

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique

Département : Génie De l'Environnement

Mémoire de Master en génie de l'environnement

Valorisation des déchets en produit composite

Elaboré par : Lamia REBIAI

Sous la direction de : M^{me} N.BELHANECHÉ-BENSEMRA Professeur (ENP)

Présenté et soutenu publiquement le (18/06/2017)

Composition du jury:

Président	Mr R. KERBACHI	Professeur	ENP
Encadreur	M ^{me} N.BELHANECHÉ- BENSEMRA	Professeur	ENP
Examineurs	M ^{me} D. ATEK Mr H. BALOUL	MCA MAA	Boumerdes Boumerdes

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique

Département : Génie De l'Environnement

Mémoire de Master

Pour l'obtention du diplôme de Master

Valorisation des déchets en produit composite

Elaboré par : Lamia REBIAI

Sous la direction de : M^{me} N. BELHANECHÉ-BENSEMRA Professeur (ENP)

Présenté et soutenu publiquement le (18/06/2017)

Composition du jury:

Président	Mr R. KERBACHI	Professeur	ENP
Encadreur	M ^{me} N.BELHANECHÉ-BENSEMRA	Professeur	ENP
Examineurs	M ^{me} D. ATEK Mr H. BALOUL	MCA MAA	Boumerdes Boumerdes

ENP 2017

Dédicaces

*Un mémoire s'appréhende comme un cycle de vie d'un produit
A partir de l'extraction des matériaux,
En passant par des transformations successives,
Sa venue comme produit,
Jusqu'à son recyclage qui appelle de nouvelles fabrications.*

Je dédie ce modeste travail à ;

*Mon père, qui m'a toujours poussé à aller plus loin que mes limites, et
à franchir la porte de l'inconnu ;*

Ma mère, qui a tout fait pour que je ne manque jamais de rien ;

Mon frère, et mes sœurs, qui n'ont jamais arrêté de m'encourager ;

Mes tantes et oncles, qui ont toujours cru en moi.

Sans oublier bien sûr ;

Monsieur TAHMI, qui m'a toujours poussé à m'améliorer ;

*Kahina mon binôme clandestin, qui m'a fait aimer les matériaux
sous tous leurs aspects*

*Linda et Yasmine, pour avoir supporté mes crises, et m'avoir aidé du
mieux qu'elles pouvaient.*

Aïmen et Youcef, pour leurs supports et leurs motivations.

Et enfin,

*Dédicace spéciale à toute la classe de 5ème année génie de
l'environnement ;*

Remerciement

Tout au long de mon mémoire, j'ai eu la chance de côtoyer des personnes qui ont contribué de près ou de loin à son bon déroulement ;

Espérant n'oublier personne, je tiens à remercier

Madame N. BELHANACHE-BENSEMRA, Professeur à l'ENP qui m'a fait découvrir un tout autre aspect de ma spécialité, où mes connaissances étaient quasiment insignifiantes, Vous m'avez "présenté" les composites, et je les ai adoptés.

Que ces quelques mots puissent exprimer toute ma reconnaissance et mon respect.

Merci à Monsieur R. KERBACHI, qui me fait l'honneur d'accepter de juger ce travail.

Merci à monsieur H. BALOUL, enseignant à l'université de Boumerdes, et à madame D. ATEK, MCB à l'université de Boumerdes qui me font l'honneur de s'intéresser à ce travail et d'accepter de l'examiner.

Veillez trouver ici l'expression de ma reconnaissance la plus profonde.

Et Enfin,

Je remercie Madame J. ARRAR qui, Tout au long de notre cursus, nous a donné les moyens de travailler dans de bonnes conditions et de pousser nos limites toujours plus loin.

ملخص

متى يصبح الشيء نفاية، متى يتوقف عن كونه كذلك؟ تلك هي الإشكالية التي تواجهها البشرية خلال السنوات الأخيرة، لأننا لم نستطع تسيير نفاياتنا بطريقة منظمة.

ولمعالجة هذه المشكلة، اقترح حل استعادة النفايات لاستخدامها في إنتاج مواد مركبة. لزيادة مدة حياتها، وهذا بمنحهم فرصة ثانية للاستغلال.

من خلال هذا البحث، نعطي فكرة موضحة على مجموعة من خصائص الإنعكاسات النسبية لإستغلال وإنعاش النفايات في مادة معروفة باسم "مركب". وهذا بهدف خفض التأثير الاجتماعي والبيئي بواسطة إنعاشها، وهذا يركز على استعمال النفايات المستعادة كتعزيز لتصنيع المركبات، للتقليل من الطلب على المواد الخام.

ولدعم هذه الفكرة، تم سرد أمثلة من النفايات المعاد تدويرها المركبة في نهاية هذه المذكرة.

كلمات البحث: النفايات، مركب، والانتعاش، المادة

Abstract

When does an object become a waste, when does it cease to be? This is the problem facing humanity in these last years, because we are not capable of managing our waste.

To answer this problem, we suggest to increase their lifetimes by offering them a second chance with valorization.

Through this master, an illumination is given on all the reflections relating to the valorization of the waste materials in a composite in order to reduce their sociological and environmental impact with using waste as a reinforcement in the manufacture of composites in order to reduce the demand for raw materials. And to support this idea, examples of waste composites are listed at the end of this thesis.

Keywords: Waste, composite, valorization, material

Résumé

A quel moment un objet devient-il un déchet, à quel moment cesse-t-il de l'être ? C'est la problématique à laquelle est confrontée l'humanité ses dernières années, car on arrive plus à gérer nos déchets et pour répondre à ce problème, on a songé augmenter leurs durées de vie et cela en leur offrant une seconde chance par la valorisation.

Alors au travers de ce master, un éclairage est donné sur l'ensemble des réflexions relatives à la valorisation des déchets en un matériau connu sous le nom de Composite. Et cela dans le but de diminuer l'impact sociologique et environnementale des déchets à travers une valorisation matière qui consiste à utiliser les déchets comme renfort dans la fabrication des composites afin de diminuer la demande en matière premières.

Et pour appuyer cette idée, des exemples de déchets valorisés en composites sont cités à la fin de ce mémoire.

Mots clés : Déchet, composite, valorisation, matériau.

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction Générale	11
Chapitre 1 : Généralité sur les déchets	
Introduction.....	13
1.1 Définitions.....	14
1.2 Production Mondiale Des Déchets.....	15
1.3 Classification Des Déchets Selon La Législation Algérienne.....	15
1.4 La Composition Des Déchets.....	19
1.5 Cadre Législatif et Contexte Juridique En Algérie	20
1.6 Les Enjeux Scientifiques.....	21
1.7 Impacts De La Gestion Des Déchets Solides	21
1.7.1 Impacts Sociologiques.....	21
1.7.2 Pollution Chimique.....	21
1.7.3 Impacts Sanitaires.....	22
Chapitre 2 : Généralités sur les Composites	
Introduction.....	24
2.1 Définition Du Matériau Composite.....	25
2.2 Constituants Des Matériaux Composites	26
2.2.1 La Matrice	26
2.2.1.1 Classification Des Types De Matrice	26
2.2.2 Les Renforts	28
2.2.2.1 Différents Types De Renfort	28
2.2.2.2 Les Différentes Natures De Renfort.....	29
2.2.3 Les Charges	31
2.2.4 Les Additifs	31
2.2.5 L'Interface.....	32
2.2.5.1 Le Rôle Des Interfaces	32
2.3 La Mise En Œuvre Des Matériaux Composites.....	32
2.3.1 Moulage Au Contact	32
2.3.2 Moulage Par Projection Simultanée	33
2.3.3 Injection Thermodurcissable BMC: (Bulk Molding Compound)	33
2.3.4 Compression Thermodurcissable SMC: (Sheet Molding Compound).....	33

2.3.5	Enroulement Filamentaire (ou Bobinage)	33
2.4	Architecture Des Matériaux Composites.....	33
2.4.1	Monocouche	34
2.4.2	Stratifiés	34
2.4.3	Sandwichs.....	34
2.4.4	Composites Tissés	35
2.4.5	Structures Composites Tissées Multidirectionnelles	35
Chapitre 3 : La Valorisation Des Déchets		
3.1	La Valorisation, Pourquoi faire ?	37
3.2	Les Différents Modes De Valorisation.....	38
3.2.1	Valorisation Energétique	38
3.2.2	L'emploi Comme Matière De Substitution	40
3.2.3	La Récupération De Matière Première	42
3.4	Exemples De Déchets Valorisés En Produit Composite	43
3.4.1	Exemple 1 : Le Bois Composite	43
3.4.2	Exemple 2 :Elaboration de matériaux composites PVC/bois à partir de déchets de menuiserie.	46
3.4.3	Exemple 3 : Les Mâchefers d'Incineration des Ordures Ménagères (MIOM).....	50
Conclusion Générale		54
Références Bibliographiques		57

Liste des figures

Figure 1.1 : Photos de Déchets Ménagers et Assimilés	9
Figure 1.2 : Photos de déchets encombrants	9
Figure 1.3 : Photo de déchets spéciaux.....	9
Figure 1.4 : Photo de déchets spéciaux dangereux	10
Figure 1.5 : Photos de déchets d'activité de soin.....	10
Figure 1.6 : Photos de déchets inertes.....	10
Figure 1.7 : Composition des déchets.....	12
Figure 2.1 : Photos représentant quelques applications des matériaux composites : (a) un catamaran, (b) support de la charge utile d'Ariane 5, (c) skis de compétition	16
Figure 2.2 : Les principaux composants des matériaux composites.....	17
Figure 2.3 : Les différentes familles de matrice	18
Figure 2.4 : Différents types de fibres de verre	21
Figure 2.5 : Exemples de renforts en verre : (a) microbilles creuses, (b) fibres courtes, (c) fibres longues.....	22
Figure 2.6 : Constitution d'un stratifié.....	26
Figure 2.7 : Matériaux sandwichs à âmes pleines.....	27
Figure 2.8 : Structure d'un composite tissé : fibres (regroupées en fils) et matrice (intra et inter-fils)	27
Figure 3.1 : Modes de Valorisation des déchets	31
Figure 3.2 : Les composés du bois composite	36
Figure 3.3 : Exemple de résine de plastique (PVC vs PE/PP)	38
Figure 3.4 : Photos représentant les différents domaines d'utilisation du bois composite ...	39
Figure 3.5 : Menuiserie extérieure	39
Figure 3.6 : MIOM sortie du four	44
Figure 3.7 : Composition des mâchefers	44
Figure 3.8 : Utilisation des MIOM en technique routière.....	46

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Information général sur les déchets	11
Tableau 1.2 : Composition des déchets municipaux	11
Tableau 2.1 : Caractéristiques des matrices thermodurcissables et thermoplastiques	19
Tableau 3.1 : Comparaison des propriétés des polymères PVC, PE et PP.....	37
Tableau 3.2 : Avantages et inconvénients du bois composite sur le bois naturel.....	38

Liste des abréviations

AND : Agence nationale des déchets

CMC : Matrice Minérale Céramique

CMM : Matrice Minérale Métallique

DMA : Déchets Ménagers et Assimilés

DMS : Déchets Ménagers Spéciaux

DS : Déchets Spéciaux

DSD : Déchets Spéciaux Dangereux

MIOM : Les Mâchefers d'Incinération des Ordures Ménagères

OMS : Organisation Mondiale de la santé

ONS : Office National des Statistiques

PAN : Polyacrylnitrique

PE : polyéthylènes

PP : polypropylène

PS : polystyrène

PVC : polychlorures de vinyle

WPC : Wood Plastic Composite

Introduction Générale

Introduction Générale

L'intérêt qui est porté de plus en plus à la valorisation des déchets est lié à la fois à la crise de l'énergie, la diminution des ressources mondiales en matières premières et, pour de nombreux pays, à la nécessité de réduire les importations de plus en plus coûteuses, et enfin à la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et de l'environnement [1].

Il est donc nécessaire d'introduire de nouveaux systèmes d'approvisionnement en énergie, sans quoi, au taux d'accroissement prévus de la consommation, une pénurie dangereuse de toutes ressources d'énergie va se produire dans les années à venir, époque à laquelle les combustibles fossiles qui restent dans le monde risquent d'être totalement utilisés [1].

Quant à l'environnement, si la pollution de notre planète croît de la même façon que les demandes en énergie et en matières premières, on peut se demander dans quel monde vivront nos descendants [1].

Et donc la solution à laquelle il est impératif de se tourner est : La valorisation, qui concerne aussi bien les déchets et sous-produits en provenance directe du processus de fabrication ou de traitement que ceux qui sont le résultat de l'emploi du produit fourni par ce processus [1].

Afin de donner une nouvelle vie à ses déchets, ces derniers peuvent être valorisés en produit à haute valeur ajoutée tel que les Composites. Et c'est le thème abordé dans notre travail.

Au travers de ce master, un éclairage est donné sur l'ensemble des réflexions relatives à la valorisation des déchets en produits composites.

Après une introduction générale sur les déchets, leurs compositions et leur impact sur la société et l'environnement dans le premier chapitre, une compréhension initiale sur ces matériaux composites, leur mode de fabrication et les différents domaines d'application est présenté dans le second chapitre.

En outre, les différentes technologies de valorisation sont plus particulièrement abordées dans le dernier chapitre. Ajouter à cela quelques exemples sur ce qui se fait dans le monde dans ce type de valorisation pour mieux illustrer ce travail.

Enfin, une conclusion générale sur ce qui a précédé et quelques perspectives sont également présentées à la fin de ce travail.

Chapitre 1 : Généralités sur les Déchets

Introduction

A quel moment un objet devient-il un déchet, à quel moment cesse-t-il de l'être ?

C'est la question à laquelle est confronté chaque individu, chaque communauté et chaque pays, chaque jour quand il se trouve face à des tonnes de déchets non traités qui ne cessent de croître et qui mettent en danger la vie de ses habitants. Et pour pouvoir y répondre, toutes les solutions sont bonnes à prendre.

Comme dans tous les pays en développement, les problèmes liés à la gestion des déchets se posent en Algérie avec de plus en plus d'acuité en raison de l'augmentation de la production des déchets sous le triple effet de la croissance économique, démographique et du niveau de vie [2]. Ce phénomène est accentué en raison de l'insuffisance des moyens et des équipements appropriés. Parallèlement, la composition de ces déchets est passée d'un profil organique (déchets alimentaires) à des matériaux complexes (emballages, plastiques, produits en fin de vie, etc.) qui présentent des risques majeurs pour l'environnement et la santé publique [3].

L'Agence nationale des déchets (AND) a enregistré près de 23 millions de tonnes de déchets au niveau national en 2016 de tous types confondus dont 11,5 millions de tonnes de déchets ménagers, 11 millions de tonnes de déchets inertes, 0,4 millions de tonnes de déchets spéciaux et 2% de produits dangereux. Par individu, le volume quotidien des déchets est estimé à 0,7 kg-0,9 kg dans les zones urbaines et à 0,5-0,6 kg en dehors des zones urbaines, ajoutant que chaque individu génère 310 kg de déchets annuellement dont 95kg en matières recyclables et 196kg en matières organiques [4].

La filière traditionnelle d'élimination des déchets solides en Algérie est essentiellement la décharge, méthode la plus ancienne et la plus largement pratiquée du fait de son coût plus faible que celui des autres filières d'élimination comme l'incinération ou le compostage [2].

Une dégradation de l'environnement et un risque sur la santé publique en ont résulté [2], cela touche plusieurs dimensions environnementales : déforestation, désertification, appauvrissement de la diversité biologique, dégradation des ressources en eau, prolifération des déchets urbains, etc. Cette dernière attire notre attention à plus d'un titre du fait que la gestion des déchets urbains et industriels devient une problématique qui se pose avec acuité au niveau national [5]. Et afin de permettre une gestion optimisée des déchets, une politique globale basée sur des éléments tangibles et démontrés doit être mise en œuvre. Il est ainsi primordial d'analyser le problème et ses caractéristiques, de tester différentes solutions envisagées, et d'optimiser les systèmes viables [6].

La gestion des déchets est un enjeu majeur tant au regard d'une limitation nécessaires des ressources en matières premières et en énergie, que de l'impact environnemental des déchets non traités qui doivent être réduits [7].

1.1 Définitions

Mais d'où vient cette notion de déchet ?

L'étymologie du mot « déchet » nous est parfaitement décrite par Cyrille Harpet. Le mot apparaît au 13^{ème} siècle sous la forme « déchié » ou « déchiet ». Il est en fait issu du verbe « Déchoir », qui représente un mouvement sans fin d'une chute sans aboutissement, ou un processus de dévaluation. Tarbé nous donne ainsi cette définition : « *Le déchet est ce qui tombe d'une matière travaillée par la main humaine. C'est ce que nous nommerions aujourd'hui des chutes* » [6].

➤ **Déchet :**

Un objet peut être un déchet pour celui qui s'en débarrasse, et un produit valorisable qui a une valeur marchande pour celui qui le collecte. Ainsi, 2 litres d'huile de vidange sont un déchet pour l'automobiliste, mais les 2 tonnes d'huiles récupérées sont vendues en combustible. Le seul fait d'avoir rassemblé les déchets individuels a transformé le produit [8].

➤ **La valorisation :**

La valorisation reste un concept ambigu qui se définit surtout par opposition à l'élimination. La valorisation consiste dans " *le réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie* ". Il y aurait donc une valorisation de matière qui doit permettre de réutiliser les éléments constitutifs du déchet en les intégrant dans le circuit économique et une valorisation énergétique [8].

➤ **Récupération :**

Récupérer un déchet, c'est le sortir de son circuit traditionnel de collecte et de traitement. Par exemple, mettre des bouteilles ou des journaux dans un conteneur spécial, au lieu de les jeter à la poubelle. La récupération, qui suppose une collecte séparée ou un tri, se situe en amont de la valorisation qui consiste, à redonner une valeur marchande à ces déchets [8].

➤ **Recyclage :**

C'est la réintroduction directe d'un déchet dans le cycle de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel d'une matière première neuve. Par exemple, prendre des bouteilles cassées, les refondre, et en faire des bouteilles neuves [8].

➤ **Réemploi :**

C'est un nouvel emploi d'un déchet pour un usage analogue à celui de sa première utilisation. C'est prolonger la durée de vie du produit avant qu'il ne devienne un déchet. Par exemple, la consigne des bouteilles, à nouveau remplies après leur nettoyage [8].

➤ **Réutilisation :**

Consiste à utiliser un déchet pour un usage différent de son premier emploi, ou à faire, à partir d'un déchet, un autre produit que celui qui lui a donné naissance. Par exemple, utiliser des pneus de voiture pour protéger la coque des barques ou chalutiers [8].

➤ **Régénération :**

Consiste en un procédé physique ou chimique qui redonne à un déchet les caractéristiques permettant de l'utiliser en remplacement d'une matière première neuve. C'est le cas, par exemple, de la régénération des huiles usées ou des solvants, ou du papier qui est à la fois recyclé et régénéré par le désencrage [8].

➤ **Valorisation Energétique :**

Consiste à utiliser les calories contenues dans les déchets, en les brûlant et en récupérant l'énergie ainsi produite, par exemple, chauffer des immeubles ou produire de l'électricité [8].

1.2 Production Mondiale Des Déchets

Chaque jour, l'activité humaine produit environ 10 milliards de kilos de déchets ce qui représente une production mondiale d'environ 4000 milliards de kilos de déchets par an, dont 1,9 milliard de tonnes de déchets municipaux, 1,2 milliard de tonnes de déchets industriels non dangereux et 490 millions de tonnes de déchets industriels dangereux : sur ce total seulement 2,74 milliards de tonnes de déchets ont été collectés et ramassés selon les estimations de la Banque Mondiale. Soit de 80 à 126 tonnes de déchets générés chaque seconde ! Entre 2008 et 2020 la quantité de déchets devrait augmenter de 40% dans le monde. [4]

En Algérie, ce sont 10,3 millions de tonnes de déchets qui sont jetées, c'est à dire 130kg/hab/an, Selon les chiffres de l'Agence Nationale des Déchets (AND), près de 38% des déchets générés annuellement ne sont pas des matières putrescibles (dégradables) qui, elles constituent 62,30%. Sur ce total, on dénombre, notamment, 12% de plastiques, 10,26% de textiles, 9,33% de carton et papiers et 3% entre verre et métaux, avec 95% de ses déchets qui sont mis directement en décharge. Selon une enquête réalisée par les services de ministère de l'Environnement, il existe plus de 3000 décharges implantées sur le territoire national. La dépense nationale de gestion des déchets représente 6,7 milliards de dollars. Ces quantités de déchets sont alarmantes alors que les tendances sont stables.

Cependant, cette montagne de rebus cache aussi un vecteur de développement économique important, notamment dans le secteur du recyclage. C'est le paradoxe du déchet que relève cette définition : « *Ce produit inévitable de l'activité humaine, dont le traitement est coûteux et difficile, bien qu'il soit parfois utile* » [9].

1.3 Classification Des Déchets Selon La Législation Algérienne

La loi N 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets arrête les définitions de six grandes familles de déchets, qui sont [10] :

- **Déchets Ménagers et Assimilés**

Tous les déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales qui, par leur nature et leur composition sont assimilables aux déchets ménagers.



Figure 1.1 : Photos de Déchets Ménagers et Assimilés

- **Déchets Encombrants**

Tous déchets issus des ménages qui en raison de leur caractère volumineux ne peuvent être collectés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés comme : Canapés, fauteuils, tables, vieux meubles.



Figure 1.2 : Photos de déchets encombrants

• Déchets Spéciaux(DS)

Tous déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toute autres activités qui en raison de leur natures et de la composition des matières qu'ils contiennent ne peuvent pas être collectés, transportés et traités dans les même conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes.



Figure 1.3: Photo de déchets spéciaux

Déchets Spéciaux Dangereux (DSD)

Tous déchets spéciaux qui par constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent sont susceptibles de nuire à la santé publique et /ou à l'environnement.



Figure 1.4 : Photo de déchets spéciaux dangereux

- **Déchets d'Activité de Soin**

Tous déchets issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif ou curatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire comme les seringues, milieux de culture, fragments anatomiques, pansements, etc.



Figure 1.5: Photos de déchets d'activité de soin

- **Déchets Inertes**

Tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de déplétion , de construction ou de rénovation , qui ne subissent aucune modification physique chimique ,ou biologique lors de leurs mise en décharge ,et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou d'autres éléments générateurs de nuisance, susceptibles de nuire à la santé et /ou à l'environnement .



Figure 1.6: Photos de déchets inertes

1.4 La Composition Des Déchets

Bien connaître la composition des ordures est capital pour déterminer les modes de tri et de traitement qui seront les mieux adaptés. Plus de la moitié des ordures ménagères (déchets ménagers et assimilés collectés dans les tournées de ramassage organisées par les collectivités locales) sont constituées de déchets putrescibles et de papiers cartons. Les emballages représentent 40 % des ordures ménagères [8].

La composition des déchets est variable selon les pays, sans qu'il puisse être établi une corrélation stricte avec les richesses. Néanmoins, on constate que, dans l'ensemble, la part des putrescibles (nourriture, déchets de jardin...) est surtout dominante dans les pays les moins avancés, et que la part des papiers journaux s'accroît dans les pays développés [8].

Tableau 1.1 : Information général sur les déchets en Algérie [3]

Population	37,5 millions d'habitants (ONS, 2012)
Quantité Déchets Municipaux Générés	10,3 millions tonnes
Production des déchets ménagers	
Milieu urbain	0,8 kg/j/h
Milieu rural	0,6 kg/j/h
Taux Annuelle de Croissance DMS	3 %
Génération des Déchets d'Activités	30 000 T/an
Génération des déchets industriels	2 550 000 T/an
Déchets spéciaux (dangereux)	330 000 T/an
Génération des déchets verts	130 000 T/an
Génération des déchets de marchés	96000 T/an
Déchets de Démolition/Construction	11 M T/an

Tableau 1.2 : Composition des déchets municipaux en Algérie [3]

Taux de couverture de la collecte des DMS	
Zone urbaine	85 à 90%
Zone rurale	65 à 70%
Destination finale des DMS	
Compostés	1%
Recyclés	7%
Mis en décharges contrôlées	30% à 40%
Mis en décharges non contrôlées	60% à 70%

D'après les tableaux 1 et 2, on peut dire qu'on génère des quantités énormes de déchets qui parte directement en décharge avec une composition de 60% des déchets sont de nature organique qui devrait être destiné au compostage si on devait les valorisés et les 40% restant peuvent être valorisé de bien d'autres manières parmi elle, « la valorisation en produit composite ».

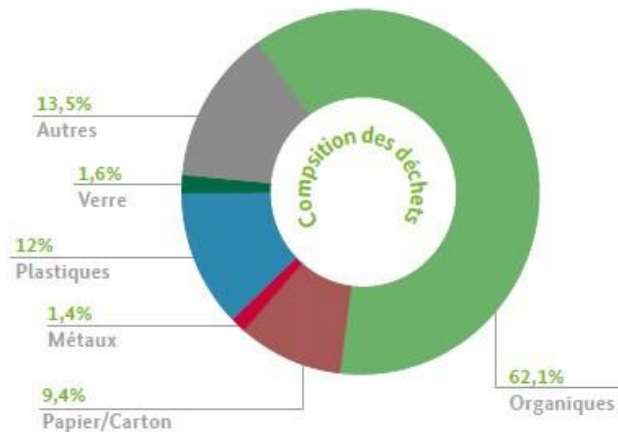


Figure 1.7 : Composition des déchets en Algérie [3]

1.5 Cadre Législatif et Contexte Juridique En Algérie

- ☞ 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 [3]:
 - Elle fixe le principe de la valorisation des déchets soit par leur réemploi, soit par leur recyclage.
 - *Article 8* : Lorsque le générateur et/ou le détenteur des déchets est dans l'impossibilité de générer et/ou de valoriser ses déchets, il est tenu d'assurer ou de faire assurer, à ses frais, l'élimination de ses déchets de façon écologiquement rationnelle....
- ☞ 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 [3].
- ☞ 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].

En Algérie le décret 84 – 378 du 15 décembre 1984, fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et de traitement des déchets solides urbains stipule que [11] :

- ☞ Art 1. -Le présent décret a pour objet de déterminer les conditions dans lesquelles il sera procédé au nettoyage, à l'enlèvement et au traitement des déchets solides urbains.
- ☞ Art. 2. - Les déchets solides urbains s'entendent aux termes du présent décret des déchets domestiques et ceux qui leur sont assimilables par la nature et le volume.

- ☞ Art 3 : « L'Assemblée populaire organise, dans les conditions définies par le présent chapitre, sur son territoire, soit directement, soit en association par l'intermédiaire d'organismes intercommunaux et /ou appropriés, un service de collecte et d'élimination des déchets solides urbains, à l'exclusion de certains déchets ».

1.6 Les Enjeux Scientifiques

- a) **1^{er} enjeu scientifique** : concerne la protection de l'environnement, des écosystèmes et la préservation de la santé des hommes. D'une part, l'utilisation des ressources naturelles tend à réduire le capital disponible des écosystèmes et, d'autre part, les activités de gestion des déchets engendrent des impacts environnementaux importants [6].
- b) **2nd enjeu scientifique** : s'intéresse aux défis politiques et socio-économiques du développement de la prévention des déchets, du réemploi, des produits en fin de vie et du recyclage dans un contexte général de consommation et production durables. Les premières aménités de ces solutions sont ainsi de réduire la mise en décharge et l'incinération, tout en développant de nouveaux marchés économiques facteurs d'emplois. Dans une dimension éthique, c'est le refus du gaspillage et la volonté d'une société économe [6].

1.7 Impacts De La Gestion Des Déchets Solides

1.7.1 Impacts Sociologiques

D'origine nord-américaine, le phénomène NIMBY littéralement signifie "Not In My Back Yard", en français " Pas dans mon arrière cours " recouvre au départ le refus des riverains de voir s'implanter une infrastructure gênante dans leur environnement proche, sans pour autant remettre en question l'utilité de cette infrastructure, pourvu qu'elle s'installe ailleurs. Les riverains craignent, par exemple, que leur cadre de vie ne se dégrade. Ce phénomène, qui s'applique également aux déchets, désigne l'opposition de populations riveraines à l'implantation ou à l'extension d'une nouvelle infrastructure liée au traitement, à la valorisation et/ou au stockage des déchets. Ces prises de positions témoignent des difficultés de la société à concilier un mode de vie produisant des quantités croissantes de déchets, avec la nécessité de leur gestion. Cette problématique sociologique est un réel défi pour les pouvoirs publics [12].

1.7.2 Pollution Chimique

La gestion inefficace des déchets engendre des risques de pollutions chimiques pour l'environnement et la santé des populations vivant ou non à proximité. Cette pollution chimique est d'origine diverse : organique, minérale et métallique. La matière organique biodégradable est apportée en grande partie par les fractions fermentescibles mais aussi, à une faible proportion, par le papier et le carton. Les apports importants de matière organique biodégradable engendrent une consommation de l'oxygène dissout lors de la décomposition de la matière organique et crée par exemple l'eutrophisation ou la désoxygénation des eaux se manifestent en profondeur, où le phytoplancton sédimente et où la lumière est insuffisante pour que la production primaire contribue à la réoxygénation des eaux. Une augmentation importante de la mortalité de la faune la plus sensible est alors observée [12].

Plusieurs études menées sur les échantillons d'eau des lagunes ont montré une pollution de plus en plus importante de ces plans d'eau et les dangers auxquels sont exposés les organismes qui y vivent car ces eaux sont de plus en plus des réceptacles des DMA et des chutes d'hydrocarbures (d'essence, gas-oil) [12].

En Italie, la lagune d'Orbetello reçoit les déchets, les eaux traitées et non traitées des villes limitrophes. Ces entrées sont sources d'une croissance algale rapide. Ces apports anthropiques assurent un développement intense des algues et perturbent le cycle saisonnier de l'évolution algale. De même, le plus grand écosystème côtier en Afrique occidentale, la lagune Ebrié de Côte d'Ivoire, reçoit les déchets ménagers et industriels d'Abidjan, mais aussi les rejets agricoles de son bassin versant. Ceci induirait une eutrophisation du système complet avec comme conséquence une augmentation de la mortalité des poissons et le développement de microorganismes pathogènes néfastes pour l'homme [12].

La pollution des eaux souterraines par les éléments traces métalliques au voisinage des décharges a souvent été signalée dans la littérature. A titre d'illustration, les concentrations élevées de plomb et de cadmium dans la lagune de Porto-Novo résultent également de la mauvaise gestion des déchets liquides et solides dans la ville de Porto- Novo [12].

1.7.3 Impacts Sanitaires

On a rapporté que les deux tiers environ des habitants des pays en développement sont exposés à des risques importants pour la santé, notamment à cause du manque de systèmes d'évacuation des eaux usées et de gestion des DMA. L'absence de stratégie adaptée de gestion des déchets et le déficit d'infrastructures de gestion des déchets provoquent une anarchie dans toute la filière de gestion des déchets [12].

Ces dépôts sauvages représentent des milieux favorables à la prolifération d'une part, de germes responsables des maladies et infections de tout genre, et d'autre part, des arthropodes (mouches, moustiques) et des rongeurs qui peuvent être porteurs de typhus, leptospirose, salmonellose, trichinose, histoplasmosse et tularémie. Bien évidemment, la population la plus exposée est celle qui, économiquement est la plus vulnérable et la plus défavorisée. Ces endroits insalubres sont également les lieux d'habitations de ces populations faute d'avoir trouvé d'autres solutions [12].

Les études réalisées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) montrent que les deux tiers environ des habitants des pays en développement sont exposés à des risques importants pour la santé, notamment à cause du manque de systèmes d'évacuation des excréta humains et des ordures ménagères. Une étude d'impact sur la santé due aux déchets solides dans les domaines domestiques et publics montre que la prévalence d'Ascarides, par exemple chez les enfants des foyers qui ne disposent pas de collecte est de 65%, contre 43% chez les enfants des foyers avec collecte irrégulière et 41% chez ceux des foyers avec de la collecte régulière. D'autres études se sont intéressées à l'impact sanitaire des déchets sur les personnes en contact direct avec ces rejets. Ainsi, l'enquête, menée auprès de ces récupérateurs, a révélé une augmentation de certaines maladies. Il en ressort une augmentation nette pour toutes les maladies. La recrudescence de certaines d'entre elles a fait que le taux d'infection s'est vu multiplier par 4. Les maux de tête chez ces populations ont été multipliés par 7 [12].

Chapitre 2 :

Les Composites

Introduction

Il existe quatre grandes familles de matériaux : les métaux, les polymères, les céramiques et les composites. Ces derniers sont les plus récents mais pas si nouveau que ça, ils ont de tous temps été utilisés par l'homme, citons par exemple : le bois, le béton et le béton armé [13].

Ce sont l'assemblage de deux matériaux ou plus de natures différentes, possédant une structure géométrique spécialement conçue pour leur conférer des propriétés que leurs constituants élémentaires ne possèdent pas individuellement, et leur permettre de remplir de nombreuses fonctions techniques. Cela leur permet d'atteindre des niveaux de performances inégalés. Et pour tirer le meilleur parti de leurs capacités, ils sont généralement conçus en même temps que les pièces qu'ils constituent. La frontière entre le produit et le matériau est donc plus floue qu'avec les matériaux traditionnels, ce qui implique de profonds changements dans la conception des produits industriels [14].

Avec une production mondiale de 7,6 millions de tonnes, les matériaux composites suscitent un intérêt croissant de la part de nombreux secteurs industriels, ils sont beaucoup utilisés dans le secteur du génie civil (30% de l'activité mondiale), celui du transport automobile (26% de l'activité mondiale) et leur emploi tend à se généraliser dans les équipements électriques et électroniques et atteindre même le domaine des sports et de l'aéronautique.

Cet engouement s'explique principalement par la faible masse volumique des composites qui, par ailleurs, possèdent des propriétés physico-chimiques intéressantes (mécaniques, thermiques, chimiques...) [14].

Cependant, pour le concepteur, l'arrivée de ces nouveaux matériaux représente un changement important, qui impacte profondément la conception et la réalisation des produits industriels. Pour bien prendre la mesure de ce changement, il est essentiel de comprendre ce que sont exactement les composites, et comment sont obtenues leurs propriétés [14].

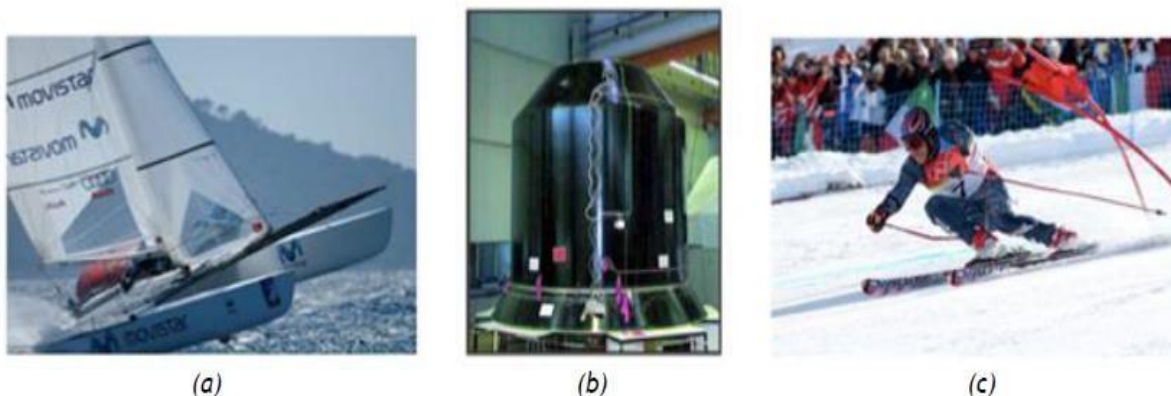


Figure 2.1 : Photos représentant quelques applications des matériaux composites : (a) un catamaran, (b) support de la charge utile d'Ariane 5, (c) skis de compétition [14]

2.1 Définition Du Matériau Composite

Un matériau composite est constitué de l'assemblage de deux matériaux ou plus de natures différentes, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau hétérogène dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément. Le principal intérêt de l'utilisation des matériaux composites provient de leurs excellentes caractéristiques. Ils disposent d'atouts importants par rapport aux matériaux traditionnels. Ils apportent de nombreux avantages fonctionnels [13] :

- Légèreté
- Grande résistance à la fatigue
- Liberté de formes
- Maintenance réduite
- Faible vieillissement sous l'action de l'humidité, de la chaleur, de la corrosion.
- Insensibles aux produits chimiques sauf les décapants de peinture qui attaquent les résines.
- Une bonne isolation électrique.

Un matériau composite est constitué de [15]:

- **Un renfort** qui assure la tenue mécanique du matériau composite. Le renfort permet aux matériaux composites d'avoir des propriétés isotropes, anisotropes ou orthotropes.
- **Une matrice** qui est un matériau constitué de plastique (thermodurcissable ou thermoplastique), métal ou céramique.

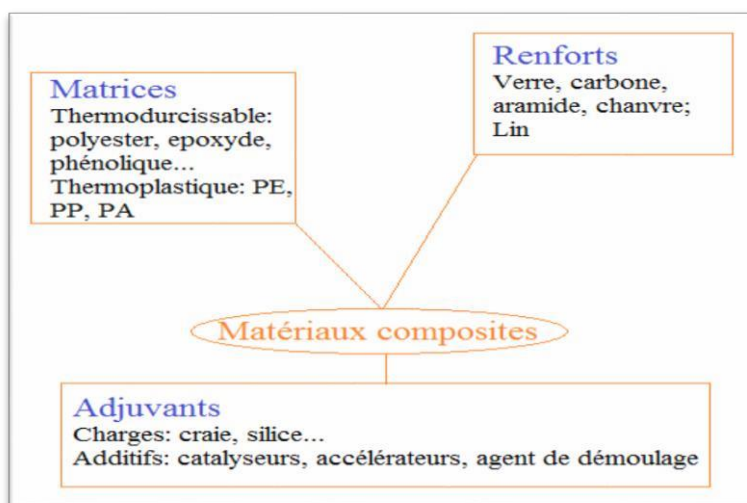


Figure 2.2: Les principaux composants des matériaux composites [16]

Les renforts et la matrice sont parfaitement liés, il ne peut pas y avoir ni glissement ni séparation entre les différentes phases. Les renforts se présentent sous forme de fibres continues ou discontinues, dont le rôle est d'assurer la fonction de résistance mécanique aux efforts.

La matrice assure quant à elle la cohésion entre les renforts de manière à répartir les sollicitations mécaniques. L'arrangement des fibres, leur orientation permettent de renforcer les propriétés mécaniques de la structure [17].

Les pièces structurelles sont réalisées par empilement de nappes en optimisant les directions des renforts en fonction des charges qu'elles doivent subir. La nature de la résine ou du renfort est choisie en fonction de l'application finale visée [17].

2.2 Constituants Des Matériaux Composites

2.2.1 La Matrice

La matrice constituant le matériau composite est une résine polymère existant en grand nombre et chacune à un domaine particulier d'utilisation. Dans les applications où une tenue de la structure aux très hautes températures est requise, des matériaux composites à matrice métallique, céramique ou carbone sont utilisés. Dans le cas des matériaux en carbone des températures de 2 200°C peuvent être atteintes [17].

2.2.1.1 Classification Des Types De Matrice

L'organigramme donné en figure 2.3 illustre la classification des matrices

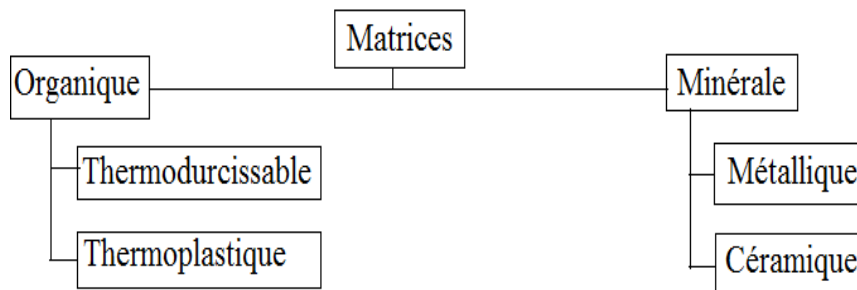


Figure 2.3 : Les différentes familles de matrice

A. Matrice Organique Thermodurcissable

Les résines thermodurcissables ont des propriétés mécaniques élevées. Elles sont mises en forme et se polymérisent selon la forme souhaitée. La transformation est irréversible. Elles sont en solution sous forme de polymère non réticulé en suspension dans des solvants. Les résines polyester insaturées, les résines de condensation (phénoliques, aminoplastes, furaniques) et les résines époxy sont des résines thermodurcissables [17].

Les matériaux les plus performants ont des caractéristiques mécaniques élevées et une masse volumique faible [17].

B. Matrice Organique thermoplastique

Mis en forme par chauffage, durcissent au cours du refroidissement et ont des propriétés mécaniques faibles. Ces résines sont solides et nécessitent une transformation à très haute température mais qui est réversible [17].

Les polychlorures de vinyle (PVC), les polyéthylènes, polypropylène sont quelques exemples de ces résines thermoplastiques [17].

Le tableau suivant représente les différentes caractéristiques des matrices thermoplastiques et thermodurcissables.

Tableau 2.1 : Caractéristiques des matrices thermodurcissables et thermoplastiques [13]

Matrices	Thermodurcissable	Thermoplastiques
Etat de base	Liquide visqueux à polymériser	Solide prêt à l'emploi
Stockage	Réduit	Illimité
Mouillabilité des renforts	Aisée	Difficile
Moulage	Chauffage continu	Chauffage+ refroidissement
Cycle	long	Court
Tenue au choc	Limitée	Assez bonne
Tenue Thermique	Meilleure	Réduite
Chutes et déchets	Perdus	Recyclables
Conditions de travail	Emanations de solvants	Propreté

C. Matrice Minérale Céramique (CMC)

Les matériaux composites à matrice céramique ont été développés pour des utilisations en conditions extrêmes : haute température, milieu oxydant, sous contrainte mécanique, voire sous irradiation. Cependant, elles sont très fragiles. Elles doivent avoir une résistance à la rupture et un module élastique les plus élevés possibles, associés à une bonne résistance à la fatigue et une faible densité. Un troisième composant est introduit : une interphase joue donc le rôle de « fusible » mécanique, mais peut, suivant la nature de ces phases, également jouer le rôle de protection des fibres contre l'oxydation. Cette interphase confère au composite son caractère tenace et « endommageable » qui prévient sa rupture catastrophique. Afin de diminuer un peu plus les risques de rupture du matériau, les matrices céramiques sont habituellement constituées en multicouches. Leurs domaines d'application sont actuellement essentiellement l'aéronautique, l'espace et le nucléaire [18].

D. Matrice Minérale Métallique (CMM)

Les matrices de ces matériaux sont des résines polymères. Les renforts des composites à matrice organique peuvent être la fibre de verre (la plus répandue), la fibre de carbone (très performante), la fibre d'aramide ou de polypropylène (plus résistante) ou des fibres végétales (renouvelables) [18].

2.2.2 Les Renforts

Les renforts sont généralement conçus de sorte à avoir des propriétés mécaniques optimales (notamment la résistance et la rigidité). Ceci passe naturellement par le choix d'un matériau adéquat, mais pas seulement : dans le cas des composites modernes, le caractère particulaire ou filamentaire des renforts fait qu'il est généralement possible de les fabriquer avec très peu de défauts, alors qu'une pièce massive du même matériau en contiendrait beaucoup plus, ce qui nuirait à sa résistance mécanique (c'est pourquoi le verre, peu résistant sous forme massive, peut être employé comme renfort lorsqu'il est sous forme de fibres) [14].

Les renforts contribuent à améliorer la résistance mécanique, à la traction et la rigidité des matériaux composites et se présentent sous forme filamentaire (des fibres organiques ou inorganiques) [13]. Un grand nombre de fibres sont disponibles sur le marché en fonction des coûts de revient recherchés pour la structure réalisée [17].

2.2.2.1 Différents Types De Renfort

Les renforts les plus utilisés se présentent sous forme de fibres ou formes dérivées et constituent une fraction volumique de matériau composite comprise entre 0.3 et 0.7.

Les renforts constitués de fibres se présentent sous diverses formes qui sont [13]:

- **Linéique** : dite aussi le roving qui est un assemblage de fils de bases parallèles groupés sans torsion. Exemples : fils, mèches.
- **Tissus surfaciques** : le tissu est formé par l'entrecroisement perpendiculaire des roving. Les tissus de roving peuvent peser jusqu'à 800 g/m². Exemples : tissus taffetas, toiles, serge.
- **Sous forme de mat (à fil coupé, à fil continu)** : le mat est un matelas de fils coupés ou continu à ensimage plastique, agglomérés par un liant à solubilité rapide ou lente dans la résine.



a – Roving de verre



b – Tissu de verre



c – Mat de verre

Figure 2.4 : Différents types de fibres de verre [13]

2.2.2.2 Les Différentes Natures De Renfort

A. Fibres Aramides

Souvent appelées KEVLAR, les fibres aramides ont des propriétés mécaniques élevées en traction comme les carbones mais leur résistance à la compression est faible. La faible tenue mécanique en compression est généralement attribuée à une mauvaise adhérence des fibres à la matrice dans le matériau composite. Pour y remédier, des ensimages des fibres peuvent être utilisés [17].

L'utilisation de composites à fibres hybrides permet également de remédier aux faiblesses des composites à fibres aramides. Des renforts hybrides de type verre-kevlar ou carbone-kevlar sont largement utilisés dans le domaine des loisirs (ski, raquette de tennis) [17].

B. Fibres organiques végétales

La 1^{ère} fibres artificielle industrialisée a été développée en France à la fin du 19^{ème} siècle, cette fibre a été extrudée d'une solution de cellulose, obtenue du bois. En effet l'homme a voulu tirer profit de la macromolécule de cellulose produite naturellement dans toutes les plantes. Ainsi, la fibre de rayonne est une fibre de cellulose régénérée et trouve des applications dans le textile. Elle a été également le 1^{er} renfort utilisé dans le caoutchouc [19].

C. Fibres de verre

Le verre est composé essentiellement de silice (SiO_2), abondante puisqu'elle est le constituant principal du sable. Les fibres de verre ont un excellent rapport performance-prix qui les placent de loin au premier rang des renforts utilisés actuellement dans la construction de structures composites [17].

Pour les renforts, on utilise le verre de type E. Il a initialement été développé pour ses propriétés électriques. Les verres de types S (strength) ou R (résistance), qui contiennent plus d'alumine, possèdent des propriétés mécaniques plus élevées que celles du type E et sont utilisés dans des structures à haute performances en verre résine [19].

Les fibres de verre sont fragiles et élastiques, elles sont susceptibles d'être endommagées par abrasion. C'est pour cette raison que les fibres sont revêtues, pendant le filage d'une résine, dont le 1^{er} rôle est de protéger les fibres. Ce revêtement est appelé ensimage. De plus l'ensimage sert de lubrifiant pour la transformation de la fibre en tissu ou autre produit et d'adhésif avec la résine [19].

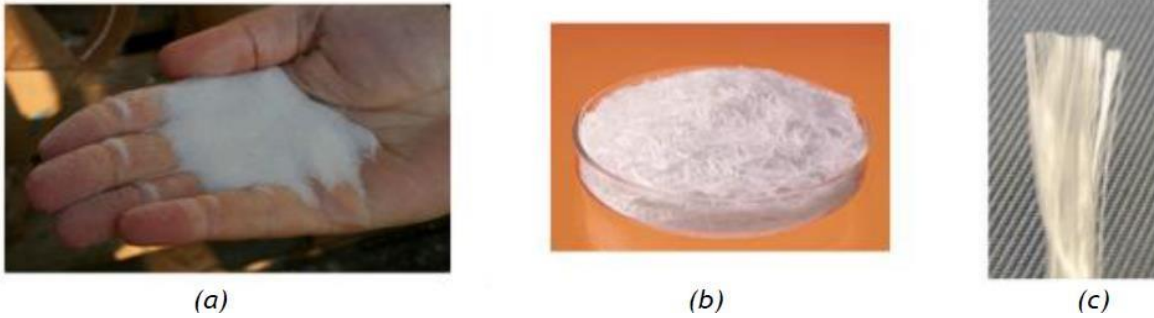


Figure 2.5 : Exemples de renforts en verre : (a) microbilles creuses, (b) fibres courtes, (c) fibres longues [14]

D. Fibres Céramiques

Les matériaux composites de type céramiques sont souvent constitués de renforts et de matrice en céramique. Les fibres sont élaborées par dépôt chimique en phase vapeur sur un fil support. Ces fibres sont rencontrées dans des applications où la température est très élevée entre 500°C et 2 000°C. Ces matériaux sont utilisés notamment dans les parties chaudes des moteurs d'avions. Quelques exemples de fibres céramiques [17]:

- fibres de carbure de silicium
- fibres de bore
- fibres de bore carbure de silicium

E. Fibres De Bore

Fibres de haut module et insensibles à l'oxydation à hautes températures, elles sont obtenues par dépôt en phase gazeuse sur un substrat en tungstène [20].

F. Fibre De Silice (ou de quartz)

Elles sont produites comme le verre, par fusion, et sont essentiellement utilisées pour leur haute tenue chimique et thermique dans les tuyères pour moteur de fusée [20].

G. Fibres De Carbone

La fibre de carbone est un matériau constitué de fibres très fines (environ 5 microns de diamètre), elles-mêmes composées d'atomes de carbone. Cette fibre, particulièrement résistante pour sa taille, présente une faible densité, une grande flexibilité ainsi qu'une bonne conductibilité électrique et thermique [19].

Les fibres de carbone ont de très fortes propriétés mécaniques et sont élaborées à partir d'un polymère de base, appelé précurseur. Actuellement, les fibres *précurseurs* utilisées sont des *fibres acryliques* élaborées à partir du polyacrylonitrile (PAN). La qualité des fibres de carbone finales dépend fortement des qualités du précurseur [17].

2.2.3 Les Charges

On désigne sous le nom général de charge toute substance inerte, minérale ou végétale qui, ajoutée à un polymère de base, permet de modifier de manière sensible les propriétés mécaniques, électriques ou thermiques, d'améliorer l'aspect de surface ou bien, simplement, de réduire le prix de revient du matériau transformé [20].

A l'inverse des matières thermoplastiques, les matières thermodurcissables ont toujours contenu des charges de nature et de forme variées, à des taux souvent élevés pouvant atteindre 60 % en masse [20].

Pour un polymère donné, le choix d'une charge est déterminé en fonction des modifications recherchées pour l'objet fini. Mais, d'une manière générale, les substances utilisables comme charges des matières plastiques devront d'abord satisfaire à un certain nombre d'exigences [20]:

- Compatibilité avec la résine de base
- Mouillabilité
- Uniformité de qualité et de granulométrie
- Faible action abrasive
- Bas prix de revient

L'objet de la charge renforçant est d'améliorer les caractéristiques mécaniques de la résine, ou diminuer le coût en conservant les performances des résines. En général, ces charges sont des microbilles ou des particules (poudres).

Les principales charges utilisées sont [13] :

- Microbille en (verre, carbone, époxyde, phénolique, polystyrène, etc. ...)
- Poudres ou paillettes métalliques : (cuivre, fer, aluminium, etc. ...)
- Particules de carbone (noir de carbone).

2.2.4 Les Additifs

Des produits peuvent être incorporés à la résine pour renforcer les propriétés mécaniques, des charges non renforçantes peuvent être également utilisées pour diminuer le coût des matrices en résine. Des additifs, de type colorant ou agent de démoulage sont largement utilisés lors de la conception des structures constituées de matériaux composites [17]. Ils sont nécessaires pour assurer une adhérence suffisante entre le renfort fibreux et la matrice et modifier l'aspect ou les caractéristiques de la matière à laquelle ils sont ajoutés.

Les additifs se trouvent en faible quantité (quelques %) et interviennent comme [13]:

- Lubrifiants et agents de démoulage.
- Pigments et colorants.
- Agents anti-retraits.
- Agents anti-ultraviolets.
- Accélérateur.
- Catalyseur.

2.2.5 L'Interface

En plus de ces fibres et la matrice, il faut rajouter une interface qui assure la compatibilité renfort/matrice, qui transmet les contraintes de l'un à l'autre sans déplacement relatif et confère une bonne adhérence en couche fine [13].

Des produits chimiques entrent aussi dans la composition du composite, l'interphase etc. peuvent jouer sur le comportement mécanique, mais n'interviennent pratiquement jamais dans le calcul de structure composite [13].

2.2.5.1 Le Rôle Des Interfaces

Les composites étant des matériaux hétérogènes, ils possèdent des interfaces, c'est-à-dire des surfaces de contact entre la matrice et le renfort. Tant que le composite est intact, les deux constituants adhèrent parfaitement l'un à l'autre, et l'interface ne joue donc aucun rôle particulier. Cependant, l'interface joue un rôle important lorsque le composite subit des dégradations mécaniques et commence à se fissurer suite à une surcharge, à la fatigue... [14].

En effet, les interfaces ont la propriété de dévier les fissures : lorsqu'une fissure se propage dans la matrice et atteint l'interface, elle ne traverse généralement pas cette dernière et les renforts ne sont donc pas endommagés. Au lieu de cela, la fissure change de direction et suit l'interface. En d'autres termes, au lieu d'une rupture brutale, on observe plutôt une décohésion, c'est-à-dire un décollement progressif entre les renforts et la matrice. L'interface joue donc le rôle de fusible et rend les composites plus ductiles et plus tenaces, c'est-à-dire plus résistants à la rupture, que leurs constituants élémentaires [14].

2.3 La Mise En Œuvre Des Matériaux Composites

Le choix d'un procédé de moulage se fait en fonction de certains paramètres à savoir [13] :

- Imprégnation du renfort par le système résineux.
- Mise en forme à la géométrie de la pièce.
- Durcissement du système par :
 - Polycondensation et réticulation pour les matrices therm durcissables.
 - Refroidissement pour les matières thermoplastiques.

Les procédés les plus importants sont [13]:

- Moulage par contact
- Moulage par projection simultané.
- Injection therm durcissable BMC
- Compression therm durcissable SMC
- Enroulement filamentaire (ou bobinage)

2.3.1 Moulage Au Contact

Le principe consiste à disposer dans un moule les renforts (sous forme de mat ou de tissu) imprégnés manuellement d'une matrice therm durcissable. Les pièces de formes quelconques peuvent être réalisées avec une cadence très faible [13].

2.3.2 Moulage Par Projection Simultanée

Le moulage est effectué par projection simultanée de fibres coupées et résine catalysée sur un moule. L'équipement à projeter est constitué d'une machine à couper le stratifié et d'un pistolet projetant la résine et les fibres coupées, l'ensemble fonctionnant par air comprimé. La couche de fibres imprégnées de résine est ensuite compactée et ébullée au rouleau cannelé. Le moulage par projection permet d'obtenir de grandes séries de pièces, avec un bas prix de revient [13].

2.3.3 Injection Thermodurcissable BMC: (Bulk Molding Compound)

Le moulage du compound est réalisé entre moule et contre moule chauffé à température entre 140 à 170°C sous une pression de 50 à 100 bars. Il a l'avantage d'être réalisé en de grandes séries avec peu de finition [13].

2.3.4 Compression Thermodurcissable SMC: (Sheet Molding Compound)

Le principe consiste à déposer des feuilles de préimprégnés dans un contre moule chauffé, de comprimer le matériau avec un moule chauffé, polymérisation puis éjection de la pièce. Cela a l'avantage d'avoir un coût de matière faible avec de bonnes propriétés mécaniques et thermiques [13].

2.3.5 Enroulement Filamentaire (ou Bobinage)

Le principe consiste en un enroulement sous tension sur un mandrin tournant autour de son axe de fibres continues préalablement imprégnées d'un liant. Les avantages qu'on peut y trouver sont la disposition optimale des renforts, les très bonnes propriétés mécaniques, possibilité de réaliser des pièces de grandes dimensions avec des surfaces internes lisses [13].

2.4 Architecture Des Matériaux Composites

Les matériaux composites sont modélisés à une échelle intermédiaire entre l'échelle microscopique associée aux constituants de base du composite (le renfort et la matrice) et l'échelle macroscopique liée à la structure. À cette échelle, appelée méso-échelle, une structure stratifiée est schématisée par un empilement de monocouches homogènes dans l'épaisseur et d'interfaces inter-laminaires. La couche et l'interface sont les deux entités appelées méso-constituants, qui forment les bases des modèles dédiés à l'étude des structures stratifiées [17].

L'interface inter laminaire est une entité surfacique assurant le transfert des déplacements et des contraintes normales d'une couche à une autre. En élasticité, les couches sont parfaitement liées et l'interface ne joue aucun rôle particulier. Les structures composites sont constituées de couches successives de renforts imprégnés de résines. Les couches sont également nommées plis. Le rôle du renfort est d'assurer la fonction de résistance mécanique aux efforts. La résine assure quant à elle la cohésion entre les renforts de manière à répartir les sollicitations mécaniques. Les pièces structurelles sont réalisées par empilement de nappes en optimisant les directions des renforts en fonction des charges qu'elles doivent subir [17].

2.4.1 Monocouche

Les monocouches représentent l'élément de base de la structure composite. Les différents types de monocouches sont caractérisés par la forme du renfort : à fibres continue, à fibres courtes, fibres tissus et mat [13].

2.4.2 Stratifiés

Les structures stratifiées à base de tissus unidirectionnels sont constituées d'un grand nombre de couches ou plis. L'épaisseur d'une couche dépend de son grammage. L'épaisseur de chacune des couches est généralement très faible, de l'ordre de 0,125 mm à 0,3 mm. Ces structures stratifiées sont constituées de couches unidirectionnelles avec des fibres orientées de façon différente d'une couche à l'autre afin d'obtenir les propriétés mécaniques souhaitées pour la structure finale [17].

Les stratifiés sont constitués de couches successives de renforts (fils, mat, tissus...) imprégnés de résines [13].

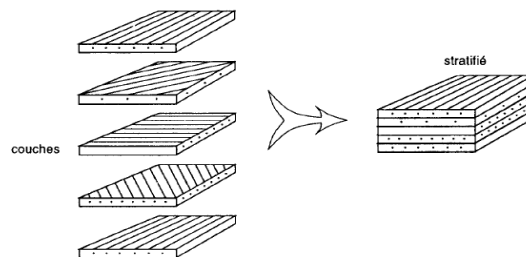


Figure 2.6 : Constitution d'un stratifié [13]

2.4.3 Sandwichs

Les structures composites subissant des sollicitations de type flexion ou torsion sont construites en matériaux sandwichs [17]. Une structure sandwich est composée de deux semelles (ou peaux) de grande rigidité et de faible épaisseur enveloppant une âme de forte épaisseur et faible résistance. L'ensemble forme une structure d'une grande légèreté. Le matériau sandwich possède une grande rigidité en flexion et c'est un excellent isolant thermique [13].

L'assemblage est réalisé par collage à l'aide d'une résine compatible avec les matériaux en présence. Les âmes les plus utilisées sont de type nid d'abeilles, âme ondulée ou mousse. Les peaux sont généralement constituées de structures stratifiées [17].

Ces structures ont une grande rigidité en flexion et torsion. L'âme de la structure sandwich résiste principalement aux contraintes de cisaillement et de compression hors plan, les peaux inférieures et supérieures supportent quant à elles les efforts dans leur plan [17].

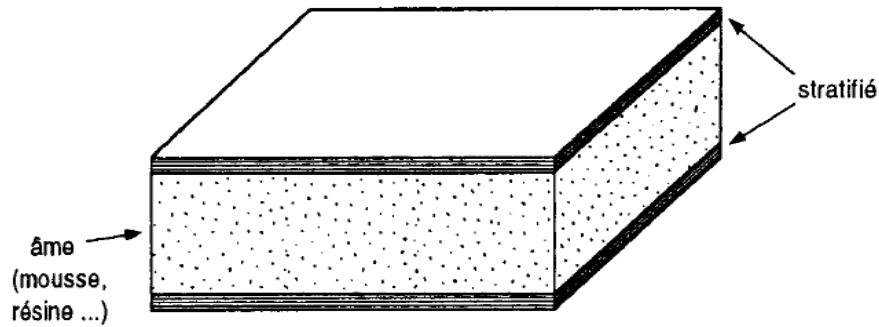


Figure 2.7 : Matériaux sandwichs à âmes pleines [13]

2.4.4 Composites Tissés

De nombreuses pièces composites sont réalisées à l'aide de tissus ou composites tissés. Dans ces structures, les fibres sont tressées ou alignées en « câbles » nommés torons ou simplement fils, comptant chacun quelques centaines ou milliers de fibres. Ces fils sont ensuite tissés selon des motifs plus ou moins sophistiqués. Une fois la mise en forme terminée, la matrice est présente à deux niveaux : au sein des fils (c.-à-d. : Entre les fibres), et au sein du tissu (c.-à-d. : entre les fils) [14].

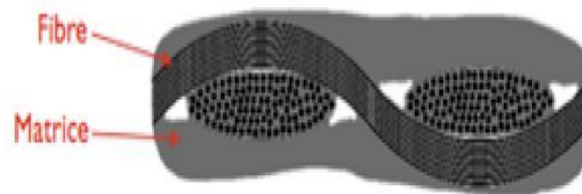


Figure 2.8: Structure d'un composite tissé : fibres (regroupées en fils) et matrice (intra et inter-fils) [14]

2.4.5 Structures Composites Tissées Multidirectionnelles

Il est possible de créer des pièces en matériaux composites de type tridimensionnelles massives ou des formes de révolution. Des tissages volumiques de type 2D, 3D–Evolitif (deux directions de renfort et un piquage dans la troisième direction), 3D, 4D, ou plus sont élaborés dans l'industrie aéronautique. Il est également possible de tisser des cylindres ou des cônes afin de réaliser des réservoirs ou des tuyères. Dans ces derniers cas, les fils de renforts s'entrecroisent en hélice. Les structures massives sont principalement utilisées dans le domaine aéronautique et restent très marginales en raison de leur coût de production très élevé [17].

Chapitre 3 :

La Valorisation

Des Déchets

3.1 La Valorisation, Pourquoi faire ?

Valoriser les déchets est devenu incontournable pour les raisons suivantes [8] :

- Valoriser les déchets est avant tout un choix politique, un choix de société. A chaque époque correspond un choix de traitement des déchets. Comme certains ont préféré mettre leurs déchets en décharge plutôt qu'au fond des bois, ou ont choisi de les brûler plutôt qu'ils s'entassent et pourrissent à proximité des villes, nous pensons que l'époque appelle aujourd'hui un changement d'attitude, plus positive, plus économe, plus responsable [8].
- Les déchets constituent un produit qu'il faut utiliser au mieux de nos possibilités du moment. La valorisation est non seulement utile, mais aussi souhaitable. Toute l'activité humaine consiste à créer des richesses en partant d'un produit pour en fabriquer un autre, en transformant les choses pour en créer de nouvelles. Le déchet peut être ce produit qu'il faut savoir utiliser et transformer pour en faire un matériau utile, une véritable " matière première secondaire " [8].
- Car utiliser un déchet c'est préserver les matières premières naturelles. Les déchets peuvent ainsi se substituer aux importations de matériaux. C'est aussi, bien souvent, réaliser une économie en termes financiers. Il existe de très nombreux cas où utiliser un déchet est moins coûteux qu'utiliser une matière première naturelle (le verre, l'aluminium, par exemple). De plus, dans un grand nombre de cas, les dépenses de traitement sont réparties entre la collectivité et la filière industrielle, et, si la dépense totale est la même, le financement est plus équilibré [8].
- Dans ce domaine comme dans beaucoup d'autres, il est indispensable d'anticiper. Anticiper l'évolution de la réglementation, de la demande sociale, des marchés, en particulier celui de l'énergie. Aujourd'hui, les prévisionnistes mettent en garde l'opinion mondiale sur l'illusion de l'énergie à bon marché, et donnent à la planète un demi-siècle de répit. Au-delà, le monde manquera de ressources d'énergies fossiles ou leur utilisation sera plus coûteuse. Certes, les découvertes de gisements ne sont pas terminées, mais l'extraction et le transport du pétrole notamment seront de toute façon plus coûteux. Sans que l'on sache quand ni comment, l'augmentation des matières premières est inévitable. [8].
- Valoriser les déchets, c'est une façon de s'engager sur l'avenir. C'est parfois ce qui manque le plus en politique. Gérer ses déchets est une garantie et une assurance sur l'avenir [8].

3.2 Les Différents Modes De Valorisation

Indépendamment du réemploi ou du recyclage direct d'un matériau ou d'un déchet ou sous-produit, trois types de valorisation sont possibles selon les caractéristiques, le tonnage et la situation géographique du déchet concerné [1] :

- la valorisation énergétique
- la récupération de matière première
- l'emploi comm matière de substitution.

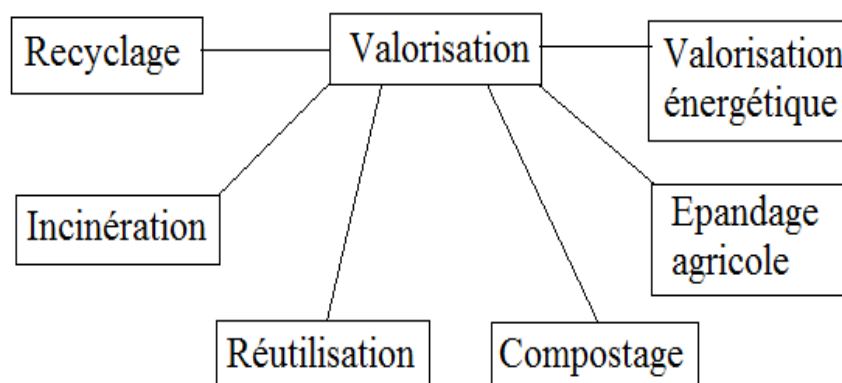


Figure 3.1 : Modes de Valorisation des déchets [21]

3.2.1 Valorisation Energétique

La valorisation énergétique concerne essentiellement les déchets organiques mais aussi les résidus inorganiques contenant du carbone ou du combustible nucléaire irradié [1].

3.2.1.1 Procédé Thermique

a) Incinération

C'est un procédé thermique qui consiste à la destruction complète du déchet et sa transformation en éléments simples et inertes sous l'action d'une forte chaleur et de l'oxygène de l'air. Il faut noter que les résidus solides de combustion (cendres, mâchefers...) représentent 25 % à 30 % du poids des déchets, ils sont valorisés entant qu'ajouts cimentaires [1].

Le déchet est traité thermiquement à 1000°C dans un four approprié en présence d'un excès d'air, ce qui permet de réaliser la combustion la plus complète possible de la matière organique. La chaleur sensible des gazes chauds formés est récupérée dans une chaudière produisant de la vapeur utilisable directement (chauffage domestique, emploi industriel) ou bien transformable en électricité via un turbo alternateur [1].

Le déchet peut être utilisé seul ou en mélange avec un combustible classique comme apport énergétique dans certaines préparations industrielles [1].

b) Pyrolyse :

Le procédé qui tend à être de plus en plus utilisés, consiste en un traitement thermique de 500°C à 800°C du déchet dans une atmosphère exempte d'oxygène. Il en résulte des réactions de dégradation thermique de dépolymérisation, de craquage éventuellement de combustion non complète conduisant à la formation de gaz de liquide et de solide résiduaire [1].

La pyrolyse est un phénomène endothermique, les gazes contiennent H₂, CO, CO₂, les hydrocarbures et H₂O vapeur. Les liquides sont constitués d'eau et de composés organiques susceptibles d'extraction utilisable comme combustible Les solides sont généralement des produits charbonneux utilisables comme matière première combustible ou de substitution [19].

Par rapport à l'incinération, la pyrolyse présente certains avantages [19] :

- Conversion des déchets en produits susceptible d'apporter une contribution potentielle énergétique positive, alors que l'incinération ne conduit qu'à la formation de CO₂ et de vapeur d'eau ce qui ne présente que peu d'intérêt énergétique, CO₂ étant le niveau énergétique le plus bas et le plus régressif du point de vue écologique.
- La production de l'énergie sous forme stockable et transportable.
- Faible volume du gaz final et quantité limitée de poussière
- Formation de cendres inertes et contenant des métaux non oxydés ce qui facilite une éventuelle récupération.
- Grande souplesse des procédés qui n'exige pas de proportion constante dans la composition des déchets traités ce qui facilite la tâche des unités centralisées

3.2.1.2 Procédés Basse Température

a) Fermentation Méthanique :

Connue aussi sous le nom de digestion anaérobie, consiste en une gazéification des déchets organiques par des bactéries productrices de méthane. Le procédé de vase se déroule en deux étapes : action des bactéries productrices d'acides qui transforme les substances organiques complexes en acides alcools et aldéhydes, lesquels se transforment en CH₄+CO₂ par action des bactéries productrices de méthane [19].

Ses transformations sont réalisées en milieu fermé, en absence d'oxygène.

1kg de résidu chimiquement transformable donne naissance à 0,4 m³ de méthane dans les conditions standard [19].

b) Captation Du Méthane Formé Dans Les Décharges

En vue d'être brûlé dans les chaudières des centrales voisines au décharges ou pour le chauffage des serres, cela peut se faire à partir de tuyaux en béton percés de trous et traversant toute la masse des déchets et remplis de graviers. Le gaz extrait contient 40% de CH₄ et 28% de CO₂ [19].

c) **Hydrolyse et Fermentation**

L'hydrolyse s'adresse généralement à la matière végétale qu'elle transforme en jus sucrés en utilisant un agent d'hydrolyse ou catalyseur tel que l'acide (HCl, H₂SO₄) soit une solution aqueuse d'enzymes. Les jus sucrés obtenus sont fermentables en alcool utilisable comme combustible [19].

3.2.2 L'emploi Comme Matière De Substitution

a) **Béton :**

Le béton est constitué de granulats (assimilables à des particules) pris dans une matrice de ciment. Sa résistance mécanique est moyenne en compression, et quasi-nulle en traction, ce qui limite ses possibilités d'emploi. On l'associe donc couramment à des armatures d'acier, plus résistantes et capables de reprendre les efforts de traction, ce qui permet de réaliser des ouvrages plus fortement sollicités : c'est le principe du béton armé [19].

Le taux d'incorporation de scories à des mortiers de ciment portland CPA de ciment au laitier peut atteindre 20% sans qu'aucun effet néfaste n'apparaisse. On a constaté que la prise sensiblement accélérée, que les résistances pouvaient être légèrement améliorées au jeune âge et que la tendance au retrait pouvait être diminuée [19].

b) **Tuiles et Briques :**

Les scories peuvent être utilisées comme agent dégraissant de certaines argiles trop plastiques. En outre la teneur en carbone des scories apporte un certain PCI, donc diminue la quantité d'énergie nécessaire à la cuisson selon la proportion d'éléments fins, l'action sur les retraits et les résistances mécaniques est appréciable [19].

Les cendres additionnées de 25% de mâchefer finement broyé et de 3% de silicate de soude, sont traitées thermiquement [19].

c) **Parpaings :**

Les japonais utilisent les mâchefers d'incinération pour préparer des parpaings par enrobage des mâchefers avec du ciment [19].

d) **Fabrication De Panneaux Pour La Construction :**

A Trondheim en Norvège une usine traitant 54000 t/an de déchets urbains a été récemment mise en place pour la fabrication de 38000 t/an de matériau. Le procédé comprend un broyage des ordures suivi d'une séparation du fer, des métaux non ferreux et du verre, lesquels sont vendus à part. Un séchage par passage dans un cyclone : il y a séparation des parties lourdes et des parties légères, ces dernières étant directement utilisées pour la fabrication des panneaux, lesquels constituent une solution de remplacement pour les planches en bois, mais la production prévoit un aggloméré solide recouvert de lamé plastique pouvant être recouvert de contre-plaqué ou de toute autre matière décorative. Ces panneaux sont susceptibles d'utilisation pour la réalisation de murs extérieurs décoratifs. Comparé au coût de la mise en décharge (24f/t), le cout du procédé de valorisation n'est que de 13f/t sans compter le bénéfice sur la vente des panneaux [19].

Fabriquer des panneaux de construction à partir des déchets urbains et plus spécialement des déchets organiques. Ces déchets sont préalablement broyés et desséchés, puis liés avec de la colle avant d'être pressés en plaques d'épaisseurs variables (2 à 100mm). Les panneaux ou revêtements ainsi obtenus ont des qualités tout à fait comparables à celles des produits traditionnels, qu'il s'agisse de résistance en compression et en flexion, de souplesse et de rigidité d'isolation phonique ou de résistance au feu. De même la Société RHINOLIT d'Ungersheim près de Mulhouse, prépare des matériaux isolants bon marché en mélangeant à du mica la cellulose contenue dans les vieux papiers, journaux et matières organiques des déchets urbains [19].

e) Valorisation Du Laitier Du Haut Fourneau :

La composition et la structure physique du laitier du haut fourneau varient énormément en fonction des procédés et des méthodes de refroidissement appliqués au laitier ; selon ces procédés on obtient le laitier granulé, bouleté et cristallisé. Chaque variété trouve des débouchés intéressants [19].

i. En Cimenterie

L'emploi du laitier granulé en cimenterie est doublement important, car il permet à la fois des économies considérables d'énergie (réduction du combustible de 30 à 40 %), et permet d'obtenir des ciments présentant des propriétés variées [19].

Le laitier peut produire un liant hydraulique de plusieurs façons. Premièrement, il peut être mélangé à du calcaire et être utilisé comme matière première pour produire du ciment Portland par le procédé à sec. Le clinker obtenu à partir de ces matériaux est souvent utilisé avec le laitier dans la fabrication du ciment portland au laitier [19].

Cette utilisation du laitier est économique car la chaux est présentée sous forme de CaO de sorte que l'on n'a plus à fournir l'énergie nécessaire pour la décarbonatation.

Deuxièmement, dans la plupart des pays, le laitier granulé et broyé est utilisé dans le ciment portland comme ajout pour fabriquer des ciments portland au laitier [19].

Troisièmement, le laitier du haut fourneau granulé broyé à une finesse appropriée peut être utilisé seul comme liant mais en présence d'un catalyseur à base d'alcalis [19].

ii. Pour La Confection Des Bétons

Dans un béton, le squelette granulaire (sable et granulats naturels peuvent être remplacés par le laitier vitreux et le laitier cristallisé concassé respectivement). Le laitier concassé forme d'excellents granulats pour le béton [19].

De même le laitier granulé entre dans la confection des bétons légers (bétons cellulaires), et les briques de laitiers [19].

iii. Pour Les Travaux Routiers

Les utilisations concernent la construction des chaussées, des routes, autoroutes et les assises où on peut utiliser soit le laitier granulé ou le laitier concassé [19].

iv. Valorisation Du Laitier En Algérie

L'utilisation des produits de laitier en Algérie est limitée à quelques rares applications malgré sa production progressante (500.000 tonnes/an). En cimenterie, il entre comme un ajout secondaire ne dépassant pas 20 % (cette substitution est faite seulement dans quelques cimenteries) [19].

Et en travaux routiers : A titre d'exemple, le laitier granulé a trouvé une utilisation dans la réalisation de la liaison autoroutière Annaba – Berrahal, où la couche de fondation été réalisée par une grave laitier tout laitier [19].

Des études intéressantes et récentes ont montré la possibilité d'utiliser les laitiers algériens (d'El-hadjar) pour [19] :

- La fabrication des briques silico calcaires à base du laitier.
- La fabrication du béton cellulaire autoclavé.
- La fabrication d'un ciment de laitier activé sans clinker.

3.2.3 La Récupération De Matière Première

a) Cimentation En Hydrométallurgie Du Cuivre :

Elle permet d'accroître les quantités de cuivre extraites des gisements : les solutions contenant du cuivre provenant de la lixiviation en tas des minerais pauvres, sont passées sur des ferrailles : le cuivre déplace le fer et se dépose à l'état métallique. Aux États-Unis, ce procédé permet la valorisation de 40000 t/an de ferrailles quelconques [19].

b) Fabrication Des Ciments Aux Cendres Volantes :

Les cendres volantes peuvent être utilisées comme matière première en cimenterie lors de la confection de la pâte crue dans le procédé par voie humide (l'utilisation des cendres humidifiées qui remplacent l'argile en apportant SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3). Le plus souvent les cendres sont utilisées sèches et ajoutées au broyeur avec les autres constituants (Clinker, gypse, laitier) : le broyage lui-même en est amélioré. Comme dans le cas des laitiers, les cendres volantes sont utilisées pour leur activité pouzzolanique (libération de silice qui réagit sur la portlandite du ciment durci) pour donner des silicates de calcium hydratés, lesquels renforcent la cohésion due à la prise des constituants hydrauliques du ciment [19].

c) Utilisation Des Cendres Volantes Dans Les Bétons :

Les cendres volantes agissant par leur finesse, leur forme, leur état de surface et leur faible masse volumique améliorent l'ouvrabilité des mortiers et des bétons, ce qui est d'autant plus marqué que les cendres sont plus fines [19].

L'addition en cendre permet en outre de diminuer la quantité d'eau de gâchage pour une même ouvrabilité, d'augmenter l'homogénéité et la compacité du béton et d'améliorer sa mise en place, et d'obtenir un meilleur aspect au décoffrage [19].

L'addition des cendres au béton (30 à 100kg/m³ de béton) permet de compléter la granulométrie de corriger éventuellement les sables manquant d'éléments fins, et peut même remplacer 20 à 30% du sable ce qui est intéressant dans le cas de béton sec faiblement dosé en ciment [19].

Les cendres sont utilisées dans les centrales à béton, dans les usines de béton manufacturé (confection de blocs, tuyaux boisseaux de cheminée...), dans certains ouvrages d'art (réfrigérants, cheminées de centrales thermiques) et pour la fabrication de béton cellulaire autoclavé [19].

3.4 Exemples De Déchets Valorisés En Produit Composite

3.4.1 Exemple 1 : Le Bois Composite

Ni tout à fait bois, ni tout à fait plastique, le bois composite est encore un matériau peu maîtrisé par le grand public ; il fait partie intégrante de l'aménagement extérieur au Japon ou aux Etats Unis, grâce à ses nombreuses propriétés mécaniques [21].

A. Un Peu D'Histoire...

L'histoire raconte qu'un importateur de bois japonais, **Nishibori Sadao**, inventa le bois composite comme alternative au bois exotique, victime de déforestation massive. Le bois composite est aujourd'hui très utilisé au Japon pour tous types d'aménagement extérieurs, tant pour sa visée écologique que pour ses propriétés mécaniques, mais a connu ses premières évolutions aux Etats Unis, pour arriver en Europe dans les années 2000 [21].

B. Définition

Le bois composite est un matériau constitué de matière plastique d'une part et de fibre de bois (comme le chanvre, le bambou, la râfle de maïs...) d'autre part, complétés par des pigments (pour la couleur), des additifs (agents antifongiques, lubrifiants pour faciliter le process), et d'une charge minérale. La matière plastique confère au bois composite ses principaux attributs mécaniques [21].



Figure 3.2 : les composés du bois composite [21]

C. Le Matériau Utilisé

Trois types de polymères sont principalement utilisés par les fabricants, tous trois issus de la pétrochimie [21] :

- **Le PVC** (polychlorure de vinyle), généralement utilisé dans le bâtiment (notamment en menuiserie)
- **Le PE** (polyéthylène), très utilisé en sacherie
- **Le PP** (polypropylène), qui sert beaucoup pour l'emballage alimentaire.

Le tableau illustre la comparaison des propriétés des polymères PVC, PE et PP [21] :

Tableau 3.1 : Comparaison des propriétés des polymères PVC, PE et PP [21]

	PE	PP	PVC
Densité	0.95	0.90	De 1.4 à 1.5
Module d'élasticité en traction (Norme NFT51-034)	De 0.5 à 1.1 Gpa	De 0.7 à 1.5 Gpa	3.5 Gpa
Module de flexion (Norme ISO 178)	1.25 Gpa	De 0.5 à 1.4 Gpa	De 2.2 à 3.5 Gpa
Dureté Shore D (Norme T51-109)	70	65	80
Coefficient de dilatation thermique (NFT 51-221) en $10^{-5} K^{-1}$	De 12 à 18	11	De 5 à 8
Inflammabilité	Continue avec ou sans flamme	Continue avec ou sans flamme	Arrêt immédiat sans flamme
Applications	Sacherie, bâches, Réservoirs carburant	Emballage alimentaire, Pare-choc automobile	Profilés de bâtiment Canalisation
Qualités reconnues	Perméabilité à l'eau Résistance aux chocs	Résistance aux chocs Et aux agents chimiques	Résistance au vieillissement & conditions climatiques Résistance au vieillissement et conditions climatiques, Inocuité

Généralement, c'est cette résine plastique utilisée qui va définir le profil de la lame, c'est-à-dire si elle sera pleine ou alvéolaire, ainsi que la proportion de bois. En effet, les 3 résines n'ont pas les mêmes propriétés mécaniques. Ainsi le PVC va nécessiter moins de bois que le PE/PP et sera approprié pour des lames alvéolaires [21].



Figure 3.3 : Exemple de résine de plastique (PVC vs PE/PP) [21].

D. Le Bois Utilisé

Le bois procure au produit une esthétique proche de celle d'une lame en bois. Les fabricants européens utilisent principalement de la farine de bois dur ou de résineux, car ce sont les types de bois les plus répandus sur le continent. Cependant, d'autres fibres végétales sont utilisables, en fonction de la promiscuité géographique des ressources à disposition. Ainsi, certains fabricants chinois proposeront des lames composites à partir de fibre de bambou, mais beaucoup d'autres fibres végétales sont à l'étude : coque de noix, noyau d'olive, chanvre, balle de riz, rafle de maïs... [21].

E. Le Bois Composite et Le Bois Naturel

Si le bois composite est un matériau à part entière au même titre que du carrelage, de la pierre ou du PVC, il est pourtant très légitime de le comparer au bois naturel... Moins glissant, plus cher, moins d'entretien, plus solide...Le tableau 2 récapitule les principaux avantages du bois composite sur le bois naturel [21].

Tableau 3.2 : Avantages et inconvénients du bois composites sur le bois naturel

Avantages	Points de vigilance
Durable, Imputrescible Sans entretien structurel Non glissant, Solide Esthétique proche du bois Grand nombre de coloris disponibles	Densité du produit : plus elle est haute, mieux c'est Taux de bois : trop de bois entraîne de la reprise d'humidité (qui entraîne elle-même des déformations) L'esthétique : la lame doit présenter une surface lisse, peu mouchetée.

A ceux-ci peuvent s'ajouter d'autres qualités en fonction des fabricants : lame qui ne grise pas, peu de reprise d'humidité, imperméabilité, aptitude à être poncé, etc.

F. La Nouvelle Génération De Bois Composite Est Déjà Là !

Grâce à la co-extrusion, certains fabricants proposent aujourd'hui une lame composite recouverte d'une fine peau en polymère. Imperméable et donc plus résistante et plus simple à nettoyer, elle représente aussi une nouvelle techniques pour donner encore plus de personnalité à la lame, tout en gardant une esthétique proche de celle du bois [21].

G. Domain d'Utilisation

Majoritairement connu pour le platelage, c'est-à-dire la terrasse, le bois composite répond pourtant parfaitement à d'autres usages : pontons, plages de piscines, lieux publics, mobilier urbain, façades, garde-corps, claustra et clôtures en sont autant d'exemples. En effet, ses attributs en font un matériau de choix pour l'aménagement extérieur [21].



Figure 3.4 : Photos représentant les différents domaines d'utilisation du bois composite [21]

3.4.2 Exemple 2 :

Elaboration de matériaux composites PVC/bois à partir de déchets de menuiserie [22].

L'objectif général était de mettre au point une formulation pour l'élaboration d'un matériau composite à base de PVC et de déchets de menuiserie destiné au secteur du bâtiment en tant que pièce non structurale exposée en extérieur [22].

Les deux constituants majoritaires du matériau composite sont : le **PVC** et le **bois** [22].

Le secteur d'application visé : la menuiserie extérieure [22].



Figure 3.5: Menuiserie extérieure

A. Présentation Du PVC

a) Formulation Du PVC Rigide

Quel que soit le procédé utilisé, à la suite de la polymérisation, la poudre de PVC doit subir une pré-gélification afin de la rendre utilisable. Lors de cette pré-gélification, des stabilisants, des lubrifiants et autres additifs sont ajoutés en fonction du processus de mise en forme ultérieure et de l'application visée [22].

b) Propriétés Physico-Chimiques

Le PVC rigide, de par l'absence de plastifiant, se distingue par une contrainte à la rupture et un module élastique élevés et une résistance thermique sous contrainte jusqu'à 60-75°C.

Le PVC possède de bonnes propriétés mécaniques telles que la rigidité et la résistance à l'abrasion. Cependant, il devient fragile aux chocs à des températures basses (-10°C). De plus, non plastifié, il conserve toutes ces caractéristiques, jusqu'à 60°C, en présence d'acides, de bases, d'huiles, d'alcools ou d'hydrocarbures aliphatiques. Par contre, il gonfle au contact des hydrocarbures aromatiques ou chlorés, d'esters et de cétones. Il est également sensible à la lumière solaire qui, en l'absence de stabilisant contre les rayons UV ou de composant écran, déclenche une série de réactions de dégradation qui le fragilise et le fait jaunir. Néanmoins, le taux de cristallinité se limite généralement à 10-15%, ce qui lui confère une bonne stabilité dimensionnelle [22].

B. Présentation Du Bois :

a) Composition Et Structure Des Fibres De Bois

Quelle que soit l'espèce, le bois anhydre est constitué de carbone (environ 50%), d'oxygène (42%), d'hydrogène (6%), d'azote (1%) et d'autres atomes en quantité moindre (1%). Selon les essences ou le milieu d'origine, le bois aura des teneurs variables en matières minérales : Ca, Mg, Na, Pt, Fe, Si, P, S, etc [22].

Au niveau moléculaire, le bois est essentiellement constitué de biopolymères : la cellulose (40-50%), la lignine (15-35%) et les hémicelluloses (20% environ). Des minéraux, des extractibles tels que les cires s'ajoutent à ces trois composants principaux [22].

b) Les Propriétés Physiques Et Mécaniques Du Bois

Elles sont très variables en fonction de l'essence de bois, mais aussi des conditions de croissance, de l'âge du bois et enfin de la zone dans laquelle l'échantillon analysé a été prélevé sur l'arbre [22].

Les propriétés d'un échantillon de bois varient en fonction de sa teneur en eau et du sens de la sollicitation mécanique [22].

C. Production Et Marchés Des Composites Thermoplastiques/Fibres Végétales

Les matériaux composites à matrice polymère thermoplastique de synthèse renforcée par des fibres de bois sont internationalement connus sous le sigle *WPC* de *Wood Plastic Composites* [22].

Les WPC sont produits industriellement depuis les années 80 mais le marché a sensiblement augmenté depuis une dizaine d'années à peine, essentiellement aux Etats-Unis. Plusieurs fabricants de composites thermoplastiques/fibres de verre ou de carbone se sont tournés vers les fibres végétales qui permettent de réduire l'usure des machines de mise en forme et de diminuer le poids du composite tout en étant une ressource renouvelable, biodégradable et économique [22].

En fonction du secteur d'application, une matrice est utilisée en prépondérance : le PE pour le platelage, le PP pour les applications automobiles et le PVC pour les clôtures et portails [22].

En Amérique du Nord, plus de la moitié du marché correspond au platelage. Les secteurs du bâtiment et de l'automobile sont également des domaines d'application importants pour ces matériaux. En Europe, le secteur automobile est le principal producteur et utilisateur de WPC avec plus de la moitié des applications. 75% des renforts végétaux utilisés dans l'industrie des WPC sont des particules de bois. Les fibres longues comme celles de chanvre, de lin, d'abaca, ou de sisal sont également utilisées. Depuis près de vingt ans, de nombreuses recherches ont été

effectuées sur les WPC, surtout en Amérique du Nord. En raison de l'évolution du marché pour les composites à base de PE et de PP, la majeure partie des recherches s'est essentiellement focalisée sur ces deux matrices [22].

En ce qui concerne la production et le marché des WPC, les principaux fabricants et consommateurs de WPC sont situés en Amérique du Nord. La demande a plus que doublé entre 2001 et 2005 atteignant 700 000 tonnes. Et les prévisions de croissance sont de 11% par an. En Europe, le marché était considéré comme émergent depuis déjà plusieurs années. Les estimations divergeaient entre 30 000 et 65 000 tonnes pour 2003 selon les sources. Au Japon, le marché semble également se développer atteignant 80 000 tonnes en 2005 [22].

D. Etude Des Propriétés Mécaniques Des Composites PVC/BOIS

Les données relatives aux principales caractéristiques de chacun des constituants de base des matériaux composites étudiés ayant été présentées, il est important de revenir sur certaines données de la littérature, spécifiques à ces composites, à savoir [22]:

- l'adhésion fibre/matrice,
- la taille, le taux de renfort et l'humidité des fibres,
- et la durabilité des produits (dégradation due au soleil, aux champignons, aux insectes et à l'humidité).

Le traitement des fibres de bois avec une solution de γ -aminopropyltriméthoxysilane augmente le module élastique et la contrainte maximale des composites tout en étant économiques et relativement simple à mettre en œuvre. D'où l'amélioration de l'adhésion fibre/matrice.

L'essence du bois utilisée influence les propriétés mécaniques du matériau composite de deux manières [22]:

- Directement grâce à l'aspect de surface de la fibre, plus ou moins rugueux ce qui influence l'ancrage mécanique de la fibre au sein de la matrice.
- Indirectement puisque, pour une même granulométrie, les fibres d'une essence peuvent présenter un facteur de forme supérieur à celui des fibres d'une autre essence et favoriser ainsi le renfort de la matrice polymère.

E. Influence Du Type De Renfort Végétal :

En particulier sa granulométrie et plus précisément le facteur de forme, et son taux dans le composite, la nature de l'essence (physiquement par l'aspect de surface de la fibre, plus ou moins rugueux, ce qui peut favoriser un ancrage mécanique de la fibre au sein de la matrice, chimiquement par la présence de composés polyphénoliques qui devraient améliorer l'affinité entre la fibre et la matrice PVC) [22].

Exemple de fibre de type déchets de menuiserie : **eucalyptus**

L'acide gallique, polyphénol présent dans certaines essences de bois permet d'augmenter le module élastique de 10 à 20% grâce à l'amélioration de l'adhésion fibre/matrice. De plus, ce polyphénol réagirait préférentiellement sur la lignine ou les hémicelluloses du bois tout en limitant la dégradation de la matrice PVC [22].

F. Adhésion Fibre/Matrice

L'adhésion entre les fibres et la matrice est sans doute le point le plus important au niveau des caractéristiques des matériaux composites. En effet, leurs propriétés mécaniques chutent si l'adhésion fibre/matrice est mauvaise [22].

Pour les WPC, ce phénomène est lié au fait que les fibres végétales sont hydrophiles et polaires alors que les polymères thermoplastiques couramment utilisés pour ces composites, sont hydrophobes et apolaires. Les études menées jusqu'à présent ont cherché à renforcer l'affinité de la matrice et des fibres de manière à en augmenter la force d'adhésion [22].

Dans le cas des WPC, de nombreuses méthodes et procédés sont mis en œuvre pour satisfaire au mieux la force d'adhésion. Ils peuvent être rassemblés en deux catégories : les traitements physiques et les méthodes chimiques [22].

a) Les Traitements Physiques

Modifient les propriétés structurales et superficielles des fibres et influencent surtout l'adhérence mécanique avec la matrice. Ils comprennent en particulier [22]:

- la fibrillation en surface, notamment par mercerisage (traitement alcalin) : traite des fibres végétales par une solution de soude concentrée fait gonfler la cellulose et rend la fibre plus rugueuse. Seul, ce procédé permet d'augmenter les propriétés mécaniques d'un composite à matrice thermoplastique.

- Le traitement par décharge corona active l'oxydation en surface de la fibre : augmente le nombre de groupements aldéhydes.

b) Les Modifications Chimiques

Des modifications chimiques permettent d'augmenter l'affinité chimique entre les fibres et la matrice. A part les agents de liaison, ces modifications comprennent également [22]:

- La copolymérisation avec greffage

- L'acétylation de la fibre lignocellulosique qui augmente sa stabilité thermique et favorise le mouillage à l'interface.

- L'imprégnation de polymères en milieu solvant

Ces quatre agents modifient la nature de la surface du bois, qui devient plus hydrophobe, et améliorent la contrainte au cisaillement [22].

La surface du bois ainsi traitée présente des caractéristiques chimiques différentes due à la présence du groupement amine ce qui renforcerait l'adhésion avec le PVC grâce au développement d'interactions acide-base et/ou ioniques [22].

En général, lorsque l'adhésion fibre/matrice est améliorée, cela se traduit par un module d'élasticité et une contrainte de rupture en traction plus élevés, et par un allongement à la rupture en traction et une résistance à l'impact plus faibles [22].

G. Avantages De Ces Composites :

Le remplacement de fibres minérales ou organiques par des fibres végétales est effectivement très avantageux, notamment dans le domaine des transports, la consommation énergétique et la participation à l'effet de serre (émissions de CO₂, CH₄, NO₂) lors de la fabrication et l'utilisation d'un composite à base de fibres végétales, sont nettement inférieures à celles du même polymère non chargé ou du composite renforcé par des fibres minérales. [22].

H. Inconvénients De Ces Composites :

Cependant, la fabrication et l'utilisation de composite à base de fibres végétales participent davantage à l'eutrophisation de l'eau et des sols à cause de l'utilisation d'engrais lors de la culture

de la plante. Modification de la couleur du matériau composite et l'apparition d'un farinage en surface des échantillons sont dues à l'action des rayons ultraviolets et de l'eau. En revanche, la perte des propriétés mécaniques est majoritairement liée à l'action de l'eau [22].

3.4.3 Exemple 3 : Les Mâchefers d'Incinération des Ordures Ménagères (MIOM)

A. Définition

Les mâchefers sont l'ensemble des résidus originaires de l'incinération des ordures ménagères ainsi que de la combustion du charbon. Ils représentent environ 20 à 25% de la masse initiale et 10% du volume incinéré.

Ces mâchefers, ou MIOM (mâchefers d'incinération d'ordures ménagères), sont constitués de métaux ferreux et non-ferreux, de nombreux minéraux comme la silice, verre, ou le calcaire et certains composés organiques. Ces MIOM peuvent être recyclés pour produire de l'acier, de l'aluminium [23].



Figure 3.6 : *MIOM sortie du four*

B. Composition :

Les MIOM ont une nature hétérogène en rapport avec leur origine détritique. Après les étapes principales de traitement que sont le déferrailage et le criblage, les mâchefers se présentent sous forme d'une grave 0/20 ou 0/31,5 mm conformément aux attentes des utilisateurs potentiels. Le pH basique du matériau oscille entre 10 et 12,5 [24].

La composition moyenne des mâchefers peut être définie d'une manière assez générale. Les éléments principaux constitutifs du matériau sont ainsi recensés [24]:

- la silice ;
- l'alumine ;
- le calcium ;
- les métaux ;
- les imbrûlés ;
- les sels ;
- l'eau.

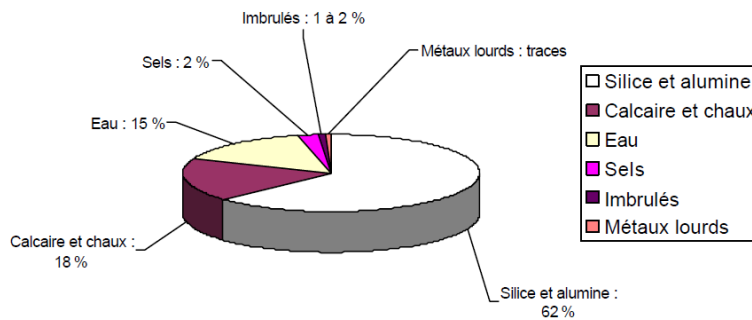


Figure 3.7 : Composition des mâchefers

C. Classification des MIOM :

Les MIOM en trois catégories « V, M et S », en fonction de leurs potentiels polluants et de leurs caractéristiques physico-chimiques [25] :

- **Catégorie V** : matériaux avec faible fraction lixiviable valorisable en techniques routières.
- **Catégorie M** : ce sont des matériaux valorisables s'ils évoluent (avec ou sans traitement) à la catégorie V après maturation maximale d'un an.
- **Catégorie S** : matériaux avec une forte fraction lixiviable qui doivent être acheminés vers un centre d'enfouissement technique de classe II, destiné à recevoir les déchets domestiques ou industriels banals

La réutilisation des mâchefers en tant que grave routière nécessite de répondre aux exigences de classification et de comportement mécanique conformément au guide technique de construction des routes [25].

D. Valorisations des mâchefers en techniques routier

Depuis quelques années, l'industrie routière utilise les MIOM comme matériaux de remblai, de couche de forme ou couche de chaussée dans les voiries secondaires ou dans des ouvrages à plus fort trafic [26]. Certaines propriétés des MIOM permettent d'envisager leur valorisation après un simple déferraillage. Leur comportement géotechnique peut dans certains cas leur permettre d'être assimilés à des graves et employés sur des chantiers de travaux publics. Mais pour cela ils doivent être séparés des cendres volantes, soumis à un traitement préalable [25].

Les MIOM sont utilisés dans les sous couches routières ou en remblai car ces derniers présentent des qualités géotechniques suffisantes. De plus pour que les conditions environnementales soient remplies, il est nécessaire que les mâchefers soient séparés des R.E.F.I.O.M (résidus d'épuration des fumées d'incinération d'ordures ménagères). Et afin d'être utilisés en technique routière il est préférable que les MIOM soient traités puis criblés pour éliminer les éléments de taille supérieure à 50 mm, afin de faciliter leur mise en œuvre et leur compactage. Un stockage de 6 mois est aussi conseillé pour permettre au matériau de se stabiliser et limiter les risques de gonflement, la mise en œuvre de ce matériau doit respecter des conditions d'humidité pour le compactage et le relargage vers le milieu environnant, de plus le compactage doit intervenir tout de suite après la mise en place. Ce lieu doit respecter les zones de protection des eaux. De plus, la relative fragilité des mâchefers limite leur utilisation aux sous couches de chaussées à faible trafic, à des zones piétonnières ou aux remblais [25].

Pour valoriser un mâchefer en technique routière, il faut élaborer des graves de mâchefers qui doivent présenter des caractéristiques géotechniques suffisantes pour être utilisées. Une fois traitées, ces graves ont des caractéristiques géotechniques très proches de celles requises pour les matériaux de remblai et de sous-couches routiers. C'est donc de cette manière que seront utilisées les graves de mâchefers. Les principales qualités d'un grave de mâchefers sont une bonne capacité à la compacité, une bonne résistance au gel, un faible potentiel polluant et de bonne propriété de drainage [25].

La structure routière se construit sous forme de couches réalisées avec des matériaux aux propriétés différentes. Les mâchefers peuvent se substituer à des matériaux naturels dans les couches de fondation, de forme ainsi que dans les remblais. Les critères de qualité et les précautions d'utilisation des mâchefers évoluent selon la couche destinataire du produit [24]

Il existe cependant des restrictions à leurs utilisations : ils doivent absolument être mis en œuvre à une distance suffisante de tous points d'eau, ces restrictions font d'ailleurs l'objet de textes de lois [25].



Figure 3.8 : Utilisation des MIOM en technique routière

E. Contrôle de la qualité :

Le Mâchefer d'Incinération d'Ordures Ménagères est valorisé en technique routière depuis plusieurs décennies. Les règles d'emploi ne datent cependant que de la circulaire du Ministère de l'Environnement de ses dernières années qui limite la valorisation des Mâchefers aux produits à faible potentiel polluant. Selon cette circulaire, le potentiel polluant des mâchefers est déterminé par un essai de lixiviation normalisé (NF X 31-210) de 100 grammes de mâchefer dans un litre d'eau pendant 16 heures à trois reprises. Cet essai permet de fixer les limites d'usage des MIOM en les classant en trois catégories S (stockable), M (maturable) ou V (valorisable). Mais tel qu'il est défini et utilisé, l'essai ne tient pas compte des scénarios d'utilisation. Il n'est donc pas prédictif du comportement, à moyen et long terme, du matériau lors de son emploi et à fortiori en technique routier [27].

L'utilisation des MIOM paraît toutefois possible à condition de respecter l'environnement et tout particulièrement les eaux fluviales et souterraines [25].

F. Nouvelle technologie de traitement des MIOM

Il a été démontré que les phénomènes de gonflements, lors de l'utilisation dans les ouvrages de travaux publics, étaient liés, en majorité, à la présence d'aluminium dans le mâchefer. Actuellement, les mâchefers destinés à une valorisation ultérieure subissent des opérations

mécaniques visant à les homogénéiser sur le plan physique avec notamment une extraction des métaux ferreux et non-ferreux. Ces opérations sont effectuées sur la fraction supérieure à 6 mm, la technologie existante ne permettant pas la récupération sur la fraction inférieure.

C'est dans ce contexte que des partenaires industriels, écoles d'ingénieurs et universitaires se sont associés au projet Néo-éco afin de réaliser une route durable à base de mâchefers issue d'une machine originale qui a pour objectif l'extraction des matériaux non-ferreux contenus dans la fraction fine. L'enjeu d'un tel partenariat est le développement des filières de valorisation des mâchefers par l'amélioration de leurs performances mécaniques.

L'utilisation des M.I.O.M en technique routière est une alternative à l'emploi de granulats naturels. Les enjeux de cette valorisation sont multiples. En effet, elle permet d'une part de préserver les carrières de granulats naturels et également de trouver une alternative à l'enfouissement des déchets qui est désormais interdit pour les déchets non ultimes [25].

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans une période où l'environnement prend une place de plus en plus grande, des quantités non négligeables de déchets sont encore mises en décharge ou simplement incinérées et leur volume est susceptible de croître dans les années à venir.

Différentes solutions de recyclage conduisant à une valorisation matière ou énergétique ont été développées au cours des deux dernières décennies. Les voies de traitement mécanique, thermique ou chimique ont été explorées et c'est ainsi qu'on est arrivé à valoriser les déchets en matériaux connus sous le nom de matériaux composites qui offrent plusieurs avantages tels que :

- La limitation des centres de stockage dont on cherche à réduire le nombre et l'usage.
- Minimiser l'impact environnemental global.
- L'enjeu technico-économique du recyclage des matériaux.
- La volonté d'assurer le développement durable d'une nouvelle écotecnologie pour la gestion optimisée de ces déchets.
- Une économie de transport puisqu'il s'agit de matériaux locaux.

Cela s'inscrit dans une démarche de développement durable car utiliser un déchet c'est préserver les matières premières naturelles. Les déchets peuvent ainsi se substituer aux importations de matériaux. Il est possible d'utiliser des fibres de bois d'essences issues des déchets de menuiserie avec une fine couche de PVC pour une protection durable des propriétés afin de fabriquer des composites PVC/bois pour applications extérieures. Ou encore, les mâchefers d'incinération des ordures ménagères, qui sont une très bonne alternative en technique routier et constituent un matériau du génie civil à part entière, ils sont avantageux tant d'un point de vue économique que technique et environnemental.

En toute légitimité, la valorisation des déchets ménagers est désormais reconnue comme le mode de gestion le plus respectueux de l'environnement et c'est aussi, bien souvent, réaliser une économie en termes financiers pour le citoyen-contribuable.

La voie reste ouverte, à d'autres utilisations et possibilités, permettant ainsi d'élargir la gamme des matériaux composites, de réduire les déchets à la source et de développer l'utilisation des matériaux recyclés dans tous les domaines.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] M. MURAT « Valorisation de déchets et des sous-produits industriels, les objectifs scientifiques de Demain » Boulevard Saint Germain, Boudain, Paris, 1981, pp.
- [2] S. FENTIZ et S. BENNADIR, «la gestion des déchets ménagers : Cas d'étude du centre d'enfouissement technique de « Bamendil » Ouargla,» Mémoire Master Académique en génie des procédés, Ourgla, 2013.
- [3] Y. KEHILA «Rapport sur la gestion des déchets solides en Algérie,» GIZ, D.Waste, 2014
- [4] Radio Algérienne, «Plus de 23 millions tonnes de déchets enregistrés au niveau national en 2016,» fi bladi. 04 2017 [En ligne]. Available : www.fibladi.dz. [Accès le 05 2017].
- [5] A. CHANANE «Analyse des couts de la gestion des déchets ménagers en Algérie à travers la problématique des décharges publiques : Cas des communes de la wilaya de Tizi-Ouzou,» revue campus N°10, Tizi Ouzou.
- [6] J-B. BAHERS, «Dynamiques des filières de récupération, recyclage et écologie territoriale : l'exemple du traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) en Midi-Pyrénées,» Thèse de Doctorat en géographie et aménagement, 2012.
- [7] Observatoire Régional des Déchets en Bretagne, «Une production de déchets en augmentation modérée,» 2014. [En ligne]. Available : www.observatoire-déchets-bretagne.org. [Accès le 05 2017].
- [8] G. MIQUEL et S. POIGNANT, «Recyclage et valorisation des déchets ménagers rapport 415(98- 99),» office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques – Source ADME, 1998-1999. [En ligne]. Available: www.senat.fr. [Accès le 05 2017].
- [9] R. BRUNET, R. FERRAS, H. THERY « Les mots de la géographie, dictionnaire critique,» chez La documentation française, coll. Dynamiques du territoire, Paris, Reclus, 1992, p. 518.
- [10] J-M. BALET « Aide-mémoire de la gestion des déchets. Etat de lieux (2ed) », Paris : Dunod, 2008, pp. 7,94.
- [11] Décret n°84-378, les conditions de nettoyage d'enlèvement et du traitement des déchets solides urbains du 15 décembre 1984, Alger: FAO, FAOLEX, 1984.
- [12] M. KPPE, «Etude des voies de valorisation des déchets ménagers au Bénin : Cas de la ville d'Abomey-Calavi,» thèse de doctorat en énergétique et environnement pp. 9,10,11. 2015
- [13] Y. DJEBLOUN, «Etude Bibliographique : Etude de la rupture en mode d'ouverture des matériaux composites» Thèse de Master, Université Mohamed Khider Biskra, Biskra, 2004.
- [14] L. GENDRE, «Matériaux composites et structures composites,» ENS Cachan, Université Paris Saclay, Paris, 2011.

- [15] Méca, «Que est ce qu'un matériau composite ?» [En ligne]. Available : www.cluster-meca.fr. [Accès le 05 2017].
- [16] Félix Création, «des idées vertes,» Roubaix-France, [En ligne]. Available: www.compositec.com/compositec-promotion/les-matériaux-composites. [Accès le 05 2017].
- [17] L. GORNET, Généralités sur les matériaux composites (V1), Engineering School 2008, Nantes : HAL archives- ouvertures, ECN Centrale, pp. 3-15.
- [18] Technique de l'ingénieur, «Matériaux composites à matrice céramique et à renfort par fibres longues».
- [19] M. REYNE, «les composites,» Collection : Que sais-je? Paris Presses, France, 1995.
- [20] Centre d'animation Régional en Matériaux avancés, «Glossaire des Matériaux composites,» 2004.
- [21] Marine Tendances, «Que ce que le bois composites,» OCEWOOD, 20 11 2013. publication de blog [En ligne]. Available : www.tendances-composite.com/le-blog/ [Accès le 05 2017].
- [22] L. AUGIER, « Elaboration de matériaux composites PVC/bois à partir de déchets de menuiserie ; formulation, caractérisation, durabilité et recyclabilité » Thèse de doctorat en science des agroressources, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2007.
- [23] Futura Science, «developpement durable : Machefers,» [En ligne]. Available: www.futura-sciences.com. [Accès le 05 2017]
- [24] Cercle Nationale du recyclage, «Quel devenir pour les machefers d'incinération d'ordures menager ?» Publication de l'association CNR 2001.
- [25] H. CHENNOUK et O. EL MAATAOUI, «Valorisation des Mâchefers des Ordures Ménagères en technique routière : bilan et évolution des technologies du traitement,» Thèse de doctorat, Ecole des mines de DOUAI, 2014.
- [26] N. HUNG, «contribution à la modalisation du comportement mécanique d'un matériau hétéro phase dématérialisé issu d'un mâchefer d'incinération d'ordures ménagères : valorisation en génie civil,» Thèse de doctorat, Ecole des mines de DOUAI, 2011.
- [27] I. DROUADAIN et B. BARTET, «Valorisation des MIOM en technique routière : suivi environnemental de produits routiers à base de MIOM sur chaussées tests,» Colloque MIOM, Orléans-France, 2001.