High (VH)

5. **Faire une évaluation linguistique** : Les décideurs doivent évaluer chaque alternative selon les critères définis précédemment selon leurs mesures.

Very Poor (VP)
Poor (P)
Fair (F)
Good (G)
Very Good (VG)

- 6. Conversion des degrés d'importance des critères vers des nombres flous:** Les valeurs d'importance des critères doit être converties à des nombres significatifs pour

Very Low (VL)	(0, 0, 0.25)
Low (L)	(0, 0.25, 0.5)
Medium (M)	(0.25, 0.5, 0.75)
High (H)	(0.5, 0.75, 1)
Very High (VH)	(0.75, 1, 1)

chacune d'elles comme suit :

- 7. Conversion de l'évaluation linguistique en nombres fuzzy:** De la même façon que les valeurs d'importances, les valeurs de l'évaluation linguistique sont converties en nombres fuzzy comme suit :

Very Poor (VP)	(0, 0, 0.25)
Poor (P)	(0, 0.25, 0.5)
Fair (F)	(0.25, 0.5, 0.75)
Good (G)	(0.5, 0.75, 1)
Very Good (VG)	(0.75, 1, 1)

- 8. Construction de la matrice de décisions :** Pour chaque critère on a une évaluation par les décideurs donc on calcule la moyenne des poids donné pour chaque critère par eux, après on calcule la moyenne d'un seul critère pour tous les alternatives, respectivement des ordres des nombres flous.

- 9. Calcul des valeurs Crisp de la matrice de décision et le degré d'importance pour chaque critère :** Calculer le nouveau degré d'importance par le calcul de la moyenne des nombres fuzzy pour chaque élément dans la matrice.

- 10. Identifier les meilleures et les mauvaises valeurs pour tous les critères :**

Pour chaque alternative, on choisit la meilleure solution (la plus grande (f^*)) valeur et la mauvaise solution (la plus petite valeur (f^-)) à partir des valeurs de décision de matrice Crisp.

- 11. Calcul des valeurs de S, R et Q pour chaque alternative :**

Par les formules suivantes :

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-),$$

$$R_i = \max_{j=1, \dots, n} [w_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-)].$$

$$Q_i = \nu(S_i - S^*) / (S^- - S^*) + (1 - \nu)(R_i - R^*) / (R^- - R^*)$$

Avec :

S_i représente l'utilité pour chacune des alternatives;

W_j représente le degré d'importance de critère;

F_{ij} le degré d'importance;

F_j^* la valeur maximale de F_{ij} pour chacune des alternatives;

F_j^- la valeur minimale de F_{ij} pour chacune des alternatives;

R_i représente le regret pour chacune des alternatives;

S^* est l'utilité minimale pour chaque alternative;

S^- est l'utilité maximale pour chaque alternative;

V signifie « veto », en général $v=0.5$ si on veut être neutre, si on une décision par la majorité on met $v>0.5$.

12. Classement des alternatives par un ordre croissant des S , R et Q .

13. Vérification des conditions :

- Condition 1 (C1) :

$$Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) \geq 1/(m-1)$$

Où : $A^{(1)}$ et $A^{(2)}$ sont le premier et le deuxième alternative dans le classement respectivement.

- Condition 2 (C2) :

La première alternative dans le classement des Q est aussi le premier dans le classement selon S et R .

Remarque :

- Si la première condition n'est pas vérifiée, ici on ne peut pas avoir une solution compromise, dans ce cas-là on prend l'alternative avec le Q maximum comme une solution approximative.

- Si la deuxième condition n'est pas vérifiée, ici la première et la deuxième alternative dans me classement sont deux solutions compromises.

4.4 CRITÈRES DE CHOIX DE SITE

Il existe une multitude de facteurs ou critères susceptibles d'influencer sur la localisation des entreprises. Dans cette partie, on donne un aperçu des principaux facteurs intervenants dans le choix de localisation. Le terme facteur de localisation industrielle désigne tout phénomène susceptible d'influer d'une manière ou d'une autre sur le choix de la localisation d'une industrie. Parmi les critères cruciaux on site :

4.4.1 Disponibilités en terrains et en bâtiments

Comme une entreprise de recyclage, on recherche des terrains au prix peu élevé situés dans un environnement de qualité qui s'adapte avec les critères prédéterminés de site

d'implémentation. La disponibilité des bâtiments peut aussi être un facteur puissant de localisation à condition qu'ils sont en bon état et facilement réutilisables.

4.4.2 Disponibilité des matières premières

Comme une unité de valorisation des PUNR. La matière première représentée par les PU est immobile et localisées dans des endroits différents, la localisation de l'usine est donc influencée par les coûts de transports qui vont alors devenir un élément important pour déterminer l'implantation de l'activité de production. Les données relatives à la disponibilité de matière première est résumé dans la figure suivante :

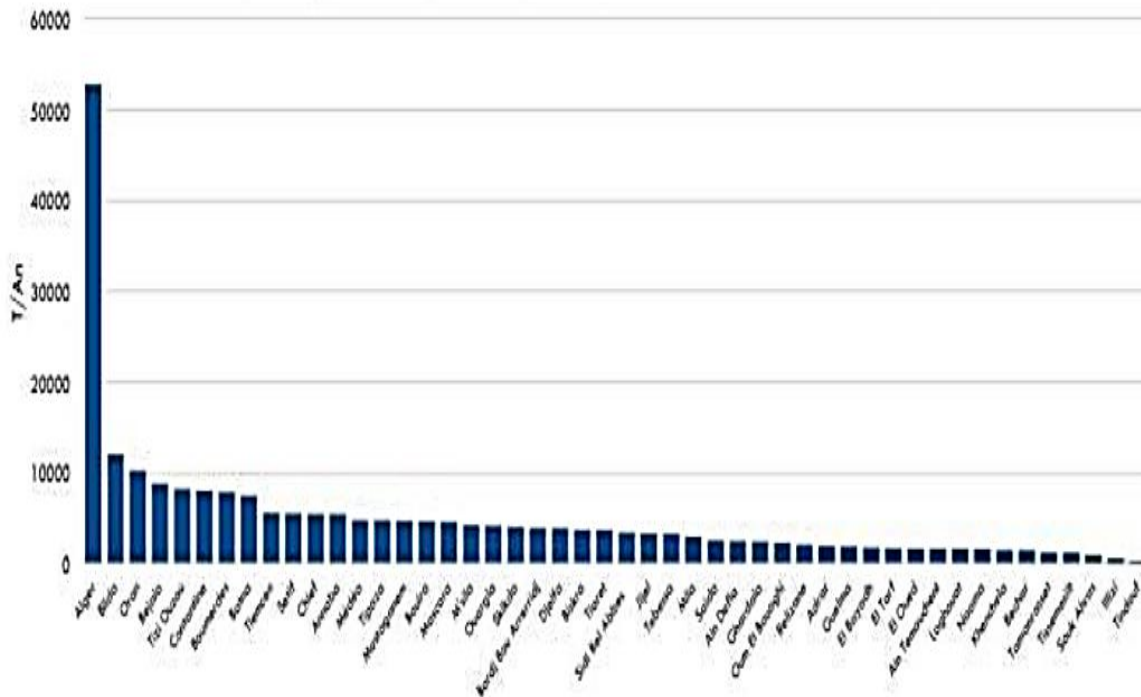


Figure 4-1: répartition spatiale de la quantité des PU sur le territoire national (2018) (73)

4.4.3 La proximité aux sources d'eau et l'énergie

La disponibilité et la fiabilité de l'énergie, du gaz, de l'eau, et les sous-traitants représentent un facteur intéressant dans l'industrie de valorisation des PUNR, car cette industrie nécessite des quantités importantes pour assurer sa continuité.

4.4.4 Possibilité d'extension de site

Cette industrie est considérée parmi les industries qui assistent une expansion constante et prospère relative au développement quantitatif du marché automobile. Donc la surface est très importante (la gestion des déchets et même pour les espace de stockage). Par conséquent,

dans ce critère on a pensé à long terme concernant la possibilité d'extension de site. Pour les alternatives sélectionnées la possibilité d'extension est présentée dans le tableau suivant :

	Wilaya	Superficie (km ²)	la possibilité d'extension
1	Alger	1190	1
2	Blida	1575	1
3	Oran	2121	2
4	Bejaïa	3268	1
5	Tizi Ouzou	2956	3
6	Constantine	2187	3
7	Boumerdès	1356	2
8	Batna	12192	6
9	Tlemcen	9061	4
10	Chlef	4795	6

4.4.5 Préoccupations et les contraintes de l'environnement

La sensibilisation croissante au problème de la sauvegarde de l'environnement ainsi que les mesures prises dans le cadre de la politique d'aménagement du territoire et de la protection de la nature (comme l'étude d'impact) contribuent à restreindre les possibilités de choix pour l'industrie de valorisation des PUNR.

4.4.6 Accessibilité et infrastructure

La qualité des infrastructures routières, ferroviaire, de transports en commun, d'un aéroport, congestion de la circulation des réseaux de transport, de communication, qui garante l'accès des moyennes de transports afin de faciliter notre travail dans la chaîne logistique liés à ce problème.

4.4.7 Concurrence

La localisation des activités dépend d'une manière importante aux conditions de concurrence, de la localisation des autres entreprises et du pouvoir de marché qu'une localisation peut conférer à une entreprise. Ainsi, les comportements des concurrents peuvent fortement influencer celui d'une entreprise donnée. Pour cela il faut prendre en considération les autres concurrents au niveau de territoire algérien présentés dans le tableau au-dessous :

Tableau 4-1: sociétés de valorisation des PUNR en Algérie

Entreprise	Situation géographique
Recyclage & Conception Algérienne, Sarl	Sidi bel abbés
Géant Central Services, Sarl, GGS	Hassi messaoud- Adrar
Société Algérienne Recyclage Millénium, Sarl, SARM	Hassi ben okba- Oran
Entreprise Nationale de Récupération, Spa, ENR	Hussein dey - Alger

4.5 APPLICATION SUR NOTRE PROBLÈME

✓ **Étape 1 : identifier les alternatives :**

La localisation de cette entreprise est désirée d'être dans un parmi les dix « 10 » wilayas avec la quantité des PUNR la plus élevée, alors les alternatives sont :

$W = \{W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10\}$.

	Wilaya
W1	Alger
W2	Blida
W3	Oran
W4	Bejaïa
W5	Tizi Ouzou
W6	Constantine
W7	Boumerdès
W8	Batna
W9	Tlemcen
W10	Chlef

✓ **Étape 2 : identifier les décideurs :**

La création de l'entreprise possède 3 personnes qui sont concernées par la prise de décision :

$D = \{D1, D2, D3\}$.

✓ **Étape 3 : identifier les critères :**

Les décideurs doivent effectuer le choix de fournisseur selon les critères suivants :

$C = \{C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7\}$.

C1	Les disponibilités en terrains et en bâtiments
C2	La disponibilité des matières premières
C3	La proximité aux sources d'eau et d'énergie
C4	La possibilité d'extension de site
C5	Les préoccupations et les contraintes de l'environnement
C6	L'accessibilité et l'infrastructure
C7	La concurrence

✓ **Étape 4 : définir les degrés d'importances des critères selon les décideurs :**

Décideurs			
critères	D1	D2	D3
C1	VH	VH	VH
C2	H	VH	VH
C3	H	H	M
C4	M	M	H
C5	VH	H	H
C6	H	VH	VH
C7	M	H	H

Dans cette étape nous avons affecté un poids pour chaque'un des critères de localisation. Le poids dépend au point de vu de chaque décideur. Cette valorisation permet d'ordonner les critères selon les préférences cherchés dans le site d'implantation de l'entreprise. Par exemple on remarque que le premier critère qui agit de la disponibilité de terrain est le facteur major pour la localisation en vue de les trois décideurs.

✓ **Étape 5 : faire une évaluation linguistique :**

Décideurs	wilaya	Critères						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
D1	W1	P	VG	F	VP	VP	F	VP
	W2	F	VG	F	VP	VP	G	VP
	W3	F	G	G	P	VP	VG	VP
	W4	F	VG	G	P	P	G	F
	W5	G	G	G	F	P	F	F
	W6	G	VG	F	G	P	VG	F
	W7	G	G	G	G	P	VG	P
	W8	VG	VG	VG	VG	G	VG	VG
	W9	VG	G	G	G	G	VG	F
	W10	VG	G	G	VG	G	F	F

D2	W1	VP	G	F	VP	VP	G	P
	W2	P	G	G	P	P	VG	P
	W3	G	G	G	G	P	G	P
	W4	P	G	F	P	P	F	VG
	W5	G	G	G	P	G	P	VG
	W6	VG	G	G	G	G	G	F
	W7	VG	VG	G	G	F	G	VG
	W8	VG	G	G	G	G	VG	F
	W9	G	G	G	VG	F	G	G
	W10	VG	VG	G	VG	G	G	G
D3	W1	P	VG	F	VP	VP	P	VP
	W2	G	G	F	VP	VP	P	P
	W3	G	G	G	G	VP	G	VP
	W4	G	G	F	F	VP	F	G
	W5	G	G	G	F	F	F	G
	W6	G	VG	G	F	F	G	G
	W7	G	G	G	G	F	G	F
	W8	VG	VG	VG	VG	G	VG	VG
	W9	G	G	G	G	F	G	F
	W10	VG	VG	G	VG	G	G	G

Cette étape vise à définir la corrélation entre les critères et les alternatives proposés selon le raisonnement de chacun des trois décideurs. Dont les décideurs prennent en considération les avantages offerts et les contraintes existantes dans chaque wilaya basant sur les données de l'agence nationale des déchets, les conditions géotechniques et l'état de marché de cette wilaya.

✓ **Étape 6 : conversion des degrés d'importance des critères vers des nombres fuzzy :**

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
D1	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)
D2	(0,75, 1, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)
D3	(0,75, 1, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)

Là, nous avons affecté des nombres flous triangulaires entre 0.25 et 1 pour gérer des quantités numériques imprécises qui expriment les valeurs linguistiques de poids donnés par les décideurs.

✓ **Étape 7 : conversion de l'évaluation linguistique en nombre fuzzy :**

W1							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
D1	(0, 0,25, 0,5)	(0,75, 1, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0, 0, 0,25)	(0, 0, 0,25)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0, 0, 0,25)
D2	(0, 0, 0,25)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0, 0, 0,25)	(0, 0, 0,25)	(0,5, 0,75, 1)	(0, 0,25, 0,5)
D3	(0, 0,25, 0,5)	(0,75, 1, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0, 0, 0,25)	(0, 0, 0,25)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0, 0,25)
W2							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
D1	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,75, 1, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0, 0, 0,25)	(0, 0, 0,25)	(0,5, 0,75, 1)	(0, 0, 0,25)
D2	(0, 0,25, 0,5)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0,75, 1, 1)	(0, 0,25, 0,5)
D3	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0, 0, 0,25)	(0, 0, 0,25)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)
W3							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
D1	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0, 0,25)	(0,75, 1, 1)	(0,0, 0,25
D2	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	((0,5, 0,75, 1)	(0, 0,25, 0,5)	(0,5, 0,75, 1)	(0, 0,25, 0,5)
D3	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0, 0, 0,25)	(0,5, 0,75, 1)	(0, 0, 0,25)
W4							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
D1	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)
D2	(0, 0,25, 0,5)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0, 0,25, 0,5)	(0, 0,25, 0,5)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,75, 1, 1)
D3	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0, 0, 0,25)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,5, 0,75, 1)
W5							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
D1	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0, 0,25, 0,5)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,25, 0,5, 0,75)
D2	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0, 0,25, 0,5)	(0,5, 0,75, 1)	(0, 0,25, 0,5)	(0,75, 1, 1)
D3	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,5, 0,75, 1)

W6							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
D1	(0,5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,5, 0,75, 1)	(0, 0,25, 0,5)	(0,75, 1, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)
D2	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)
D3	(0,5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)
W7							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
D1	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0, 0,25, 0,5)	(0,75, 1, 1)	(0, 0,25, 0,5)
D2	(0,75, 1, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)
D3	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)
W8							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
D1	(0,75, 1, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,75, 1, 1)
D2	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)
D3	(0,75, 1, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,75, 1, 1)
W9							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
D1	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0, 5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)
D2	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)	(0, 25, 0,5, 0,75)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)
D3	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,75)
W10							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
D1	(0,75, 1, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)
D2	(0,75, 1, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)
D3	(0,75, 1, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)

Dans cette phase, les valeurs de l'évaluation linguistiques de la corrélation entre les critères et les alternatives réalisée dans l'étape cinq (05) sont transformés à des valeurs numériques triangulaires entre 0 et 1 afin De les utilisé pour les calculs dans les étapes suivantes.

✓ **Étape 8 : construction de la matrice de décision :**

Afin de construire la matrice de décision nous avons calculé les moyennes de chaqu'un des valeurs numériques triangulaires par rapport aux décideurs pour les sept (07) critères posés le tableau au-dessous présent la matrice obtenue

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
W1	(0, 0,17, 0,42)	(0,67, 0,92, 1)	0,25, 0,5, 0,75)	(0, 0, 0,25)	(0, 0, 0,25)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0, 0,08, 0,33)
W2	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,58, 0,83, 1)	(0,33, 0,58, 0,83)	(0, 0,08, 0,33)	(0, 0,08, 0,33)	(0,42, 0,67, 0,83)	(0, 0,17, 0,42)
W3	(0,42, 0,67, 0,92)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,33, 0,58, 0,83)	(0, 0,08, 0,33)	(0,58, 0,83, 1)	(0, 0,08, 0,33)
W4	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,58, 0,83, 1)	(0,33, 0,58, 0,83)	(0,08, 0,33, 0,58)	(0, 0,17, 0,42)	(0,33, 0,58, 0,83)	(0,5, 0,75, 0,92)
W5	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,17, 0,42, 0,67)	0,25, 0,5, 0,75)	(0,16, 0,42, 0,67)	(0,5, 0,75, 0,92)
W6	(0,58, 0,67, 1)	(0,67, 0,92, 1)	(0,42, 0,67, 0,92)	(0,42, 0,67, 0,92)	(0,25, 0,5, 0,75)	(0,58, 0,83, 1)	(0,33, 0,58, 0,83)
W7	(0,58, 0,83, 1)	(0,58, 0,83, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,17, 0,42, 0,67)	(0,58, 0,83 ,1)	(0,33, 0,58, 0,75)
W8	(0,75, 1, 1)	(0,67, 0,92, 1)	(0,67, 0,92, 1)	(0,67, 0,92 ,1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,58, 0,83, 0,92)
W9	(0,58, 0,83, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	((0,58, 0,83, 1)	(0,33, 0,58, 0,83)	(0,58, 0,83, 1)	(0,33, 0,58, 0,83)
W10	(0,75, 1, 1)	(0,67, 0,92, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,75, 1, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,42, 0,67, 0,92)	(0,42, 0,67, 0,92)

- ✓ **Étape 9 : calcul des valeurs Crisp de la matrice de décision et le degré d'importance pour chaque critère :**

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
poinds	0.92	0.86	0.67	0.58	0.8	0.86	0.67
W1	0.2	0.86	0.5	0.08	0.08	0.5	0.14
W2	0.5	0.8	0.58	0.14	0.14	0.64	0.2
W3	0.67	0.75	0.75	0.58	0.14	0.8	0.14
W4	0.5	0.8	0.58	0.33	0.2	0.58	0.72
W5	0.75	0.75	0.75	0.42	0.5	0.42	0.72
W6	0.75	0.86	0.67	0.67	0.5	0.8	0.58
W7	0.8	0.8	0.75	0.75	0.42	0.8	0.55
W8	0.92	0.86	0.86	0.86	0.75	0.92	0.78
W9	0.8	0.75	0.75	0.8	0.58	0.8	0.58
W10	0.92	0.86	0.75	0.92	0.75	0.67	0.67

Le tableau au-dessus représente les valeurs Crisp de la matrice de décision de l'étape (08) et le degré d'importance de chaque critère en valeurs numérique. La valeur Crisp est obtenue à partir de calcul de la moyenne de valeurs triangulaires de la matrice de décision.

- ✓ **Étape 10 : identifier les meilleures et les mauvaises valeurs pour tous les critères :**

f*j	0.92	0.86	0.86	0.92	0.75	0.92	0.78
f-j	0.2	0.75	0.5	0.08	0.08	0.42	0.14

Les valeurs f^*_j représentent les meilleures valeurs des critères par rapport aux alternatives proposées (les 10 wilayas). Au temps que les valeurs f_j représentent les mauvaises. On remarque que la majorité des f^*_j appartient à l'alternative 8 (wilaya de BATNA) et les f_j appartiennent à l'alternative 1 (wilaya d'ALGER).

- ✓ **Étape 11 : calcul des valeurs de S, R et Q pour chaque fournisseur :**

(Les relations sont citées précédemment)

	S	R	Q
W1	4.3624	0.92	1
W2	3.88258582	0.72835821	0.835414
W3	3.22368678	0.86	0.83408778

W4	3.23857856	0.65671642	0.72012113
W5	2.8485025	0.86	0.79067343
W6	1.45773484	0.35361111	0.34155234
W7	1.78573852	0.46909091	0.44522741
W8	0.04142857	0.04142857	0
W9	1.91967277	0.86	0.68319416
W10	0.74987847	0.43	0.30311629

- Les S représente l'utilité pour chacune des alternatives;
- Les R représente le regret pour chacune des alternatives;
- Les Q représentent le ratio de solution idéale positive et négative.

Avec :

S*	0.04142857	R*	0.04142857
S-	4.3624	R-	0.92

- S* est l'utilité minimale pour chaque alternative;
- S- est l'utilité maximale pour chaque alternative;
- R est le regret minimal pour chaque alternative;
- R est le regret maximal pour chaque alternative.

✓ **Étape 12 : classement des fournisseurs par un ordre croissant des valeurs de S, R et Q :**

	S	R	Q
W1	10	10	10
W2	9	9	9
W3	7	8	8
W4	8	6	6

W5	6	7	7
W6	3	3	3
W7	4	4	4
W8	1	1	1
W9	5	5	5
W10	2	2	2

Ce tableau englobe le classement des alternatives (les 10 wilayas proposées pour implanter l'entreprise. On remarque que les cinq (05) premiers wilayas ont le même ordre par rapport à les valeurs S, R et Q et sont successivement comme suit : BATNA, CHLEF CONSTANTINE, BOUMERDÈS et TLEMCEN.

Maintenant il suffit de passer à la vérification des conditions de la méthode pour déterminer la solution obtenue.

✓ **Étape 13 : vérification des conditions :**

- **C1 :** $Q(W8) - Q(W10) \geq 1 / (m-1)$
 $0.30311629 > 0.111$

La condition **C1** est vérifiée.

- **C2 :** la wilaya W8 est la meilleure solution pour S et R.
 La condition **C2** est vérifiée.

Résultat :

Après la vérification des conditions de la méthode VIKOR floue on conclue que la méthode VIKOR a sélectionné la wilaya de BATNA comme la meilleure wilaya pour localiser cette entreprise. Cette résultat représente la solution compromis et elle vise logique par rapport aux critères de choix adaptés par les décideurs.

BATNA représente une surface considérable par rapport au réseau démographique ce qui offre une grande probabilité de trouver un terrain de bon prix et avec une possibilité d'extension de site toute en respectant les préoccupations environnementales

En plus, la disponibilité de la matière première ne va être pas un problème du tout dû à l'absence des concurrences de la région centre et la région Est et la disponibilité de l'infrastructure par le réseau de transport routière et ferroviaire.

4.6 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons passé à une étape primordiale dans la réflexion de création de cette entreprise présentée par l'étude de localisation de l'unité de valorisation des PUNR ou nous avons utilisé les MCDM (fuzzy VIKOR) pour extraire la solution optimale.

Conclusion générale et perspectives

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Aujourd'hui, nombreuses possibilités de transformation ou d'élimination offerte par les pneus usagé non réutilisable on fait un matériau à fort potentiel (la résistance de sa structure, sa souplesse, ou son pouvoir calorifique). Aussi que le critère économique nous oblige à nous orienter vers l'utilisation d'un déchet particulièrement abondant, qu'est le pneumatique usagé, qui cause actuellement des problèmes d'environnement (Stockage et Protection de la couche d'ozone).

Ce travail commence par une récapitulation sur les déchets puis, passé aux déchets pneumatiques son état de marché et ses impacts environnementaux. Ensuite, on a entamé les PUNR et les déférents modes de gestion et de valorisation actuelles autour du monde et en Algérie. Le nombre de véhicules en Algérie connaît une augmentation considérable suit logiquement par une augmentation des pneus usés. C'est dans ce contexte, on a pensé à ce projet de transformation des pneus usagés non réutilisables en granulats et poudrette en profitant cette opportunité et l'absence des concurrents directs dans la valorisation matière au niveau de territoire algérien.

Au premier temps, nous avons fait une étude de faisabilité technico-économique qui a été interprétée par une description et une proposition détaillée pour un processus de la valorisation en granulats et poudrette afin d'évaluer notre capacité de réaliser cette unité. Puis, nous avons réfléchi concernant la localisation de cette entreprise, ce facteur qui va jouer un rôle primordiale à long terme pour la continuité de projet.

Les résultats obtenus sont très prometteur dans le domaine de la valorisation des déchets en Algérie pour les PUNR, 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, plus qu'elle 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.

L'originalité de ce travail est principalement liée à l'étape de localisation de l'entreprise ou nous avons utilisé une des outils les plus fiables (les MCDM) pour sélectionner le meilleur emplacement de terrain dans ce contexte, nous avons l'opportunité d'utiliser des données réalistes et de l'actualité qui donne cette étude une crédibilité et précision dans les résultats.

Parmi les perspectives soulignées pour ce travail on propose de passer à la configuration de l'implémentation des ressources parce que là nous étions intéressés à la localisation mais nous avons négligé la planification et pourquoi pas l'optimisation de processus de traitement des pneus usagés.

Conclusion générale et perspectives

En outre, dans cette étude nous avons appliqué la méthode VIKOR floue pour sélectionner le meilleur endroit de localisation de l'unité de recyclage des pneus usagés mais en réalité il y a plusieurs méthodes parmi les MCDM qui restent valables pour fournir des solutions optimales à notre problème afin d'assurer les résultats obtenus dans cette étude.

RÉFÉRENCES

1. Romande, GESTION DES DECHETS - CUSSTR : Commission Universitaire de Sécurité et Santé au Travail. [En ligne]
2. DUNOD, GUIDE DU TRAITEMENT DES DÉCHETS - Réglementation et choix des procédés - 7e édition -. [En ligne]
3. Robert, Dictionnaire le petit. [En ligne]
4. https://www.researchgate.net/publication/323705048_Le_centre_d'enfouissement_technique_Realisation_et_fonctionnement. [En ligne]
5. 2016, Les bases de traitement des déchets solides » - Polycopié de Cours - Dr. BENNAMA Tahar - Université des Sciences et de la Technologie d'Oran « Mohamed Boudiaf » Faculté de Chimie - Département de Génie Chimique - Janvier. [En ligne]
6. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/differentes-categories-dechets>. [En ligne]
7. https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/dechet_vert_dv.php4. [En ligne]
8. <http://www.vedura.fr/environnement/dechets/dechets-organiques>. [En ligne]
9. http://www.dgdr.cnrs.fr/SST/CNPS/guides/doc/dechets/p02_chap05.pdf. [En ligne]
10. <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-dechets-speciaux-7337/>. [En ligne]
11. Stravinskaite, Ausra et Gonzalez, Juan Pablo. Apprendre en ligne. Apprendre en ligne. [En ligne] 13 mai 2013. [Citation : 16 02 2020.] <https://owl-ge.ch/travaux-d-eleves/article/impact-de-la-production-des-dechets-sur-l-environnement>.
12. <https://owl-ge.ch/travaux-d-eleves/article/impact-de-la-production-des-dechets-sur-l-environnement>. [En ligne]
13. <https://www.memoireonline.com/09/10/3886/Dechets-menagers-impact-sur-la-sante-et-lenvironnement-en-commune-I-du-district-de>. [En ligne]
14. <https://www.ompe.org/les-consequences-de-la-pollution-de-lair/>. [En ligne]
15. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/gestion-des-dechets-42437210/traitement-biologique-des-dechets-g2060/>. [En ligne]
16. <https://www.ademe.fr/expertises/dechets/passer-a-l'action/valorisation-organique/methanisation>. [En ligne]
17. Michelin. L'essentiel du pneu. [En ligne]
<http://www.michelin.com/corporate/front/templates/affich.jsp?codeRubrique=20060413172341&lang=FR>.
18. COURS DE TECHNOLOGIE AUTOMOBILE. s.l. : groupe Ndiora service automobile.
19. Trouvez le bon pneu. paris : s.n.
20. Synthèse Pneumatiques - Données 2010. s.l. : ADEME, 2010.
21. Continental the futur in motion. [En ligne] [Citation : 2 04 2020.] <https://www.continental-pneus.fr/pneus>.
22. tiregom. [En ligne] [Citation :] <https://www.tiregom.fr/guide/>.
23. Uniroyal. [En ligne] [Citation : 17 05 2020.] <https://www.uniroyal.be/voiture>.
24. CASTAING Maximilien . BELLENGER (Max-Emilien. Le pneu écologique, Un polymère respectueux de l'environnement ? 2008.
25. J.P, Brothier. Entretien de votre auto. Etai : s.n., 2004.

26. R. Benoit, et al. Étude exploratoire sur les phénomènes d'éclatement et d'explosion de pneus de camions lourds . Montréal : Institut de Recherche en Santé et en Sécurité du Travail, 2006.
27. Michelin. Qu'est-ce qu'un pneu ?
28. Plastiques, élastomères et composites cours MEC3320. Montréal : École polytechnique de Montréal. Département de génie mécanique , 2002.
29. Musset, R. Le caoutchouc synthétique. s.l. : Annales de Géographie, 1956.
30. Styrène butadiène.
31. michelin. [En ligne] [Citation : 23 11 2019.] www.michelin.com .
32. Michelin. Fabrication d'un pneu: pas de compromis.
33. Fabricant mondial de pneumatiques.
34. Jeantet. [En ligne] <http://www.jeantet.com/caoutchouc-vulcanisation>.
35. Paolozzi S, Watternaux B. Le pneu de sa fabrication à son élimination . Douai : Ecole des Mines de Douai, 1998.
36. Directive 92/23/CEE du Conseil, du 31 mars 1992, relative aux pneumatiques des véhicules à moteur et de leurs remorques ainsi qu'à leur montage .
37. Directive européenne n° 2001-43 du 27 juin 2001 2001/43/CE du Parlement européen et du Conseil du 27 juin 2001 modifiant la directive 92/23/CEE du Conseil relative aux pneumatiques des véhicules à moteur et de leurs remorques ainsi qu'à leur montage.
38. planetoscope. [En ligne] [Citation : 13 04 2020.] <https://www.planetoscope.com/automobile/924-production-mondiale-de-pneus.html>.
39. Selon le classement annuel publié par le magazine américain TIRE BUSINESS.
40. Hilario, Paul Manuel Godoy. 2019.
41. « Guide du pneumatique - Fonctions des pneus – Hankook France ».
42. Huang, B., Li, G., Pang, S.S., Eggers, J. Investigation into waste tire rubber- filled concrete. Journal of Materials in Civil Engineering. s.l. : ASCE, 2004.
43. HENNEBERT, Pierre ; CHARASSE, Benoit ; BENARD, Anne ; LAMBERT, Stéphane. [En ligne] <http://www.set-revue.fr/impact-environnemental-des-pneumatiques-dechiquetes-utilises-pour-la-construction-douvrages-en>.
44. A. Wik, G. Dave. Occurrence and effects of tire wear particles in the environment – A critical review and an initial risk assessment . Sweden. : Department of Plant and Environment Sciences, University of Gothenburg, 2009.
45. [En ligne] <http://www.set-revue.fr/impact-environnemental-des-pneumatiques-dechiquetes-utilises-pour-la-construction-douvrages-en#>.
46. Pneus usagés : des risques pour la santé et l'environnement. vendredi 22 fév 2008. « Renault et Suez innovent dans le recyclage des voitures en fin de vie | Accueil | L'environnement et le tri : sujet important des élections municipales selon un sondage réalisé pour Eco-Emballages ».
47. Article R.543-138 du Code de l'environnement.
48. ADEME domaine d'intervention Déchet a chaque déchet des solutions. s.l. : ADEME.
49. La gomme est mise pour le recyclage des pneus usagés.
50. Habib Trouzinea , Aissa Asrouna , Nasser Asrouna , Farid Belabelouhab , Nguyen Thanh Long. Problématique des pneumatiques usagés en Algérie.
51. Aliapur. [En ligne] <http://www.aliapur.fr>.
52. [En ligne] www.aliapur.fr.
53. IDIR, Abdelhalim AIT. VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DES PNEUMATIQUES USAGÉS NON RÉUTILISABLES . 2017.
54. Rapport D'activité 2015. s.l. : Rédaction de Communication Aliapur, 2016.

55. MYRIAM NOUREDDINE, ABDELKADER BENZOHRRA. Insertion des critères environnementaux dans le traitement des déchets urbains. Oran : Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf d'Oran (USTO-MB).
56. OMAR, REDJAL. VERS UN DEVELOPPEMENT URBAIN DURABLE... Phénomène de prolifération des déchets urbains et stratégie de préservation de l'écosystème- Exemple de Constantine .
57. Rapport sur la gestion des déchets solides en Algérie. s.l. : Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH et Agence Nationale de Gestion des Déchets (ANGed), 2014.
58. fiche signalitique : pneus usagés . s.l. : agence nationale des déchets AND, 2020.
59. JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 13. 5 mars 2006.
60. Long, N.T. Le Pneusol : recherches -réalisation –perspective. l'INSA Lyon : s.n., 1993.
61. Le Pneusol en Algérie : recherche, réalisations d'ouvrages et protection de l'environnement. F. Belabdelouhab, H. Trouzine. Tunisie : s.n., 2009. IVth International Congress on Renewable Energy and the Environment.
62. "Multiple Criteria Decision Making – International Society on MCDM". 3 October 2017.
63. Wiki, psychology, [prod.]. Multi-criteria decision analysis.
64. Multiple Criteria Decision Making: From Early History to the 21st Century. Köksalan, M., Wallenius, J., and Zions, S. 2011. Singapore: World Scientific.
65. Marler RT, Arora JS. . The weighted sum method for multi-objective optimization: new insights. Struct Multidiscip Optim . 2010.
66. Chang YH, Yeh CH. Evaluating airline competitiveness using multiattribute decision making. 2001.
67. Shahroodi K, Keramatpanah A, Amini S, Sayyad Haghghi K. Application of analytical hierarchy process (ahp) technique to evaluate and selecting suppliers in an effective supply chain. 2012.
68. Leyva-Lopez JC, Fernandez-Gonzalez E. A new method for group decision support based on ELECTRE III methodology. 2003.
69. Shih H-S, Shyur H-J, Lee ES. An extension of TOPSIS for group decision making. 2007.
70. Liao H, Xu Z, Zeng XJ. Hesitant fuzzy linguistic VIKOR method and its application in qualitative multiple criteria decision making. IEEE Trans Fuzzy Syst. 2015.
71. Gul M, Celik E, Aydin N, Gumus AT, Guneri AF. A state of the art literature review of VIKOR and its fuzzy extensions on applications. 2016.
72. Ilankumaran M, Sasirekha V, Anojkumar L, Boopathi Raja M. Machine tool selection using AHP and VIKOR methodologies under fuzzy environment. 2012.
73. fiche signalitique: dechets des pneus usagés en Algérie. s.l. : agence nationale de déchets, 2020.

Résumé

Motivés par l'évolution des réglementations en matière d'écologie et par des contraintes purement économiques relatives à la gestion des produits en fin de vie. La quantité considérable de déchet pneumatique et spécifiquement les pneus, et les estimations ambitieuses concernant le marché de la valorisation des pneus usagés non réutilisables. 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.

Dans ce travail, nous avons abordé le problème de la valorisation des pneus usagés non réutilisables dans le monde et au niveau de l'Algérie dont l'objectif est d'instaurer une stratégie de gestion appropriée de ces déchets passant par les différentes étapes de valorisation prenant en considération les différents facteurs et contraintes. En traitant la problématique de localisation de site de transformation des pneus usagés non réutilisables. Dont nous avons adapté les méthodes d'aide à la décision (MCDM) pour trouver le meilleur emplacement de site.

Cette étude a montré que la valorisation des déchets pneumatiques est pleine d'espoir en industrie sur la grande quantité des PUNR qui existe actuellement dans notre pays.

Mots Clés : déchets pneumatiques, pneus usagés, étude de faisabilité, recyclage, valorisation, problème de localisation, MCDM, VIKOR.

Abstract

Motivated by changes in regulations in terms of ecology and by purely economic constraints relating to the management of end-of-life products. The considerable amount of tire waste, and the ambitious estimates concerning the market for the recovery of non-reusable used tires. The fundamental idea of this study is to design a project that will be profitable for the investor and which can contribute to the country's development.

In this work, we tackled the problem of the recovery of non-reusable used tires in the world and at the level of Algeria, the objective of which is to establish an appropriate management strategy for this waste going through the different stages of recovery. Taking into consideration the challenges factors and constraints. By dealing with the problem of locating a processing site for non-reusable used tires. We have adapted Decision Support Methods (MCDM) to find the best site location.

This study has shown that the recovery of pneumatic waste is full of hope in industry on the large quantity of ELT that currently exists in our country.

Keywords: tire waste, used tires, feasibility study, recycling, recovery, location problem, MCDM, VIKOR.

خلاصة:

بدافع من التغييرات في اللوائح من حيث البيئة والقيود الاقتصادية البحثية المتعلقة بإدارة المنتجات منتهية الصلاحية. الكمية الكبيرة من نفايات الإطارات والتقديرات الطموحة المتعلقة بالسوق لاستعادة الإطارات المستعملة غير القابلة لإعادة الاستخدام. الفكرة الأساسية لهذه الدراسة هي تصميم مشروع يكون مربحاً للمستثمر ويمكن أن يساهم لتنمية البلاد.

في هذا العمل ، تناولنا مشكلة استعادة الإطارات المستعملة غير القابلة لإعادة الاستخدام في العالم وعلى مستوى الجزائر ، والهدف منها هو وضع استراتيجية إدارة مناسبة لهذه النفايات التي تمر بمراحل الاستعادة المختلفة. مع مراعاة عوامل

التحديات والمعوقات. من خلال التعامل مع مشكلة تحديد موقع معالجة الإطارات المستعملة غير القابلة لإعادة الاستخدام. لقد قمنا بتكييف طرق دعم القرار (MCDM) للعثور على أفضل موقع للموقع.

أظهرت هذه الدراسة أن استعادة النفايات الصناعية مجال قابل للتطوير وازدهار انطلاقاً من الكمية الكبيرة من الاطّاءات المستعملة غير قابلة للاستخدام الموجودة حالياً في بلدنا.

الكلمات المفتاحية: نفايات الإطارات ، الإطارات المستعملة ، دراسة الجدوى ، إعادة التدوير ، الاستعادة ، مشكلة الموقع ، VIKOR ، MCDM.