

**Rapport de stage Master II Génie des procédés
Réalisé par Ali AL-HAMZAWI**

***Valorisation de broyats automobiles
dans le domaine du Bâtiment et
des Travaux Publics***

Le maître de stage :

Professeur émérite, Michèle QUÉNEUDEC-T'KINT
Maître de conférences, Rose-Marie DHEILLY

Le responsable pédagogique :

Maître de conférences, Émilie CARRETIER

Stage réalisé au sein de l'*Equipe Ingénierie des Matériaux et des Procédés (IMaP)*
Laboratoire Eco-Procédés, Optimisation, Aide à la Décision (EPROAD) EA4669
Du 24 mars 2014 au 26 septembre 2014

RESUME

Ce travail a été effectué dans le cadre d'une collaboration entre l'équipe ingénierie des matériaux et procédés (IMaP) de l'Unité de recherche EPROAD (EA 4669) et la société DERICHEBOURG afin d'évaluer la faisabilité d'une valorisation matière des Résidus de Broyage Automobile (RBA).

Aujourd'hui, le recyclage ou la valorisation énergétique des RBA sont des techniques reconnues mais peu pratiquées. L'atteinte des objectifs de la directive européenne 2000/53/CE concernant les ~~de~~ VHU, dépend pourtant du développement de ces techniques ou de la mise en place d'autres techniques de valorisation.

Le but principal est donc de trouver de nouvelles voies de valorisation matière de résidus de broyage automobile dans le domaine du Bâtiment et des Travaux Publics.

Les caractéristiques des granulats de RBA ont été déterminées afin de formuler les matériaux étudiés. Ensuite, les déchets de RBA, sont valorisés par deux types de procédés. Quatre matières issues de RBA sont été incorporées à des matrices cimentaires pour fabriquer des bétons et la dernière a été agrégée par trois liants protéiques afin de produire des panneaux isolants.

Cette étude comprend deux parties. La première consiste à comparer les propriétés d'un béton de référence à celles des bétons incorporant des granulats de résidus de broyage automobile (RBA), et la deuxième à élaborer des panneaux isolants par agrégation de la poudre de polyuréthane.

Des essais thermiques et physicomécaniques sont effectués sur les matériaux afin d'évaluer leur potentialité. Les résultats obtenus sont encourageants et laissent envisager un développement ultérieur de certains des matériaux élaborés dans le domaine de la construction.

Abstract

This work is an opportunity to begin a collaboration between the processes and materials engineering group (IMaP) of the unit of research EPROAD (EA 4669) and the company DERICHEBOURG for DERICHEBOURG for Mechanical recycling of Automotive Shredder Residue (ASR).

Today, recycling or energy valorization from ASR are recognized techniques but little practiced. Achieving the EU Directive 2000/53 / EC ELV. Achieving the EU Directive 2000/53 / EC ELV, depends on the development of these techniques or the establishment of other techniques.

The main objective is therefore to find new ways of material recovery from automotive shredder residue in the field of building and public works.

In order to formulate the studied materials, the characteristics of the aggregates of ASR were been analyzed.

Then waste ASR are valued by two types of processes. Four materials ASR are incorporated in cement matrices to fabricate concrete and the last has been aggregated by three protein binders to produce insulating panels.

thermal and physical-mechanical tests are performed on materials to estimate their environmental durability. The results obtained are encouraging and enable to foresee a later development of these materials in the field of construction.

Remerciements

Le présent travail a été effectué au laboratoire de recherche EPROAD au sein de l'équipe IMaP à l'Université de Picardie Jule Verne d'Amiens et a été financé par la Société Derichebourg.

Tout d'abord, je tiens à remercier Mesdames Michèle QUÉNEUDEC-T'KINT et Madame Rose-Marie DHEILLY pour m'avoir accueilli au sein de leur équipe et m'avoir encadré tout au long de mon travail. Je les remercie pour leurs conseils, leurs critiques, leurs soutien et pour avoir contribué à enrichir ma culture scientifique.

Je remercie également Messieurs Emmanuel BURNAND et Andréa GARBARINI de la société Derichebourg pour m'avoir accordé la confiance et donner une grande liberté dans la réalisation de ce travail.

Je remercie énormément l'ensemble du personnel du laboratoire EROAD notamment les membres de l'équipe IMaP pour leurs collaborations. Je tiens à remercier particulièrement Monsieur Léon Brice MBOUMBA-MAMBOUNDOU pour m'avoir formé à la réalisation des tests thermiques et aussi à la réalisation de certaines manipulations. Je remercie également Monsieur Justin HOUESSO qui m'a aidé à la réalisation des tests mécaniques.

J'aimerais enfin remercier ma famille et mes amis pour leur soutien et leurs encouragements pendant cette période.

SOMMAIRE

CHAPITRE I/ INTRODUCTION	1
I.1. Introduction générale	2
1.2. Présentation de l'Unité de Recherche EPROAD et de l'Equipe IMaP)	3
I.3. Présentation de l'entreprise Derichebourg	4
I.4 Véhicules Hors d'Usage	5
I.5 Résidus de broyage automobile (RBA)	6
I.6 Valorisation des déchets	7
I.7. Valorisation des résidus de broyage automobile(RB1)	8
I.7.1. Valorisation énergétique	8
I.7.2. Valorisation matière dans le domaine de construction	9
I.8. Le béton	9
CHAPITRE II / MATERIAUX DE BASE ET METHODOLOGIE	10
EXPÉRIMENTALE	
II.1. Matières premières	11
II.1.1. Matières premières pour la fabrication des panneaux isolants	11
II.1.2. Matières premières pour la fabrication des bétons	11
II.1.2.1. Les granulats	11
II.1.2.2. Le ciment	12
II.1.2.3. L'eau de gâchage	13
II.1.2.4. Le sable	13
II.2. Techniques expérimentales	13
II.2.1. Méthodes de caractérisation physique des matières à valoriser	13
II.2.1.1. Les masses volumiques	14
II.2.1.1.1. La masse volumique apparente	14
II.2.1.1.2. La masse volumique réelle	14
II.2.1.2. Absorption d'eau	15
II.2.1.3. Analyse granulométrique	15
II.2.2. Procédés expérimentaux	15
II.2.2.1. Premier procédé : Élaboration de matériaux cimentaires	15
II.2.2.1.1. Fabrication des éprouvettes	16
II.2.2.1.2. Détermination de la maniabilité	17
II.2.2.1.3. Conservation des éprouvettes de béton	17
II.2.2.2. Deuxième procédé : agro-liants	18
II.2.3. Comportements mécaniques	18
II.2.3.1. Résistance mécanique à la flexion	18
II.2.3.2. Résistance mécanique à la compression	20
II.2.4. Absorption capillaire d'eau	21
II.2.5. Détermination des caractéristiques thermo-physiques	22
II.3. Conclusion	23

Chapitre III : Résultats et Interprétations	24
III.1. Caractéristiques physiques des matériaux	25
III.1.1. Masses volumiques	25
III.1.2. Absorption d'eau	26
III.1.3. Analyse granulométrique	27
III.2. Caractéristiques physicomécaniques des matériaux élaborés	28
III.2.1. Masse volumique du béton durci	28
III.2.2. Comportement mécanique	29
III.2.2.1. Résistance mécanique à la flexion	29
III.2.2.1.1. Résistance mécanique à la flexion des différents bétons réalisés	29
III.2.2.1.2. Résistance mécanique à la flexion des panneaux isolants	30
III.2.2.2. Résistance mécanique à la compression	31
III.2.3. Absorption Capillaire d'eau	31
III.2.4. Propriétés thermo-physiques	33
III.2.4.1. Conductivité thermique de bétons	33
III.2.4.1.1. Propriétés thermiques des bétons de la famille RBl	33
III.2.4.1.2. Propriétés thermiques des bétons de fibre et de sable magnétique	34
III.2.4.2. Propriétés thermiques des panneaux isolants	35
III.3. Conclusion	35
Références	37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Composition moyenne en masse des VHU	5
Tableau 2 : Composition chimique du ciment	12
Tableau 3: Résultats d'analyse chimique de l'eau utilisée	13
Tableau 4 : Masse volumique apparente des différents échantillons	25
Tableau 5 : Masse volumique réelle des différents échantillons	25
Tableau 6 : propriétés thermiques des bétons de la famille RB1	33
Tableau 7: propriétés thermiques des bétons de sable magnétique SM et de Fibre F	34
Tableau 8 : propriétés thermiques des panneaux isolants	34

LISTE DES FIGURES

Figure1: Schéma simplifié du traitement d'un VHU	7
Figure 2 : Poudre de polyuréthane PPU et traces d'impuretés métalliques	11
Figure 3 : Matières premières pour la fabrication des bétons	12
Figure 4: Analyse granulométrique du sable	13
Figure 5 - malaxeur à mortier normalisé	16
Figure 6 : Maniabilimètre normalisé	17
Figure 7 : Dispositif de mesure de la résistance à la flexion	19
Figure 8 : Essai de résistance à la flexion	19
Figure10 : Dispositif de rupture en compression	20
Figure 11. Dispositif expérimental de mesure du coefficient d'absorption capillaire	21
Figure 12 : dispositif de la TPS	23
Figure 13 : Évaluation de l' absorption d'eau	24
Figure 14 : Courbe granulométrique	27
Figure 15 : Masses Volumiques des Bétons Durcis	28
Figure 16 : Résistance mécanique à la flexion des bétons de RB1 et de LM en fonction du taux de substitution du sable	29
Figure 17 : Résistance mécanique à la flexion du béton de référence R°, des bétons élaborés avec du sable magnétique : SM ou des fibres :F	30
Figure 18 : Résistance mécanique à la flexion des panneaux isolants en fonction de la pourcentage des agro liants	30
Figure 19 : Absorption d'Eau par Capillarité des Bétons de résidus de broyage RB1 et des Bétons de lourd minéral LM par rapport au béton « référence »	31
Figure 20 : Évolution de la conductivité thermique en fonction des masses volumiques apparentes des bétons de résidus de broyage RB1	33

CHAPITRE I

INTRODUCTION

I.1. Introduction générale

Aujourd'hui, la valorisation des déchets joue un rôle primordial dans la protection de l'environnement, considérée comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre la production et la consommation.

Chaque année en France, les véhicules hors d'usage (VHU) sont estimés à (1,2 - 1,5) millions. Environ 75% du poids des VHU sont constitués de métaux (ferreux et non ferreux) qui sont recyclés sans difficulté. Les 25% restants représentent les Résidus de Broyage Automobile (RBA), désignant la partie non métallique des VHU, difficilement valorisables à cause de leur nature hétérogène (verre, plastique, caoutchouc, mousse, etc.)[1].

Ce stage est l'occasion de commencer une collaboration entre l'équipe IMaP de l'Unité de recherche EPROAD (EA 4669) et la société Derichebourg pour la valorisation matière des Résidus de Broyage Automobile (RBA) suivants :

- les fibres et les plastiques en mélange issus de l'unité ECOVAL,
- les fractions minérales issues du chantier COREPA,
- les mousses PUR issues des GEM F (FRICOM).
- la fraction minérale contenant le verre issu des VHU.

L'objectif principal de ce stage est d'évaluer les potentialités de valorisation matière de résidus de broyage automobile. Cela permettra :

- D'éliminer les déchets de résidus de broyage par recyclage d'où protection de l'environnement.
- D'aider à résoudre certains problèmes liés au manque de granulats naturels pour la fabrication du béton.
- De produire des panneaux d'isolation thermique avec une faible consommation d'énergie.

Nous avons testé deux procédés pour la valorisation matière:

1. Les quatre matières suivantes : (résidus de broyage RB: Plastique sans Broyeur Alpine : RB1, Fibre (mousse) : F, Sable Magnétique : SM, Lourd Minéral (Cailloux + Verre) : LM), ont été incorporées à des matrices cimentaires.
2. La mousse de polyuréthane (PUR) broyée et dégazée a été agrégée par trois types de liants protéiniques « liant 1, liant 2 et liant 3 »

Ce mémoire de stage qui résume les travaux effectués se compose de trois parties :

- I. Le premier chapitre consiste à présenter l'unité de Recherche EPROAD et l'entreprise Derichebourg ainsi que les étapes de traitement des VHU et les différents procédés de valorisation existant pour les résidus de broyage.
- II. Le deuxième chapitre présente les matériaux utilisés ainsi que l'ensemble des outils scientifiques et les techniques expérimentales permettant la caractérisation thermique et physicomécanique des échantillons testés.
- III. Le troisième chapitre rassemble les résultats expérimentaux et leur analyse.

1.2. Présentation de l'unité de Recherche EPROAD et de l'Equipe IMaP.

EPROAD est une Unité de Recherche fondée sur la fédération de compétences scientifiques en génie du produit, en modélisation des matériaux et des procédés, en recherche opérationnelle et aide à la décision. Cette fédération a pour objectif d'optimiser la gestion des écosystèmes industriels, en appréhendant les systèmes industriels et leur synergie, notamment dans les domaines de l'optimisation des procédés et l'ingénierie de la logistique.

L'unité de recherche EPROAD est structurée autour de deux équipes thématiques :

- Ingénierie des Matériaux et Procédés (IMAP)
- Recherche Opérationnelle et Aide à la Décision (ROAD).

Ces deux équipes de recherche sont épaulées par un axe transversal dédié à l'Ingénierie De la Logistique (IDL) et notamment la logistique organisationnelle, opérationnelle et ses applications.

L'équipe IMaP regroupe des compétences multiples autour de la conception, l'optimisation, l'analyse et la modélisation de nouveaux multi matériaux (composites et systèmes dispersés) ainsi que de leurs procédés d'élaboration et de mises en œuvre peu énergivores.

Les matériaux développés sont conçus pour apporter une contribution au Développement Durable, avec, pour objectifs, la diminution de la consommation d'énergie, à la fabrication et en service, la recyclabilité et la biodégradabilité, l'utilisation de ressources renouvelables (coproduits des agro-industries) ou de matières premières secondaires (déchets industriels banals, déchets de post-consommation), la proximité des ressources, la prise en compte de leur acheminement et de celui des produits intermédiaires ou finis.

L'équipe IMaP accorde une attention particulière à la relation produit/procédé et à l'analyse de qualité du produit. Ce dernier point suppose la détermination des caractéristiques intrinsèques des produits élaborés mais aussi leur comportement sous sollicitations externes et l'analyse de leurs performances dans l'objectif d'une fonctionnalisation. L'équipe prend en compte le contrôle du matériau depuis son élaboration jusqu'à sa fin de vie.

En ce qui concerne les procédés, les objectifs, outre les performances, prennent en compte la limitation des rejets et de la consommation d'énergie ainsi que la sécurité industrielle.

La démarche de modélisation permet de sécuriser le changement d'échelle du procédé vers une installation industrielle et de limiter les essais expérimentaux de faisabilité parfois longs et coûteux.

Les domaines investis ces dernières années sont ceux de l'Ingénierie des bétons spéciaux et de composés 100% agrosourcés : agroadjuvants, agropolymères (applications dans le domaine des liants et des colles), agrocomposites.

1.3. Présentation du groupe Derichebourg

Derichebourg occupe une place de leader au niveau international dans deux domaines :

- Les services à l'environnement : recyclage et valorisation des biens en fin de vie, gestion des déchets industriels et ménagers, propreté urbaine...
- Les services aux entreprises : propreté, énergie, aéronautique, intérim ...

En ce qui concerne Derichebourg environnement, citons :

- Le recyclage de ferrailles et métaux non ferreux et de biens de consommation en fin de vie : filiales en France : Revival (IDF), Eska (Est), Purfer (Rhone-Alpes - PACA - Languedoc-Roussillon), AFM (Ouest), STRAP (Nord) ; filiales en Belgique (George), au Mexique (Derichebourg Recycling Mexico), aux États-Unis (Derichebourg Recycling USA), en Allemagne (Derichebourg Umwelt), Espagne (Derichebourg Medio Ambiente), Italie (CRS)
- Le recyclage de l'inox et de l'aluminium : filiales Inorec et Refinal en France ;
- Le recyclage des DEEE : filiales Fricom, Valme et Corepa en France ;
- La collecte des ordures ménagères : filiales Polyurbaine en France et San Germano en Italie
- La collecte des déchets recyclables (plastiques, pneus, verre, DEEE ...) : filiale Eco-Phu en France.

Soit 3800 collaborateurs, 150 plates-formes de recyclage dans le monde dont 130 en France, 25 filiales dans le monde. Le recyclage de métaux ferreux et non ferreux recyclés s'élève à 6 millions de tonnes et les pneumatiques à 5 millions de tonnes.

1.4. Véhicules Hors d'Usage

Un véhicule hors d'usage (VHU) est un véhicule en fin de vie, « usé », ou un véhicule accidenté [1]. Selon la directive européenne 2000/53/CE [2], un véhicule hors d'usage désigne tout type de véhicule (voiture) qui constitue un déchet. Cette directive, qui a été transposée en droit français en 2003 via le décret n° 2003-727 du 01/08/2003 [3], a pour objectif de prévenir la création de déchets provenant de véhicules hors d'usage et de promouvoir la collecte, la réutilisation et le recyclage de leurs composants afin de préserver l'environnement.

La directive européenne 2000/53/CE [2] impose aux États membres d'atteindre des objectifs en matière de réutilisation, de recyclage et de valorisation des composants et des matériaux pour les VHU comme suit:

- 1er janvier 2006 : un minimum de 80 % de réutilisation et recyclage avec un minimum de 85% de valorisation totale en poids moyen par véhicule et par an ;

- 1er janvier 2015 : un minimum de 85 % de réutilisation et recyclage avec un minimum de 95% de valorisation totale en poids moyen par véhicule et par an.

Les VHU ont un âge moyen de 14 années et un poids moyen de 910,1 kg par véhicule après extraction du carburant et des déchets ou pièces rajoutées [4]. La composition moyenne des principaux matériaux qui les composent est donnée au tableau 1.

En France, on estime que le nombre des VHU varie de 1,2 à 1,5 million par an, contre 9 à 11 millions par an en Europe ces dernières années [1].

Tableau 1 : Composition moyenne en masse des VHU ; Selon l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)[1]

Catégorie	Poids (kg)	(%) de la masse totale du véhicule	(%) de la masse de la carcasse	Détails
Pièces démontées à la dépollution	22,3	2,45	-	Fluides, batterie
Pneus	36	3,96	-	Caoutchouc, fibres, noir de carbone
Métaux ferreux	606,8	66,67	71	Carrosserie
Métaux non ferreux	73	8,02	8,6	Radiateur, ...
Plastiques (hors polyuréthane)	103	11,32	12,3	Bouclier avant, tableau de bord, rétroviseurs, ...
Polyuréthane	20	2,20	2,3	Mousses, ...
Verres	29	3,19	3,4	Pare-brise, vitres latérales, vitre arrière
Autres	20	2,20	2,3	peinture, bois, textile, ...

Aujourd'hui parmi les activités de recyclage développées dans les sociétés modernes industrielles, le traitement des VHU est l'une des plus importantes. Les filières du recyclage et de la valorisation des VHU sont encadrées en France et en Europe par des lois visant à organiser la structure du traitement industriel depuis la collecte jusqu'à la mise en décharge des résidus de broyage [5].

1.5. Résidus de broyage automobile (RBA)

Les résidus de broyage automobile (RBA) désignent la partie non métallique des VHU, difficilement valorisables car ils sont hétérogènes (verre, plastique, caoutchouc, mousse, etc.).

Le résidu de broyage automobile (RBA) est le broyat obtenu à l'issue des opérations de valorisation suivantes sur les VHU [6]; voir figure 1.

1. Dépollution :

Après collecte, le VHU est débarrassé de tous les éléments qui menacent l'environnement (carburant, huiles de vidange, liquides de freins, de direction, batteries au plomb et autres éléments nuisibles à l'environnement).

Ensuite, chacun de ces composants est acheminé vers des filières de valorisation ou d'élimination spécifiques. Cette étape est obligatoire pour séparer tous les composants considérés comme des déchets dangereux.

2. Extraction et/ou démontage :

Durant cette étape, toutes les pièces en bon état sont démontées, nettoyées et contrôlées afin d'être négociées en tant que pièces d'occasion. Les composants du véhicule, impropres à la vente, sont envoyés vers des filières de valorisation-matière ou énergétique (verres, pneumatiques, mousses et plastiques).

3. Broyage des VHU et tri des métaux :

Après la dépollution et le démontage, les carcasses de VHU sont amenées sur un site de broyage. En sortie de broyeur il y a un premier tri entre les métaux ferreux et non ferreux (aluminium, cuivre, etc...) et les Résidus de Broyage Automobile (RBA), par l'unité de séparation. Puis, les matières sont convoyées jusqu'au tambour magnétique qui permet d'effectuer la séparation entre les métaux ferreux et non ferreux.

Les métaux ferreux sont ensuite recyclés par les aciéristes et par les affineurs les métaux non ferreux.

4. Traitement des Résidus de Broyage (RB) :

Les Résidus de Broyage Automobile (RBA) représentent un déchet hétérogène (plastique, textile, caoutchouc, verre...), c'est-à-dire de matériaux plus variés et plus difficiles à valoriser techniquement ou économiquement.

Une quantité importante de ces résidus va encore aujourd'hui en centres de stockage (décharges autorisées). Améliorer le recyclage et la valorisation des matières contenues dans ces résidus dans un cadre économique maîtrisé constitue un enjeu important dans la perspective de l'atteinte de l'objectif de 95 % de valorisation à l'échéance 2015.

Une grande partie des Résidus de Broyage est actuellement incinérée avec récupération d'énergie ou utilisée comme combustible de substitution en cimenterie.

Parfois, ils sont triés pour récupérer les fractions qui pourront être recyclées comme matériaux (tels certains plastiques) [7] .

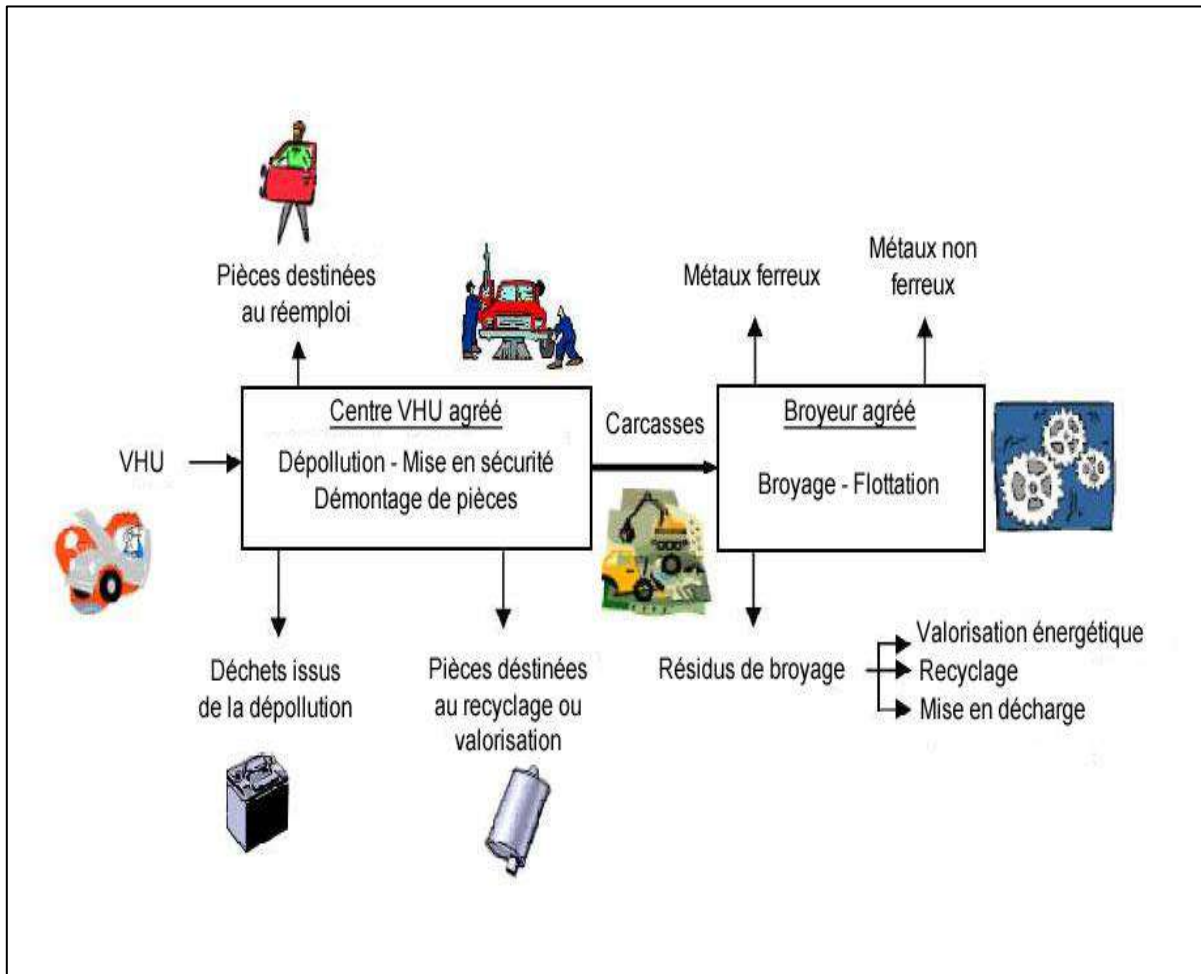


Figure1: Schéma simplifié du traitement d'un VHU (Source : ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie)).

1.6. Valorisation des déchets

La valorisation (ou le recyclage des déchets) consiste à réintroduire un déchet dans un processus de production d'énergie, d'une nouvelle matière, d'un nouvel objet, mais également, de toute opération visant la réutilisation d'un produit fini considéré comme un déchet, dans une application pouvant être différente de celle d'origine [8].

Il existe trois grandes familles de techniques de valorisation :

i. Valorisation énergétique

La valorisation énergétique ou thermique rassemble toutes les opérations qui permettent de produire l'énergie calorifique. Ce type de traitement permet la valorisation énergétique de la partie organique du composite. Pour atteindre cet objectif, il existe plusieurs techniques telles que l'incinération, la pyrolyse ou la thermolyse. Cette énergie calorifique peut être utilisée sur place (chauffage) ou

transformée par la suite en énergie électrique, en fonction des besoins du moment ou du lieu de traitement.

ii. Valorisation matière

Elle est appelée également, recyclage mécanique, il s'agit de toute opération de traitement qui permet de réintroduire la matière du déchet pour produire d'un nouvel objet.

Dans ce cas, il n'y a pas de destruction chimique des matières, tout au plus quelques modifications de leurs propriétés physiques, par exemple la valorisation des déchets par un mortier cimentaire.

iii. Recyclage chimique

Il s'agit de tout processus de traitement qui utilise une réaction chimique pour traiter les déchets dans le but de réaliser des produits chimiques intermédiaires utilisables pour de nouvelles synthèses, par exemple le traitement chimique de polyéthylène téréphtalate (PET)

1.7. Valorisation des résidus de broyage automobile (RBA)

Aujourd'hui, sur le poids total d'un véhicule hors d'usage, on sait recycler 70% sous forme de ferrailles et 5% sous forme de métaux non ferreux.

L'enjeu pour répondre aux exigences de la directive européenne sur les VHU porte donc sur les 25 % restants qui représentent les résidus de broyage automobiles (RBA). Dans les faits, les professionnels ne savent pas trop quoi faire de ces résidus.

La plupart des recherches scientifiques et industrielles menées sur les RBA peuvent être classées en deux catégories : la valorisation énergétique et la valorisation matière comme par exemple, le recyclage des pneus usagés dans le domaine de construction.

1.7.1. Valorisation énergétique

Le pouvoir calorifique que le RBA possède est estimé entre 14 et 30 MJ/kg, et considéré comme un élément remarquable pour la récupération d'énergie [9].

Cependant, la haute teneur en chlore, la concentration élevée de métaux lourds et la haute teneur en cendres limitent son utilisation en tant que substitut de combustible.

L'objectif des techniques avancées de récupération secondaire pour la production du combustible issu des déchets consiste à séparer le RBA puis à isoler les matériaux combustibles à faible teneur en cendres, en halogènes et en contaminants. Les fractions d'halogène et de métaux lourds ont besoin d'un traitement supplémentaire et d'une gestion rationnelle des déchets, ce qui peut représenter un défi. La fraction la plus fine du RBA possède généralement la teneur la plus élevée en cendres et en huile minérale, ainsi que le pouvoir calorifique le plus bas. Les composants polymères halogénés tels que le PVC ou le caoutchouc sont les sources principales des concentrations élevées d'halogène qu'on retrouve souvent dans les RBA. L'élimination du PVC provenant du RBA est un moyen simple de réduire la concentration totale de chlore.

Les procédés de valorisation énergétique pour RBA les plus utilisés au plan industriel sont l'incinération, la co-combustion dans des cimenteries, la gazéification et la pyrolyse. Ces procédés sont des techniques reconnues mais peu pratiquées. L'atteinte de la directive

européenne de VHS dépend pourtant du développement de ces techniques ou de la mise en place d'autres techniques de valorisation.

1.7.2. Valorisation matière dans le domaine de construction

L'incorporation des RBA dans des matériaux de construction notamment les pneus usagés dans le secteur du bâtiment et les travaux routiers a déjà fait l'objet de nombreux travaux de recherche [10, 11, 12]. Citons également les travaux de l'équipe IMaP avec l'incorporation de caoutchouc [13 - 52] et de plastique [53- 64] dans le béton. Ces travaux présentent l'intérêt de produire des bétons légers et isolants. On trouve également des travaux concernant les polymères [65], les métaux [66], les mousses et textiles en panneau d'isolation [67].

La valorisation des RBA dans le domaine de la construction répond, simultanément au souci de l'épuisement des ressources en matériaux de construction (notamment en granulats naturels) et à la nécessité de diminuer la quantité de déchets. C'est ainsi que l'utilisation de granulats de substitution se développe et que plusieurs types de déchets ont été incorporés, soit comme agrégats dans le béton, soit comme ajout dans les techniques routières.

1.8. Le béton

Le béton est un matériau de construction formé par le mélange de ciment, de granulats et d'eau, éventuellement complété par des adjuvants. Les granulats utilisés pour la confection du béton traditionnel proviennent de matériaux naturels alluvionnaires, sables et graviers, ou de concassage de roches éruptives ou sédimentaire. Leur masse volumique est normalement comprise entre 2200 et 2500 kg/m³. Le béton est un matériau qui permet le recyclage et le réemploi de certains déchets industriels ou domestiques [68] :

- fumée de silice : résidus de filtration des fumées de fours à arc,
- laitier de haut fourneau : résidus de fabrication de la fonte et de l'acier servant à la fabrication de certains ciments,
- sulfonates : composés chimiques issus de l'industrie papetière utilisés sous forme de plastifiant,
- polyphénols : composés chimiques issus de l'industrie pétrolière utilisés sous forme de plastifiants,
- farines animales : produits issus du traitement des carcasses animales, utilisés par combustion dans la fabrication du ciment,
- cendres : utilisation des résidus de brûlage des centrales à charbons sous forme de filler.

CHAPITRE II
MATIÈRES DE BASE ET METHODOLOGIE
EXPÉRIMENTALE

II.1. Matières premières

II.1.1. Matières premières pour la fabrication des panneaux isolants

Parmi les cinq matériaux des résidus de broyage, la poudre de polyuréthane PUR a été mélangée avec trois types d'agro liants pour fabriquer des panneaux isolants. La formulation de ces agro liants est confidentielle.

Ces poudres fournies par la société Derichebourg sont obtenues par broyage de la mousse des sièges de véhicule hors d'usage (VHU) figure 2. Nous remarquons la présence d'impuretés métalliques dans cette poudre de polyuréthane.



Figure 2 : Poudre de polyuréthane PPU et traces d'impuretés métalliques (cercles rouges)

II.1.2. Matières premières pour la fabrication des bétons

I.2.2.2. Les granulats

Les granulats de résidus de broyage utilisés en remplacement total ou partiel du sable (granulat naturel) et provenant du recyclage de véhicule hors d'usage (VHU) par la Société Derichebourg, sont des *résidus de broyage sans broyeur Alpine : RB1*, des *Fibres (mousse) : F* ; du *Sable magnétique : SM* et du *Lourd Minéral (Cailloux + Verre) : LM*. Les différents granulats sont de nature organique, sauf le Lourd Minéral figure 3

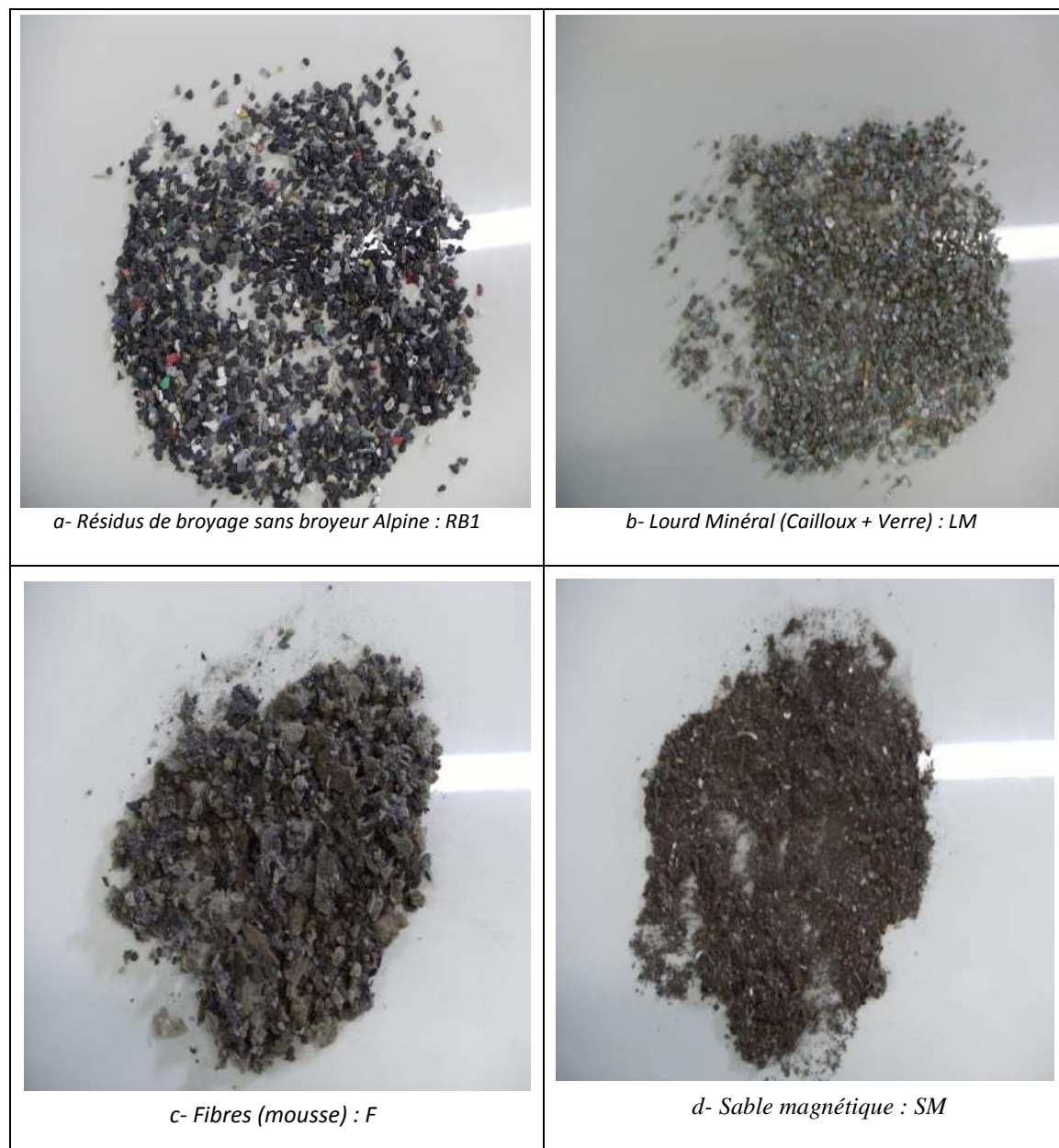


Figure 3 : Matières premières pour la fabrication des bétons

II.1.2.2. Le ciment

Le ciment que nous avons utilisé pour la confection des bétons est un ciment Portland ordinaire CEM I 52,5 N CP2 fourni par la Société Calcia (usine de Gaurain) tableau 2.

Tableau 2 : Composition chimique du ciment (valeurs moyennes en %)

composé chimique	Clinker $\geq 95\%$			SO ₃	Classe	Na ₂ O Équivalent Actif
	C3A	C3S	C ₂ S		CP2 (ions sulfures S ²⁻)	
Pourcentage massique(%)	9	69	10	3,3	0,02	0,63

I.1.2.3. L'eau de gâchage

L'eau utilisée provient du réseau d'eau d'Amiens. Les résultats de l'analyse chimique de l'eau utilisée répondent aux prescriptions de la norme NF EN1008, ceux-ci sont représentés Tableau 3 : Résultats d'analyse chimique de l'eau utilisée dans le tableau 3.

Tableau3: Résultats d'analyse chimique de l'eau utilisée

pH	T °C	Dureté TH	Calcium	Conductivité	Odeur	Saveur	Goût
7,5	18 °C	26 °f	104 mg/L	580 µS/cm	Bonne	Bonne	Bonne

I.1.2.4. Le sable

Le sable utilisé pour la fabrication des mortiers, est fourni par Cantillana, ne subit aucun traitement après son arrivée au laboratoire, à l'exception d'un séchage à l'étuve, jusqu'à masse constante. Sa masse volumique apparente est 1604 kg/m³.

L'analyse granulométrique du sable est donnée sur la figure 4.

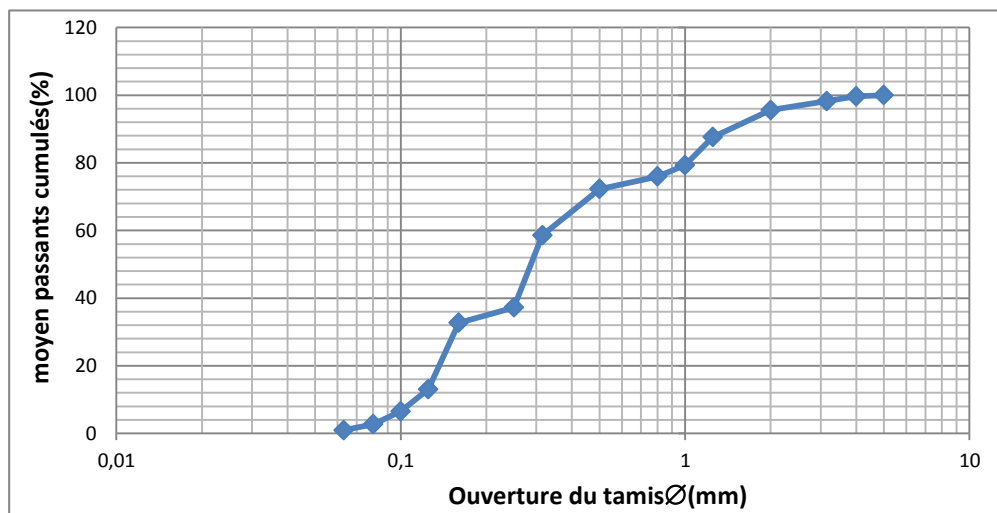


Figure 4: Analyse granulométrique du sable

II.2. Techniques expérimentales

II.2.1. Méthodes de caractérisation physique des matières à valoriser

Pour chacune des matières à valoriser, les caractéristiques physiques suivantes ont donc été déterminées :

- Les masses volumiques apparente et réelle ;
- L'absorption d'eau ;
- La granulométrie.

Chacun des échantillons a été préalablement séché avant chacune de ces analyses.

II.2.1.1. Les masses volumiques

II.2.1.1.1. La masse volumique apparente

La masse volumique apparente est utilisée dans le cas où l'on effectue les dosages en volume des différents composants du béton. La masse volumique apparente sèche est nécessaire lors de l'établissement d'une composition de béton, elle permet également d'estimer la masse d'une charge d'exploitation (ex: hall de stockage de matériaux..) et de déterminer les capacités réelles des engins.

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en vrac, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules. La masse volumique apparente d'un granulat dépend de la forme et de la granulométrie des grains ainsi que du taux d'humidité. Pour déterminer la masse volumique apparente d'un granulat, on utilise un récipient de géométrie adaptée à la granulométrie du granulat et prescrit dans la norme NF ENP 1097-3. Le granulat est versé sans tasser dans le récipient jusqu'à débordement du récipient puis le contenu est arasé. La masse sèche a été déterminée par pesée à 0,01 g près.

Pour les matériaux usuels de construction (sable, graviers, etc.) cette masse volumique varie entre 1 400 et 1 600 kg/m³.

Pour chaque échantillon, la masse volumique apparente sèche représentera la moyenne de trois mesures.

II.2.1.1.2. La masse volumique réelle

La masse volumique réelle d'un matériau est la masse d'un mètre cube de ce matériau déduction faite des vides entre particules. La déduction ne concerne pas les vides compris dans les particules. Pour les granulats courants [69], cette masse volumique varie entre 2 500 et 2 650 kg·m⁻³

Pour réaliser cette mesure, on remplit le récipient taré de sable très fin (ou d'eau ou de glycérol suivant la masse volumique et le taux d'absorption des granulats) de masse volumique connue. Une masse donnée de granulats est ensuite introduite. Le tout est pesé et le volume de granulats est égal au volume du contenu déplacé.

L'eau a pu être utilisée avec le minéral, car ce dernier n'est pas hydrophile. Par conséquent, le principe de la poussée d'Archimède a pu être appliqué pour calculer la masse volumique réelle. En ce qui concerne les résidus de broyage l'eau n'a pu être utilisée d'une part parce que leurs masses volumiques sont inférieures à celle de l'eau, et d'autre part parce que ceux-ci absorbent l'eau. Le glycérol a donc été utilisé pour réaliser les mesures.

Étant donné le comportement de la fibre, du sable magnétique et de la poudre polyuréthane en présence d'un liquide, le sable fin a été utilisé pour déterminer la masse volumique réelle de ces échantillons.

Pour chaque échantillon analysé, trois mesures ont été réalisées.

II.2.1.2. L'absorption d'eau

Un phénomène de succion d'eau par les granulats peut entraîner un défaut d'hydratation du ciment. Par ailleurs, les échanges hydriques en service peuvent générer des variations dimensionnelles susceptibles de diminuer la durabilité de l'ouvrage. Pour ces raisons, il est donc important d'appréhender le comportement hydrique des granulats.

La capacité d'absorption d'eau des granulats est déterminée par une méthode gravimétrique, c'est à dire, par la mesure de la différence de masses entre la masse d'un échantillon immergé dans l'eau jusqu'à saturation et sa masse initiale à l'état sec:

$$(Wt\%) = [(M_h - M_s) / M_s] * 100 \%$$

avec : M_h : masse de matière humide et M_s : masse de matière sèche.

La courbe d'absorption est une courbe qui représente le taux massique d'absorption en fonction de la racine carrée du temps (min)..

II.2.1.3. Analyse granulométrique

Les granulats peuvent être classés en fonction de leurs dimensions. Ces dernières sont déterminées par criblage sur une série de tamis à mailles carrées dont la dimension intérieure est exprimée en millimètres (NF EN 933-1). Ces tamis sont empilés les uns sur les autres et les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis. On considère que le tamisage est terminé lorsque le refus ne varie pas de plus de 1 % entre deux séquences de vibration de la tamiseuse [70].

Pour visualiser cette distribution de tailles des grains, on trace la courbe granulométrique. C'est un graphique qui comporte en abscisse les dimensions des tamis suivant une graduation logarithmique et en ordonnée l'échelle de gauche graduée de 0 à 100 donne le pourcentage des tamisats (c'est-à-dire de ce qui passe sous les tamis dont les mailles D sont indiquées en abscisse) et l'échelle de droite, graduée de 100 à 0 donne le pourcentage des refus.

II.2.2. Procédés expérimentaux

Les déchets de Résidus de Broyage Automobile (RBA) sont valorisés par deux types de procédés : l'incorporation à une pâte cimentaire et l'agrégation par des agro liants.

II.2.2.1. Premier procédé : Élaboration de matériaux cimentaires

Dans les essais réalisés pour l'étude des bétons, deux types d'éprouvettes ont été utilisés :

- Éprouvettes de forme parallélépipédique de dimensions $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ selon la norme (EN 196-1) pour les essais des propriétés mécaniques.
- Éprouvettes de forme parallélépipédique de dimensions $10 \times 10 \times 2,5 \text{ cm}^3$ pour les essais des propriétés thermiques.

II.2.2.1.1. Fabrication des éprouvettes

Dans le cas de RB1 ou L, la fabrication des éprouvettes se caractérise par une substitution massique totale ou partielle du sable par les particules à valoriser. Le ciment est mélangé avec l'eau dans un malaxeur à mortier normalisé (norme EN 196-1) de 4 litres, figure 5, pendant 30 secondes à vitesse lente, avant d'ajouter le mélange de sable et de granulats de RB1 ou LM. Le mélange est alors malaxé pendant 30 secondes puis 60 secondes à vitesse rapide. Après le malaxage, les moules ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ et $2.5 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$) sont remplis à moitié, placé sur une table à choc, pendant 60 secondes, puis complétés avant de subir à nouveau 60 secondes de chocs.



Figure 5 - malaxeur à mortier normalisé

La préparation de ces mortiers est faite avec 5 taux massiques de remplacement (0, 30, 50, 75 et 100 %) et des rapports massiques d'eau/ciment (E/C) selon le type et le taux massiques de granulats.

Dans le cas des fibres (F) ou des sables magnétiques (SM), les masses de pâte de ciment sont optimisées.

Pour calculer les masses optimales de pâte de ciment, nous avons adopté le protocole de fabrication suivant :

- Les granulats sont tout d'abord saturés.
- La pâte de ciment est préparée avec un rapport eau/ciment (E/C) de 0,3 (rapport massique).
- La pâte de ciment est ajoutée aux granulats saturés. La quantité ajoutée est la quantité minimum qui permet de lier les granulats.

Après plusieurs essais, les masses de pâte de ciment par rapport à masse des granulats, ont été estimées à 3/1 pour les granulats de F et à 1/1 pour les granulats de SM.

Les granulats saturés de fibre ou de sable magnétique, sont alors mélangés avec la pâte optimale de ciment dans le malaxeur normalisé (norme EN 196-1) pendant 30

secondes puis pendant 60 secondes à vitesse rapide. Après le malaxage, les moules ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ et $2.5 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$) sont remplis.

II.2.2.1.2. Détermination de la maniabilité

La détermination du temps d'écoulement du mortier cimentaire a été réalisée en utilisant un maniabilimètre normalisé, fourni par Controlab. L'essai a été conduit selon la norme EN 413-2. Le maniabilimètre utilisé est présenté en figure 6. Il est constitué de plaques d'acier inoxydable formant un parallélépipède rectangle de dimensions intérieures : $18 \times 9 \times 9 \text{ cm}^3$, d'une paroi mobile et inclinée de 45° par rapport à la verticale qui divise le moule en deux compartiments de volumes différents et d'un vibreur qui est fixé à l'une de ses extrémités. Ce dernier permet d'engendrer l'écoulement du matériau cimentaire placé dans le maniabilimètre.

Un litre de mortier frais est placé dans le plus grand compartiment, situé à l'opposé du vibreur. Le retrait de la paroi mobile provoque automatiquement la mise en fonctionnement du vibreur. Le chronomètre est déclenché simultanément par l'opérateur. Le mortier s'écoule dans le deuxième compartiment sous l'effet de la vibration. Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibrations pour atteindre un repère gravé la face intérieure du moule.



Figure 6 : Maniabilimètre normalisé

Les essais consistent à mesurer le temps d'écoulement nécessaire d'un mortier référence qui a été préparé avec des rapports massiques eau/ciment(E/C) de 0,5 et sable/ciment(S/C) de 3. Ensuite, les quantités d'eau utilisées nécessaires à la confection des autres mortiers sont déterminées afin que chacun présentent le même temps d'écoulement.

Après plusieurs essais sur la maniabilité, nous avons trouvé les masses de chaque composé (sable, résidus de broyage RB1, lourd minéral, eau) voir annexe 1.

II.2.2.1.3. Conservation des éprouvettes de béton

Après la mise en place, du mortier, dans les moules, les éprouvettes sont maintenues pendant 28 jours avant et après démoulage à l'intérieur d'une chambre à température et humidité contrôlée annexe 2, à 98% d'humidité relative à $21^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$.

Ce délai de 28 jours, appelé âge de cure du béton, est le temps au bout duquel le béton atteint 90% de sa résistance maximale à la compression. Cette résistance est appelée résistance caractéristique.

II.2.2.2. Deuxième procédé : agro-liants

La poudre de polyuréthane PUR a été mélangée avec trois types d'agro liants pour fabriquer des panneaux isolants.

Les poudres de polyuréthane sont tout d'abord séchées jusqu'à masse constante et conservées à l'abri de l'humidité avant d'être mélangées aux différents agro liants. Ceux-ci sont ajoutés aux PUR dans des proportions de 25% et 50% par rapport à la masse totale. Après un malaxage manuel pendant 3 minutes, le mélange subit un traitement thermique pendant 20s puis un nouveau malaxage pendant 2mn. Le moule 10x10x10 cm³ est ensuite rempli et le mélange est compacté pour atteindre une épaisseur de 5cm. Les éprouvettes sont ensuite démoulées puis séchées jusqu'à masse constante, à 50 °C dans une étuve à circulation d'air .

II.2.3. Comportements mécaniques

Dans ce travail, on s'intéressera plus à de la résistance mécanique à la flexion et à la compression du matériau. Ce sont des paramètres essentiels dans l'appréciation des performances d'un matériau de construction

II.2.3.1 Résistance mécanique à la flexion

La flexion est la déformation d'un objet qui se traduit par une courbure. Dans le cas d'une poutre, elle tend à rapprocher les deux extrémités . Dans le cas d'une plaque, elle tend à rapprocher deux points diamétralement opposés sous l'action.

Le principe de ce test est détermination de la contrainte de rupture par flexion sous une charge progressivement croissante, exercée perpendiculairement à l'éprouvette.

Les mesures de flexion 3 points sont réalisées sur une machine hydraulique de type SHIMADZU. Celle-ci permet d'appliquer une charge jusqu'à 10 kN. L'appareil utilisé est présenté à la figure 7.



Figure 7 : Dispositif de mesure de la résistance à la flexion

En pratique, les étapes de l'expérimentation sont les suivantes :

- On mesure à mi-longueur de l'éprouvette, les dimensions de la section transversale et la longueur.
- On place l'éprouvette en appui sur le banc de flexion de façon que la charge soit appliquée parallèlement aux cernes selon les indications de la figure 8 :

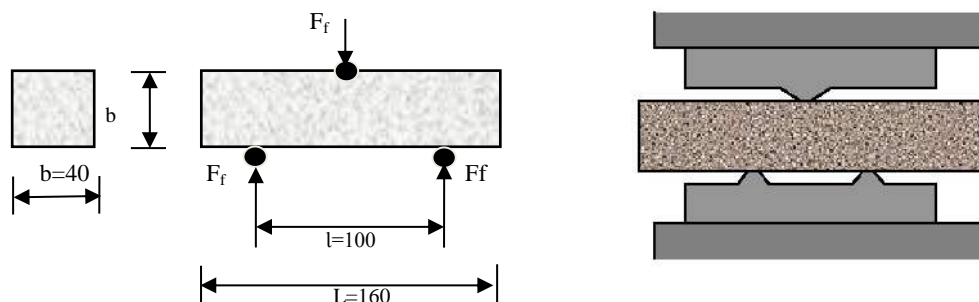


Figure 8 : Essai de résistance à la flexion

La résistance à la flexion est donnée par la formule suivante :

$$R_f = \frac{1,5F_f \cdot l}{b^3} \quad \text{en (MPa)}$$

Si F_f est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, le moment de rupture vaut $F_f \cdot L/4$ et la résistance de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est :

Avec F_f : est la Charge de rupture en kN, l : est la distance entre les appuis ($l = 100$ mm), b : est le côté de la section carrée de l'éprouvette ($b = 40$ mm).

Pour estimer la résistance en flexion des bétons, les mesures ont été effectuées conformément à la norme NF EN 196-1 sur les éprouvettes prismatiques $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$, après, maturation et séchage, jusqu'à masse constante, à 50°C dans une étuve ventilée. La valeur de la résistance à la flexion retenue pour chaque composite est la moyenne de mesures effectuées sur trois éprouvettes.

II.2.3.2. Résistance mécanique à la compression

La résistance à la compression concerne la contrainte maximale admissible par un matériau soumis à une charge d'écrasement. Plus la valeur de cette résistance est élevée, plus le matériau peut supporter une charge élevée.

La résistance à la compression du béton est réalisée, comme le prévoit la norme NF EN 196-1, sur les deux demi éprouvettes obtenues à l'issue de l'essai de traction par flexion, par application d'un effort de chargement dans le sens perpendiculaire à l'axe de coulage, jusqu'à la rupture. Les mesures sont réalisées à l'aide d'un dispositif expérimental fournie par PROVITECH

La résistance à la compression du béton est donnée par l'équation suivante :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2} \quad (\text{en MPa})$$

avec :

b : est le côté de la section ($4 \times 4 \text{ cm}^2$), F_c : est la charge maximale à la rupture de l'éprouvette appliquée en newton figure 10 .

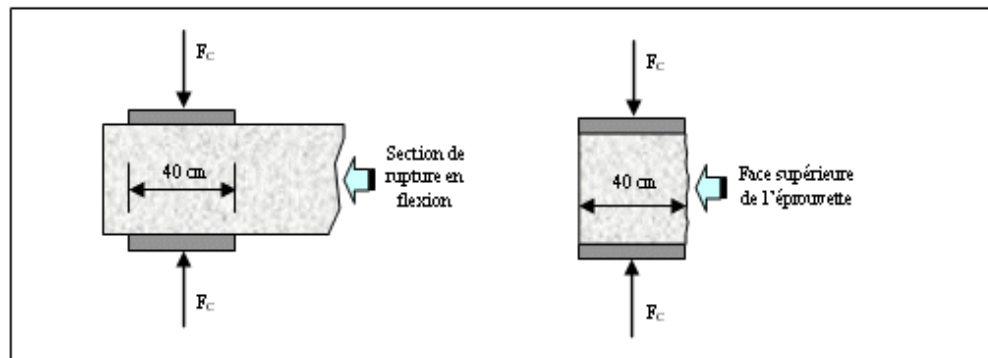


Figure10 : Dispositif de rupture en compression

Nous avons également effectué les tests de flexion et compression sur les panneaux isolants, par la machine SHIMADZU.

Les tests de flexion sont réalisés sur des éprouvettes de dimensions $70 \times 16.2 \text{ mm}^2$ avec une épaisseur de 15mm. Tandis que, les dimensions des éprouvettes pour les tests de compression sont $40 \times 40 \times 15 \text{ mm}^3$.

II.2.4. Absorption capillaire d'eau

L'absorption capillaire dans un matériau se produit lorsque celui-ci est mis en contact avec l'eau. Le mouvement de l'eau dans les capillaires affecte directement les propriétés mécaniques et la durabilité des matériaux. Les propriétés thermiques sont également modifiées.

L'essai d'absorption capillaire a été réalisé conformément au mode opératoire de la norme européenne NF EN 480-5. Il consiste à déterminer le taux d'absorption par remontée capillaire, due à la force de succion, des éprouvettes prismatiques de dimension $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ préalablement séchées à l'étuve à 50°C jusqu'à masse constante.

Après la stabilisation de la masse, chaque éprouvette est recouverte latéralement de film plastique thermo rétractable qui isole ses quatre faces latérales de tout contact avec le milieu extérieur et permet d'assurer un écoulement unidirectionnel. Une des faces transversales de l'éprouvette est mise en contact avec de l'eau. La section de la surface, en contact avec l'eau, est donc $40 \times 40 \text{ mm}^2$ et la hauteur immergée de l'éprouvette est 5mm. Afin de ne pas perturber les essais, le niveau d'eau dans le bac est automatiquement maintenu constant. Le dispositif expérimental utilisé est présenté sur la figure 11.



Figure 11. Dispositif expérimental de mesure du coefficient d'absorption capillaire

L'absorption capillaire est déterminée par pesées successives de chaque éprouvette à des intervalles de temps définis en fonction de la cinétique du phénomène évaluée lors d'un essai préalable. Le coefficient d'absorption capillaire à chaque échéance est calculé selon la relation suivante.

$$i = \frac{[M(t) - M(t_0)]}{A \cdot \rho} \quad \text{en (cm}^3/\text{cm}^2)$$

avec : i : coefficient d'absorption capillaire (mm^3/mm^2), $M(t)$: masse de l'éprouvette humide à l'instant t (g/mm^2), $M(t_0)$: la masse initiale de l'éprouvette sèche (g/mm^2), A : la section absorbante de l'éprouvette (mm^2), ρ : la masse volumique de l'eau liquide (g/mm^3).

Les phénomènes d'absorption capillaire étant des phénomènes diffusifs, il est montré que leur évolution est linéaire en fonction de la racine carrée du temps, il est donc d'usage de représenter l'évolution du coefficient d'absorption en fonction de la racine carrée du temps.

Les résultats obtenus à chaque type de béton sont exprimés sous la forme de la moyenne de trois valeurs mesurées.

II.2.5. Détermination des caractéristiques thermo-physiques

Les essais thermiques sont réalisés à l'aide d'une sonde Hot-Disk, à la fois émettrice de chaleur et sonde de température. Cette méthode permet de déterminer les propriétés thermique suivantes :

Conductivité thermique λ (w/m.K): qui représente l'énergie ou la quantité de chaleur transférée par unité de surface et de temps, sous un gradient de température de 1 Kelvin par mètre.

Capacité thermique volumique (MJ/m³.K): est la capacité de du composite à emmagasiner la chaleur par rapport à son volume. C'est l'énergie qu'il faut apporter à un mètre cube de composite pour augmenter sa température d'un kelvin.

Diffusivité thermique (mm/s): la capacité du composite à transmettre un signal de température d'un point à un autre de ce composite. Elle dépend de sa conductivité et de sa capacité thermique.

La méthode TPS (Source Plane Transitoire) est une méthode basée sur l'utilisation d'une source plane électrique de forme circulaire. Elle traite la variation du flux de chaleur en phase transitoire. Le capteur a été développé par GUSTAFSSON (1991).

En pratique, un pont de Wheatstone est initialement équilibré, avec un réglage à faible tension, sur un générateur de tension stabilisée, en ajustant une résistance variable de sorte que la différence de potentiel U aux bornes du galvanomètre (G) soit nulle. La résistance initiale de la sonde TPS est ainsi déterminée. Ensuite, un flux constant est émis par le générateur de tension stabilisée dans le matériau étudié grâce au capteur TPS qui joue le rôle simultané d'élément chauffant et de capteur de température. L'essai consiste à serrer la sonde TPS entre deux blocs de composition et de dimensions identiques qui dans notre cas sont des éprouvettes prismatiques de dimension 2,5x10x10 cm³ préalablement séchées à l'étuve à 50°C jusqu'à masse constante. Le dispositif expérimental utilisé est montré par la figure 12.

Dans notre étude on s'intéressera plus à de la conductivité thermique du matériau. Elle est obtenue grâce à la mesure de la différence de potentiel aux bornes de l'élément TPS par les formules suivantes :

$$\Delta E = \frac{R_1}{R_1 + R_0} \cdot I \cdot \Delta R(t)$$

$$\Delta R(t) = \alpha \cdot R_0 \cdot \Delta T(t)$$

avec : ΔE : différence de potentiel aux bornes de l'élément TPS (V), I : intensité (A), R_0 : résistance initiale de la sonde TPS (Ω), R_1 : résistance au temps t (Ω), ΔR : variation de la résistance, ΔT : variation de la température, α : coefficient de température de la résistance de l'élément TPS.



Figure 12 : dispositif de la TPS

II.3. Conclusion

Le travail présenté dans ce chapitre traite séparément les caractéristiques des matières premières et les composites élaborés. l'ensemble des techniques expérimentales permettent d'établir les performances mécaniques et thermiques des matériaux.

Dans le chapitre suivant seront présentés les résultats expérimentaux obtenus dans la valorisation des résidus de broyage automobile(RBA) et leur analyse.

Chapitre III
Résultats et analyses