

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة
 Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Civil

Laboratoire de Construction et d'Environnement

Projet de Fin d'Etudes
 Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie civil

THEME

CONTRIBUTION À LA VALORISATION DES DECHETS
 PLASTIQUES À BASE DE P.E.T DANS LE DOMAINE DU
 GENIE CIVIL

Réalisé par :
 OUHIB Nadjib
 TAIBI Mohammed

Proposé et dirigé par :
 M^R R.BOUTEMEUR
 Chargé de cours à l'ENP

REMERCIEMENTS

Au nom d'ALLAH, le Miséricordieux, Le très Miséricordieux

Louange à ALLAH Tout-Puissant Qui nous a donné la force et la patience à achever ce mémoire.

Nous tenons à remercier vivement notre promoteur, Monsieur BOUTEMEUR chargé de cours à l'Ecole Nationale Polytechnique, Pour son aide, son soutien ainsi que pour ses conseils et son suivi régulier, ce qui a permis l'accomplissement de ce travail.

Nous sommes particulièrement reconnaissants à Monsieur M.DJAADI ainsi que toute son extraordinaire équipe du laboratoire de la SONATRO, Messieurs EZZITOUN Salim, OUBRAHAM Saïd, HADJ RABAH Mohamed, MEZAOUI Mustapha, ABDELAZIZ, EL HADJ et mademoiselle l'ingénieur du labo pour leur abnégation, leur maîtrise technique et leur gentillesse.

Nous adressons nos vifs remerciements à Monsieur BALI Professeur à l'E.N.P, à Madame KETTAB et Madame MORSELI chargées de cours à l'E.N.P, à Monsieur ABADLIA, Professeur à l'INMC, à Monsieur MEZALI Professeur à l'USTHB ainsi qu'à Monsieur Rachid le technicien du labo de l'ENP pour leur aide et soutien.

Que Messieurs SAHKI, directeur technique de l'ENPC et AIATI, directeur technique de NET-COM qui nous ont aidés et conseillés trouvent ici l'expression de nos reconnaissances.

Nous sommes très sensible à l'honneur que nous font les Membres du jury, en acceptant d'examiner ce travail.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail en particulier : Amine Boukemidja, Saïd Kerrache, Wafik Khemici, Mohammed Oukaci, Abdallah el hadj, Amine Guenniche, Hmida Laichaoui, M^{elle} S. Bedjou et Samir Roudjali.

DEDICACES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Je dédie ce travail :
A ma très chère mère
A mon très cher père
A ma très chère grand-mère
A mes chers grand-père et grand-mère
A mes chers frères et mes chères sœurs
A toute ma famille.
A mes amis...

Mohammed

DEDICACES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Je dédie ce travail :
Aux êtres les plus chers au monde : Ma mère et mon père
A toute la famille OUHIB et la famille SALEM
A mes amis...

Nadjib

ملخص:

الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو بحث إمكانية تامين المخلفات البلاستيكية المصنعة بمادة البوليتيلين تيريفتالات (PET) باستعمالها كحصى لتشكيل الخرسانة. أجريت الدراسة التجريبية على نوعين من المستخلف البلاستيكي. الأول على شكل حصى و الثاني على شكل ألياف. تم استبدال الرمل الطبيعي ببلاستيك على شكل حصى واستبدال الحصى الطبيعي ببلاستيك على شكل ألياف استبدالاً جزئياً، لمقارنة خصائص الخرسانة الجديدة بالخرسانة العادية في الحالتين الطرية و الصلبة. نتائج هذه الدراسة بينت إمكانية تصنيع خرسانة باستعمال كمية من البلاستيك بدل الحصى و الرمل الطبيعيين، تحمل خواص ميكانيكية مقبولة بل و أحسن من الخرسانة العادية. و يظهر ذلك جلياً عند نسبة الاستبدال 30% للخرسانة المعدة بالألياف و 10% للخرسانة المعدة بالبلاستيك على شكل حصى.

كلمات مفتاحية:

البلاستيك على شكل ألياف، البلاستيك على شكل حصى، خرسانة، البوليتيلين تيريفتالات، مخلفات.

RESUME

L'objectif principal de cette étude est d'analyser la possibilité de valorisation des déchets plastiques fabriqués avec le polyéthylène téréphtalate (P.E.T) comme agrégats dans la confection de béton. L'étude expérimentale a porté essentiellement sur deux formes de granulats en plastique (fibres, grains). Une substitution partielle de gravillons et de sable respectivement par les fibres et les grains a été étudiée. Les propriétés du béton avec plastique à l'état frais et durci sont analysées et comparées à celles d'un béton ordinaire à base de granulats naturels.

Les résultats encourageants de cette étude ont montré qu'il est possible de fabriquer un béton à base d'agrégats en plastique, de caractéristiques mécaniques acceptables et même meilleures que celles d'un béton à base d'agrégats naturels pourvu que le pourcentage du plastique incorporé soit limité à 30% pour les fibres et 10% pour les grains.

Mots clés:

Plastique en fibres, plastique en grains, béton, polyéthylène téréphtalate, déchets.

Abstract

The principal objective of this study is to analyze the possibility of valorization of plastic waste manufactured with polyethylene terephthalate (P.E.T) as aggregates in the concrete making. The experimental study related primarily to two plastic aggregate shapes (fibers, grains). A partial substitution of fine gravels and sand respectively by fibers and grains was studied. The properties of the concrete with plastic in a fresh and hardened state are analyzed and compared with those of an ordinary concrete containing natural aggregates.

The encouraging results of this study showed that it is possible to manufacture a concrete, based on plastic aggregates, of acceptable mechanical characteristics and even better than those of a concrete based on natural aggregates provided that the percentage of the incorporated plastic is limited to 30% for fibers and 10% for grains.

Key words:

Plastic fibers, plastic grains, concrete, polyethylene terephthalate, waste.

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau 1-1: Filières de traitement des déchets	10
Tableau 3-1 : Pouvoir calorifique des thermodurcissables	24
Tableau 4-1 : Caractéristiques physiques du P.E.T	36
Tableau 4-2 : Analyse chimique du ciment	37
Tableau 4-3 : Caractéristique physiques du ciment	37
Tableau 4-4 : Caractéristiques mécaniques	37
Tableau 4-5 : Essais effectués sur les matériaux utilisés	38
Tableau 4-6 : Coefficient d'aplatissement du gravier 8/15 Cap Djinet	43
Tableau 4-7 : Coefficient d'aplatissement du gravillon 3/8 Cap Djinet	43
Tableau 4-8 : Coefficient d'aplatissement du plastique en fibre	44
Tableau 4-9 : Module de finesse	44
Tableau 4-10 : Poids spécifique au pycnomètre	45
Tableau 4-11: Densité Apparente	45
Tableau 4-12 : Propreté des granulats	47
Tableau 4-13 : Valeur de l'équivalent de sable	47
Tableau 5-1 : Pourcentage des différents fraction suivant la méthode de Faury	53
Tableau 6-1 : mesure de l'affaissement et du rapport E/C pour les différents pourcentage en fibres	60
Tableau 6-2 : mesure de l'affaissement et du rapport E/C pour les différents pourcentages de grains	61
Tableau 6-3 : résistance à la traction par flexion du béton en fibres à 14 et 28 jours	62
Tableau 6-4 : résistance à la traction par flexion du béton en grains à 14 et 28 jours	63
Tableau 6-5 : résistance à la compression du béton en fibres à 14 et 28 jours	64
Tableau 6-6 : résistance à la compression du béton en grains à 14 et 28 jours	66
Tableau 6-7 : la variation de la résistance à la compression du béton avec fibres en plastique sous l'effet de la température	67
Tableau 6-8 : la variation de la résistance à la compression du béton avec grains en plastique sous l'effet de la température	68

LISTE DES FIGURES

	Pages
Fig. 1-1 : production des déchets par grands secteurs d'activités Industrielles	7
Fig. 1-2 : stratégies de gestion des déchets	9
Fig. 3-1 : Représentation schématique des molécules polymères	22
Fig. 3-2 : Variation des propriétés thermodynamiques V , α_v et χ de part et d'autre de T_v	23
Fig. 3-3 : Principe de l'extrusion	26
Fig. 3-4 : Aperçu du recyclage des matières plastiques	27
Fig. 3-5 : Le broyage	29
Fig. 3-6 : comparaison des possibilités de séparation par densité et par charges électriques.	31
Fig. 3-7 : La séparation	31
Fig. 3-8 : Granulation	32
Fig. 3-9 : Procédé de fabrication des fibres	33
Fig. 3-10 : Procédé de fabrication des grains	34
Fig. 4-1: Courbe granulométrique du gravier 8/15 Cap Djinet	40
Fig. 4-2: Courbes granulométriques du gravillon 3/8 Cap Djinet et du plastique en fibres	41
Fig. 4-3: Courbe granulométrique du sable de mer et du plastique en grains	42
Fig. 5-1 : Courbes de référence Faury	52
Fig. 5-2 : Procédé de traitement de déchet sous forme de fibre par un liant hydraulique	56
Fig. 5-3 : Procédé de traitement de déchet sous forme de grains par un liant hydraulique	56
Fig. 5-4 : Essai de compression	57
Fig. 5-5 : Essai de traction par flexion	57
Fig. 6-1 : Résistance à la traction du béton en fibres en fonction du pourcentage de déchet à 14 et 28 jours	62
Fig. 6-2 : La variation de la résistance à la traction du béton en grains en fonction du pourcentage de déchet à 14 et 28 jours	63
Fig. 6-3 : la variation de la du béton en fibres en fonction du pourcentage du déchet incorporé résistance à la compression	65
Fig. 6-4 : La variation de la résistance à la compression du béton en grains en fonction du pourcentage de déchet incorporé	66
Fig. 6-5 : la variation de la résistance à la compression du béton avec fibres en plastique en fonction de la température	67
Fig. 6-6 : la variation de la résistance à la compression du béton avec grains en plastique en fonction de la température	68

TABLEAU DES MATIERES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

REMERCIEMENTS	
DEDICACES	
RESUMES	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 01 : GESTION DES DECHETS SOLIDES	3
1.1. INTRODUCTION	4
1.2. DECHETS ET REGLEMENTATION	4
1.3. ORIGINE DES DECHETS	4
1.4. SITUATION EN MATIERE DE GESTION DES DECHETS SOLIDES	5
1.4.1. LES DECHETS URBAINS	5
1.4.2. LES DECHETS DE L'AGRICULTURE ET DES INDUSTRIES AGRO-ALIMENTAIRES	6
1.4.3. LES DECHETS INDUSTRIELS	6
1.4.4. AUTRES CATEGORIES DE DECHETS	7
1.5. STRATEGIES DE TRAITEMENT DES DECHETS	8
1.6. FILIERES DE TRAITEMENT DES DECHETS	9
CHAPITRE 02 : VALORISATION DES DECHETS DANS LE DOMAINE DU GENIE CIVIL	11
2.1. INTRODUCTION	12
2.2. LES DECHETS UTILISES COMME GRANULATS DU BETON	12
2.2.1. LAITIERS	12
2.2.2. SOUS-PRODUITS PROVENANT DES CENTRALES THERMIQUES	13
2.2.3. BETON RECUPERE	14
2.2.4. DECHETS PROVENANT DE L'EXPLOITATION DE MINES ET DE CARRIERES	15
2.2.5. DECHETS DIVERS	15
2.3. DECHETS POUR LIANTS HYDRAULIQUES	17
2.3.1. CIMENTS AU LAITIER	18
2.3.2. CIMENTS AUX CENDRES	18
2.3.3. Autres types de déchets utilisés en cimenterie	18
2.4. DECHETS POUR TECHNIQUES ROUTIERES ET TERRASSEMENTS	18
2.5. CONCLUSION	20
CHAPITRE 03 GENERALITES SUR LE TRAITEMENT DES DECHETS PLASTIQUES	21

3.1	INTRODUCTION	22
3.2	DEFINITIONS	22
3.3	LES THERMOPLASTIQUES ET THERMODURCISSABLES	22
3.3.1.	LES THERMOPLASTIQUES	23
3.3.2.	LES THERMODURCISSABLES	23
3.4.	CARACTERISTIQUE THERMIQUE DES POLYMERES	23
3.5.	LES DIFFERENTS TYPES DE VALORISATION	23
3.5.1.	LA VALORISATION ENERGETIQUE (OU RECYCLAGE THERMIQUE)	24
3.5.2.	LA VALORISATION CHIMIQUE	25
3.5.3.	LA VALORISATION MATIER (RECYCLAGE MECANIQUE)	25
3.5.3.1.	Cas des thermoplastiques homogènes	25
3.5.3.2.	Cas des thermorigides	25
3.5.3.3.	Cas des plastiques mélangés	25
3.5.4.	LES PHASES DE RECYCLAGE DES PLASTIQUES	26
3.5.4.1.	Processus de collecte	28
3.5.4.2.	Broyage	29
3.5.4.3.	Lavage	29
3.5.4.4.	Techniques de séparation des plastiques	29
3.5.4.5.	Granulation	32
3.6.	PROCEDES DE FABRICATION DES SUBSTITUANTS	33
	CHAPITRE 04 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES	35
4.1.	INTRODUCTION	36
4.2.	IDENTIFICATION DU SUBSTITUANT (DECHET)	36
4.3.	LES MATERIAUX UTILISES	
4.3.1.	GRANULATS	36
4.3.2.	CIMENT	36
4.3.3.	EAU DE GACHAGE	37
4.4.	ESSAIS D'IDENTIFICATION	38
4.4.1.	ECHANTILLONNAGE DES MATERIAUX	39
4.4.2.	ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE	38
4.4.3.	COEFFICIENT D'APLATISSEMENT	43
4.4.4.	MODULE DE FINESSE	44
4.4.5.	POIDS SPECIFIQUES AU PYCNOMETRE	45
4.4.6.	DENSITES APPARENTES	45
4.4.7.	ESSAI D'ABRASION LOS ANGELES	46
4.4.8.	ESSAI D'USURE MICRO-DEVAL	46
4.4.9.	PROPRETE SUPERFICIELLE	47
4.4.10.	EQUIVALANT DE SABLE	47
4.4.11.	VALEUR AU BLEU	47
	CHAPITRE 05 : FORMULATION ET CONFECTION DU BETON	49
5.1.	INTRODUCTION	50

5.5. COMPOSITION	50
5.3. METHODE DE FAURY	50
5.3.1. DETERMINATION DES DIFFERENTS COEFFICIENTS	50
5.3.2. DETERMINATION DES POURCENTAGES DES AGREGATS	53
5.3.3. DOSAGE EN EAU	53
5.3.4. COMPOSITION PONDERALE DES CONSTITUANTS SOLIDES	54
5.3.5. CALCUL DE LA DENSITE THEORIQUE	54
5.4. FABRICATION DES EPROUVETTES	54
5.4.1. EQUIPEMENTS	54
5.4.2. CONFECTION DES EPROUVETTES	55
5.5. INCORPORATION DU DECHET	55
5.6. MODALITE DES ESSAIS	57
5.6.1. OUVRABILITE	57
5.6.2. ESSAI DE RESISTANCE A LA COMPRESSION	57
5.6.3. ESSAI DE RESISTANCE A LA TRACTION PAR FLEXION	57
5.6.4. ESSAI DE RESISTANCE A LA TEMPERATURE	58
CHAPITRE 06 : ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS	59
6.1. INTRODUCTION	60
6.2. BETON FRAIS	60
6.2.1. AFFAISSEMENT AU CONE D'ABRAMS	60
6.3. BETON DURCI	62
6.3.1. ESSAI DE TRACTION PAR FLEXION	62
6.3.2. LA RESISTANCE A LA COMPRESSION	64
6.3.3. EFFET DE LA TEMPERATURE SUR LA RESISTANCE DU BETON	67
6.4. CONCLUSION	69
6.5. ASPECT ECONOMIQUE	69
CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS	71
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	73
ANNEXES	
ANNEXE I	
ANNEXE II	

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie fait face à de sérieux problèmes de dégradation de l'environnement et de pertes de ressources naturelles. Les indicateurs sont au rouge ; ils incitent à des actions rapides. La rupture des grands équilibres naturels risque d'aboutir rapidement à une catastrophe écologique.

La protection de l'environnement en Algérie doit être prise comme partie intégrante du développement lui-même. Bâtir des politiques publiques constitue le socle de base pour la mise en œuvre des programmes d'utilisation rationnelle des ressources naturelles, de fourniture de services environnementaux de qualité et d'amélioration de la performance environnementale.

Le traitement et la valorisation des déchets peuvent contribuer positivement à la protection de l'environnement et à la diminution de la quantité des déchets évacués vers les décharges en augmentant leur durée d'exploitation ; cela permettra à l'Algérie :

- Une économie substantielle des matières premières ;
- De retrouver un meilleur équilibre de ses écosystèmes ;
- De préserver les droits et l'accès des générations futures aux ressources naturelles ;
- Un environnement sain.

Pour atteindre ces objectifs il est nécessaire de faire participer toutes les spécialités particulièrement le génie civil qui est considéré comme l'un des plus importants secteurs consommateurs de ressources naturelles (granulats). En effet le marché des granulats en Algérie vit une tension assez aigue du fait, d'une part, de la limitation et de l'épuisement, dans certaines régions comme Alger, des ressources naturelles et d'autre part de l'augmentation des coûts de transport de celles-ci.

Afin de pallier à ces insuffisances, diverses actions sont lancées. L'une d'entre elles est la valorisation des déchets dans le domaine de génie civil.

Plusieurs déchets ont été incorporés dans ce domaine, soit comme agrégat dans le béton, soit comme ajout dans la fabrication de ciment ou encore dans les techniques routières.

Notre étude porte sur une contribution à la valorisation d'un déchet urbain qui est nuisible en raison de son caractère encombrant et inesthétique, et qui avant son rejet faisait partie de notre environnement et rendait de nombreux services dans la vie quotidienne, il s'agit des déchets plastiques.

Vu la diversité des plastiques et de leurs propriétés, nous avons opté pour la valorisation des bouteilles issues d'emballages fabriquées avec du polyéthylène téréphtalate (P.E.T). Malgré leur quantité importante, ces déchets ne sont pas recyclés en Algérie.

Notre travail a été effectué au sein du laboratoire central de **SONATRO**. Il comporte deux parties ; on présentera dans un premier temps les déchets tels qu'ils sont définis par la réglementation algérienne, les lois relatives à la protection de l'environnement, ainsi que

l'aspect qualitatif et quantitatif des déchets avec les stratégies de traitement des déchets ; dans le deuxième chapitre on présentera les différents déchets valorisés dans le domaine de génie civil. Dans le troisième chapitre, on définira le plastique, ses familles, ses caractéristiques et les valorisations possibles de ce matériau. La deuxième partie est expérimentale et a pour objectif essentiel de montrer la faisabilité du recyclage des déchets plastiques comme agrégat dans le béton. Dans le quatrième chapitre nous identifierons le déchet utilisé dans cette étude ainsi que les caractéristiques des autres matériaux utilisés pour la confection du béton. La formulation et les essais réalisés sur le béton frais et durci sont présentés dans le cinquième chapitre. Le chapitre six présente l'analyse et l'interprétation des résultats de l'étude expérimentale.

Enfin, nous terminerons notre étude par des conclusions générales et quelques recommandations pour des études ultérieures.

CHAPITRE 01

GESTION DES DECHETS SOLIDES

1.1. INTRODUCTION

L'homme, depuis son existence, génère des déchets. Au début le mécanisme « naturel » des cycles biogéochimiques (cycle du carbone, de l'azote, des métaux, de l'eau...), l'incessante circulation de la matière entre les compartiments physiques (eau - air - sol) et du vivant (animaux, végétaux) assurait la transformation et le recyclage de tous ces déchets. Toutefois, le fantastique développement de l'activité industrielle consécutif d'une part à l'exploitation, sans limites, d'immenses ressources énergétiques et, d'autre part, à la capacité de l'homme à imaginer, produire et consommer une infinité de molécules nouvelles a donné à ce problème, ces dernières décennies, une dimension exceptionnelle. En effet, les seuls mécanismes naturels ne suffisent plus à assurer le recyclage de tous ces déchets. [1]

Dans ce chapitre, on présentera le cadre réglementaire de déchets et comment le déchet est vu par la loi, ainsi que les différents types de déchets et les cinq stratégies de leur gestion.

1.2. DECHETS ET REGLEMENTATION

L'évolution qu'a connue l'Algérie, notamment en matière d'industrialisation, de modes de vie et de consommation, s'est bien entendu répercutée sur la production des déchets solides, que ce soit qualitativement ou quantitativement. Afin de préserver l'environnement, l'Algérie possède un certain nombre de lois et décrets relatifs à cette fin et qui obligent les générateurs et/ou détenteurs de déchets de les valoriser.

Si le déchet est habituellement défini comme un résidu abandonné par son propriétaire car inutilisable, sale ou encombrant, il a, au regard de l'environnement, une définition juridique : est un déchet, au sens de la loi n°01-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou d'éliminer.

En plus de cette loi qui définit le déchet, l'Algérie possède d'autres lois et décrets relatifs à la protection de l'environnement telle que :

- ❖ Loi n°83-03 du 05/02/1983, relative à la protection de l'environnement dont certains articles ont pour objet la protection des milieux récepteurs (Article 47), et la nécessité d'éliminer les déchets (Article 90).
- ❖ Décret n°84-378 du 15/12/1984, fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et de traitement des déchets solides urbains.
- ❖ Décret n°02-372 du 11/11/2002 relatif aux déchets d'emballages.

1.3. ORIGINE DES DECHETS

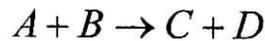
En dépit des efforts déployés pour en minimiser la quantité ou en modifier la nature, la production des déchets est inéluctable pour des raisons :

❖ **Biologiques**

Tout cycle de vie produit des métabolites (lisiers, matières fécales, cadavres...etc.)

❖ **Chimiques**

Toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès lors que l'on veut obtenir un produit C à partir des produits A et B par la réaction.



D : sera un sous-produit fatal qu'il nous appartient de gérer si nous n'en avons pas l'usage évident.

❖ **Technologiques**

Quelques que soient la fiabilité et la qualité de nos outils et procédé, il nous faut prendre en compte les chutes copeaux, solvants usés, emballages, etc.

❖ **économiques**

La durabilité des produits des objets et des machines a forcément une limite qui les conduit, un jour ou l'autre à leur élimination ou leur remplacement (par exemple les ouvrages de génie civil : route, bâtiment,...etc.)

❖ **écologique**

Les activités de la dépollution (eau, air, déchets) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront eux aussi une gestion spécifique ...et ainsi de suite.

❖ **accidentelles**

Les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets.

1.4. SITUATION EN MATIERE DE GESTION DES DECHETS SOLIDES

1.4.1. LES DECHETS URBAINS

Chaque jour, les ménages rejettent des tonnes de déchets. Reflets de la consommation courante, il s'agit de nourriture, ou de produit de la vie quotidienne, d'emballages divers, de textiles et d'objets encombrants. A cela s'ajoutent les déchets dits « assimilables aux ordures ménagères » et provenant des industries, des hôpitaux, etc.

Les quantités de déchets urbains générés annuellement à l'échelle nationale sont estimées à environ 5.2 million de tonnes. [2]

Les ratios de production généralement acceptés et confirmés par les études locales sont de 0.5kg/hab/j. Cependant, pour les zone très urbanisées, le taux est légèrement supérieur (0.65kg/hab/j). Pour Alger, le chiffre de 0.74kg/hab/j est admis.

Ces déchets peuvent schématiquement se diviser en trois catégories :

- ❖ déchets biodégradables (essentiellement des restes de nourritures) ;

- ❖ déchets recyclable (cartons et papiers, matières plastiques, verre) ; et enfin
- ❖ déchets dangereux (piles, médicaments périmés).

Les quantités de déchets recyclables ont été estimées comme suit :

Métaux	100 000 t / an ;
Papier	385 000 t / an ;
Verre	500 000 t / an ;
Plastiques	30 000 t / an.

Ce qui représente un gain potentiel de 7.5 milliards de Dinars.

1.4.2. LES DECHETS DE L'AGRICULTURE ET DES INDUSTRIES AGRO-ALIMENTAIRES

L'évolution de ces secteurs d'activité entraîne une importante quantité de déchets, essentiellement organiques qui ne sont plus toujours réutilisés sur l'exploitation.

1.4.3. LES DECHETS INDUSTRIELS

Ils sont constitués par les résidus des procédés de production et de transformation (déchets chimique, emballages souillés, impuretés, copeaux, solvants, rebuts, etc.)

Les déchets industriels peuvent être classés en trois catégories :

❖ Déchets inertes

Un déchet est réputé inertes dès lors que l'on considère que son potentiel polluant par rapport à l'environnement est à peu près nul.

On regroupe dans cette catégorie certains déchets minéraux des activités extractives (mines, carrières...), les déblais et les gravats, la fraction minérale des déchets de démolition, certains résidus de l'activité sidérurgique.

❖ Déchets banals

Un déchet est réputé banals dès lors qu'il peut être traité par les mêmes procédés que ceux utilisés pour les ordures ménagères.

On y range dans cette catégorie des déchets d'origine industrielle ou commerciale qualifiés d'« assimilables aux ordures ménagères » car ils contiennent les mêmes composants bien qu'en des proportions différentes (emballages, chutes,... en bois, plastique, papier, métaux ...)

❖ Déchets spéciaux

Sont considérés comme spéciaux tous les déchets qui doivent être traités par d'autres procédés que ceux utilisés pour les ordures ménagères.

Ces déchets, qui sont dangereux, peuvent eux-mêmes être classés en trois groupes :

- déchets organiques, composés essentiellement des déchets d'hydrocarbures, goudrons, solvants,

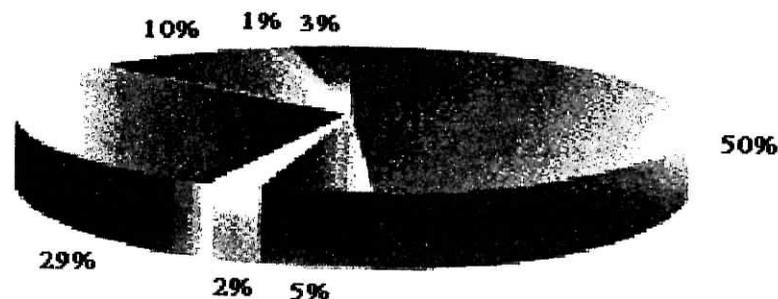
- déchets minéraux liquides : bains de traitement,
- déchets minéraux solides : sables de fonderie, sels de trempe cyanurés.

Une étude menée par le bureau d'études BC-Berlin, datant de 1994, a indiqué que la production de déchets industriels dangereux en Algérie est d'environ 185 000 t / an [2]. Cette quantité globale se décompose comme suit, par nature de déchets :

Déchets d'origine minérale	55 000 t / an ;
Boues minérales	18 000 t / an ;
Résidus de pétrochimie et de cokéfaction	58 000 t / an ;
Boues polluées au zinc	25 000 t / an ;
Solvants organiques, résidus de peinture	4 000 t / an ;
Boues métalliques et électrolytiques	2 000 t / an ;
Résidus de fabrication	2 500 t / an.

1.4.4. AUTRES CATEGORIES DE DECHETS

- ❖ Les déchets hospitaliers infectieux et toxiques, pour lesquels se posent les problèmes de tri, de collecte, de conditionnement et d'élimination. Certaines structures hospitalières sont dotées d'incinérateurs, mais ils ne sont pas tous opérationnels ;
- ❖ Les médicaments et les produits phytosanitaires périmés, pour lesquels se pose le problème d'élimination.



■ Industries sidérurgiques, métallurgiques, mécaniques et électriques.
■ Matériaux de construction, céramique et verre
○ Chimie, caoutchouc et plastique
● Ind. Alimentaires, tabacs, allumettes.
■ Textiles, bonneterie, confection.
† Cuir et chaussures
■ Bois, papier et imprimerie

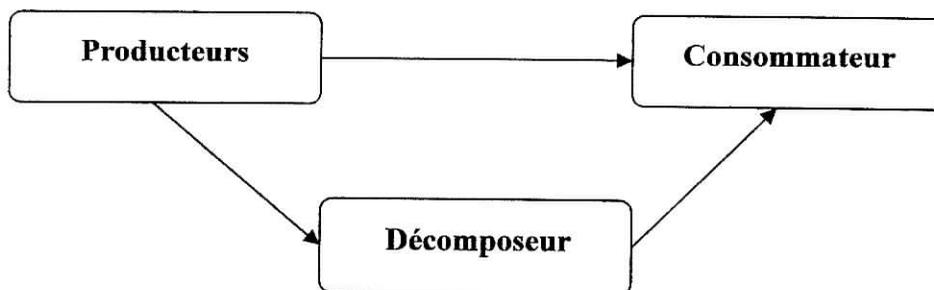
Fig. 1-1 : production des déchets par grands secteurs d'activités Industrielles

1.5. STRATEGIES DE TRAITEMENT DES DECHETS

Les stratégies de traitement des déchets s'appuient sur deux grands principes.

❖ il faut prendre en compte simultanément les notions de *matière*, d'*énergie*, d'*environnement* et d'*économie*. au plan plus particulier de l'environnement, il y a lieu de bien considérer l'ensemble de l'impact des déchets sur l'environnement et l'impact possible de la mise en œuvre de chaque stratégie.

❖ Dès lors que ces stratégies ont pour objectif le retour des déchets dans le milieu naturel, il y a lieu de s'inspirer des lois qui régissent le fonctionnement de ce milieu. ces lois existent à travers les cycles biogéochimiques qui régissent la circulation des éléments chimique dans les différents milieux physiques (eau, air, sol) et les espèces vivantes (végétaux et animaux). Au niveau de ces dernières, il faut retenir qu'elles assurent la circulation de la matière à travers la trilogie.



Sur ces deux principes, la gestion des déchets passe par cinq stratégies possibles.

1. Arrêt de la production du déchet ou du produit générateur de déchet.

Les problèmes, souvent liés à l'impact sur l'environnement ou à la santé humaine, peuvent conduire à la nécessité de cesser l'activité à l'origine de la production de tel ou tel déchet.

2. Optimisation et innovation technologique.

Réduire la quantité de déchets ou en produire de moins polluants relève du domaine des technologies et des produits propres. Cet objectif peut être atteint progressivement au niveau de la minimisation des rejets et de l'optimisation de l'utilisation des matières premières et de l'énergie par le recours à la dépollution dans un premier stade et à la non-pollution dans un second stade. La non-pollution peut être le résultat de l'optimisation du procédé, de sa modification, voire d'un changement de procédé.

3. Mise en œuvre d'une politique de recyclage, de valorisation et de réutilisation des déchets de la production et de la consommation.

C'est dans ce domaine que se situe l'essentiel des possibilités de gestion et de traitement des déchets.

4. Rejet « écocompatible » des déchets.

Cette notion est fondamentale. Dès lors qu'aucune des trois premières stratégies n'est envisageable, il y a lieu d'assurer un retour « acceptable » des déchets produit dans le milieu naturel. L'acceptabilité, ou *écocompatibilité*, peut être définie par le fait que des déchets sont intégrés aux cycles biogéochimique sans entraîner de dysfonctionnements prévisibles ou identifiables. Cet objectif peut être atteint soit par des voies de valorisation (réutilisation du déchet comme amendement en agriculture par exemple), soit après transformation chimique ou conditionnement.

5. Stockage.

Il arrive, et c'est le cas des déchets ultimes, que la solution du stockage sûr, dans ou sous le sol demeure le recours inévitable. C'est toute la stratégie de l'*enfouissement technique* qui constitue, au regard de l'impact sur l'environnement, un secteur clef de la gestion des déchets. Il est aussi celui autour duquel se focalise l'essentiel des réticences psychosociologique.

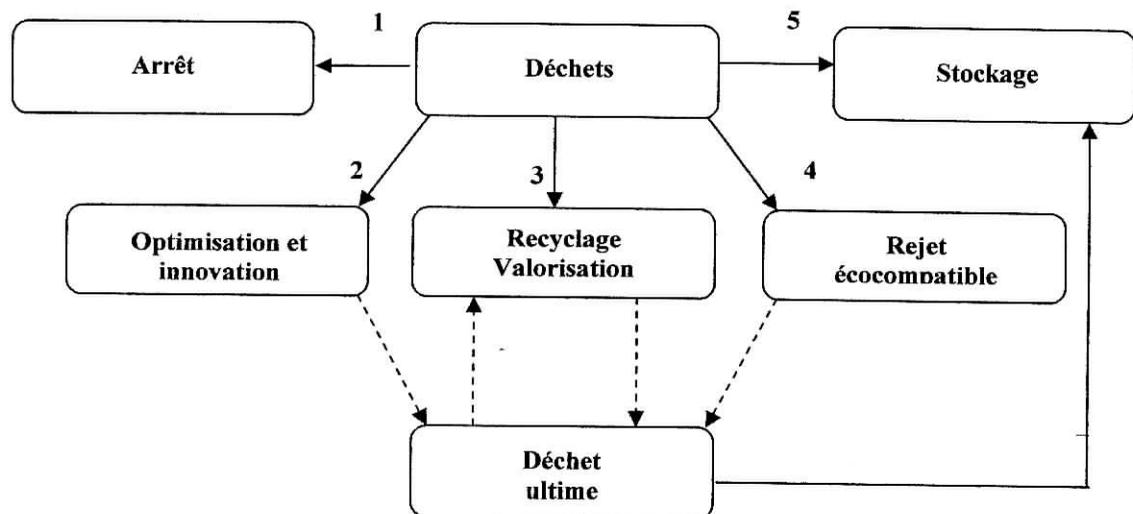


Fig. 1-2 : stratégies de gestion des déchets

1.6. FILIERES DE TRAITEMENT DES DECHETS

Seules les stratégies de valorisation, de rejet écocompatible et de stockage concernent directement la gestion des déchets. Leur mise en œuvre concrète passe par un certain nombre de filières techniques. Elles s'articulent autour des objectifs généraux suivants :

- Valorisation énergétique ;
- Valorisation de matières premières organiques et minérales ;
- Valorisation en science des matériaux ;
- Valorisation en agriculture et agro-alimentaire ;
- Valorisation en technique de environnement ;
- Techniques dites d'élimination.

Chacun de ces objectifs peut être atteint en faisant appel à un nombre limité de filières techniques (Tableau 1-1).

Tableau 1-1: Filières de traitement des déchets

Objectif	Filière	Exemple
Valorisation énergétique	1 Combustion	Incinération des ordures ménagères, de pneu, de solvants ...
	2 Elaboration de combustible dérivés : procédés mécaniques (broyage, tri, séchage ...)	Combustibles extraits des ordures ménagères plaquettes de sciure Charbons pauvres enrichis
	3 Elaboration de combustibles dérivés : procédés biologiques (biogaz, alcool ...)	Biogaz des décharges Alcools issus de déchets sucrés...
	4 Elaboration de combustibles dérivés : procédés thermiques (pyrolyse, gazéification...)	Charbons issus de la biomasse Pyrolyse des matières plastique et des pneus...
Valorisation de matières premières	5 Matières premières minérales (naturelles et de synthèse)	Alcools, sucres, protéines Solvants, huiles de synthèse ...
	6 Matières premières minérales (métalliques et non métalliques)	Récupération de fer, aluminium, mercure... Récupération de soufre, acides chlorhydrique et sulfurique...
Valorisation en science des matériaux	7 Liants hydrauliques et matériaux de structure	Valorisation des cendres volantes de centrales thermiques, des laitiers de hauts fourneaux Utilisation de déchets plastiques en terrassement...
	8 Verre et céramiques	Recyclage du verre
	9 Matières plastiques et caoutchoucs	Recyclage des plastiques Recyclage des pneus...
	10 Fibres cellulosiques de récupération	Récupération du papier et recyclage Déchets de textiles utilisés en papeterie
	11 Autres matériaux	Utilisation en arts plastiques Multiples usages des pneumatiques...
Valorisation en agriculture et agro-alimentaire	12 Elaboration d'amendements organiques	Compost urbain Boues de stations d'épuration
	13 Elaboration d'amendements minéraux	Scories potassiques et chaux résiduaire Déchets ammoniacaux
	14 Alimentation animale	Déchets de restauration Déchets des laiteries, abattoirs...
Valorisation en techniques de l'environnement	15 Epuration des effluents liquides et gazeux	Sulfate ferreux résiduaire en floculation des eaux Boues biologiques en désodorisation des gaz Filtration sur déchets minéraux broyés
	16 Conditionnement de déchets toxiques par d'autres déchets	Utilisation de déchets liants hydrauliques, de déchets plastiques et de verres en solidification - stabilisation
Filières d'élimination	17 Incinération et autres procédés thermiques	Destruction de déchets toxiques, déchets hospitaliers, effluents pollués
	18 Traitements biologiques	Stabilisation aérobie de boues
	19 Traitements physico-chimiques et chimiques	Neutralisation, oxydation, complexation, inertage, détoxification partielle...
	20 Mise en décharge	Décharges traditionnelles Mines de sel...

CHAPITRE 02

VALORISATION DES DECHETS

DANS LE DOMAINE DU GENIE CIVIL

2.1. INTRODUCTION

La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux. Cela concerne des matériaux de grande diffusion fabriqués à de forts tonnages et de prix assez modeste qui vont constituer un débouché tout à fait indiqué pour les déchets et sous-produits disponibles en grande quantité et de faible valeur marchande [1]. Les déchets peuvent être utilisés comme constituant principal du clinker, comme adjuvants pour le ciment, ou encore comme granulats pour le béton. Ce chapitre comporte les différents types de déchets valorisables dans le génie civil dans le ciment, le béton et dans les techniques routières et terrassements.

2.2. LES DECHETS UTILISES COMME GRANULATS DU BETON

L'utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton est une application particulièrement prometteuse de fait que 75% du béton est constitué de granulats. Parmi les divers matériaux étudiés on trouve les laitiers, les déchets des centrales thermiques, le béton récupéré, les déchets provenant de l'exploitation de mines ou de carrières, les déchets de mines de charbon, le verre de récupération, les résidus d'incinérateurs, les boues rouges, l'argile cuite et la sciure de bois. [3]

2.2.1. LAITIERS

❖ Laitier de haut fourneau

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la transformation du minerai de fer en fonte brute. Le laitier est ensuite refroidi lentement à l'air et donne un matériau cristallin et compact connu sous le nom de «laitier refroidi à l'air» ou bien il est refroidi rapidement et traité au moyen de jets d'eau pour obtenir un matériau léger désigné sous le nom de «laitier expansé».

a) Le laitier refroidi à l'air

Le laitier refroidi à l'air est approprié comme granulats pour le béton. La comparaison entre la résistance à la compression du béton constitué de granulats de laitier de haut fourneau et celle du béton constitué de gravier et de calcaire concassé indique que le béton de laitier est plus résistant. Les fines du laitier peuvent être utilisées pour remplacer sans inconvénient le sable. La stabilité volumique, la résistance aux sulfates et la résistance à la corrosion par les solutions de chlorure font que le béton de laitier armé convient pour plusieurs applications.

b) Le laitier expansé

La quantité de *laitier* expansé produit est bien plus faible que celle de laitier refroidi à l'air. Le laitier expansé est utilisé pour la fabrication du béton léger ayant une masse volumique apparente comprise entre 800 et 950 kg/ m³.

Les blocs de béton de laitier expansé sont utilisés pour la construction de murs porteurs et de murs non porteurs. Le béton de laitier expansé a une excellente résistance au feu et une conductivité thermique d'environ 75% de celle des autres bétons légers.

Le laitier expansé réduit en boulettes a été mis au point au Canada. On prétend que ce procédé de fabrication pollue moins l'air que le procédé normal de fabrication.

❖ **Laitier d'acier**

Ce laitier est formé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute. Il est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bicalcique métastable; il est donc utilisé uniquement comme matériau de remblai pour les routes. Normalement, ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé.

❖ **Autres laitiers métallurgiques**

Les applications possibles du laitier provenant de la fusion réductrice du cuivre, du zinc, du plomb, du nickel et de l'étain n'ont pas encore été explorées à fond. On a toutefois déjà étudié la possibilité d'utiliser les laitiers au zinc/plomb comme granulats pour le béton bitumineux. Dans le béton de ciment, ces laitiers produisent une réaction alcali-silice. On a également proposé de les utiliser comme granules fins pour le béton. Le laitier refroidi à l'air issu de la fabrication de phosphore sert de granulats pour le béton.

2.2.2. SOUS-PRODUITS PROVENANT DES CENTRALES THERMIQUES

La combustion du charbon aux fins de la production d'électricité donne plusieurs sous-produits. Dans les centrales électriques anciennes, les résidus de la combustion de la houille sont désignés sous le nom de «mâchefer». Dans les centrales modernes, on utilise du charbon broyé ou pulvérisé pour la production de vapeur. Les petites particules qui sont transportées par les gaz de combustion sont recueillies par précipitation électrostatique ou par un autre moyen quelconque. Ces particules sont appelées «cendres volantes». Certaines des particules de cendres forment des scories qui tombent au fond du four. Dans les fourneaux à température élevée, il se produit également des résidus fondus appelés laitier de charbon.

❖ **Mâchefer**

Le mâchefer contient une proportion considérable de charbon non brûlé et d'autres impuretés. Il est utilisé principalement pour la fabrication de blocs de béton. Étant donné que le mâchefer contient des sulfates et des chlorures, il n'est pas recommandé pour le béton armé. Ce matériau risque de devenir de plus en plus rare à mesure que les centrales électriques anciennes passent à la combustion de charbon pulvérisé.

❖ Scories de sole

Ces résidus constituent environ 2.5% de la production totale de cendres. On prévoit que plus le charbon sera utilisé, plus on aura de cendres. La composition chimique des scories de combustion américaines est semblable à celle des cendres volantes, sauf que les scories ont une plus forte proportion d'alcalis et de sulfates. Les scories de charbon et le laitier de charbon peuvent être utilisés comme granulats légers pour la fabrication de blocs de béton.

❖ Cendres volantes

Les cendres volantes pourraient constituer de très bons granules légers, mais elles ne sont pas beaucoup utilisées à cette fin. Elles sont préférables à beaucoup d'autres granules légers étant donné qu'elles donnent une combustion plus efficace du fait que le carbone contenu dans les cendres produit la quantité de chaleur nécessaire pour éliminer l'humidité des boulettes et pour amener les boulettes à la température de frittage.

À l'origine, les cendres volantes étaient mélangées avec de l'eau et transformées en boulettes soit dans un tambour ou un cône rotatif, soit par extrusion. On a découvert que l'addition d'une faible quantité d'alcalis permet d'obtenir des boulettes ayant une meilleure résistance aux chocs thermiques et mécaniques. Lorsque le frittage se fait dans des fours à grille mobile, la température atteint environ 1150 à 1200°C et par conséquent, les petites particules de cendres volantes se fusionnent et forment un aggloméré. Cet aggloméré est ensuite brisé en boulettes. Les bétons qui contiennent de tels granules ont une résistance à la compression à 28 jours de l'ordre de 40 MN/m² et une masse volumique d'environ 1100 à 1800 kg/m³. Puisque ces granulats ont une forme adéquate et une bonne résistance, ainsi qu'une absorption d'eau modérée, ils conviennent à la fabrication de blocs de béton léger et du béton léger.

Il est difficile de prévoir si les cendres volantes seront appropriées pour les procédés de pelletisation et de frittage à cause des nombreux facteurs physico-chimiques qui entrent en jeu. En général, on peut obtenir des granulats de bonne qualité en maintenant la teneur en carbone entre 3 et 10%. Le fer en quantité excessive provoque la souillure du béton.

2.2.3. BETON RECUPERE

Le béton constitue presque 75%, en poids, de tous les matériaux de construction. Il s'ensuit donc que la plus grande partie des rebuts de démolition soit du béton. Par ailleurs, les sinistres fournissent des millions de tonnes de débris de béton. L'épuisement des sources courantes de granulats, les lois plus strictes relatives à la protection de l'environnement et les problèmes posés par la destruction des déchets sont tous des facteurs qui favorisent l'usage du béton récupéré. Les débris de chaussées en béton sont déjà utilisés pour la construction de la couche de fondation de nouvelles chaussées.

La résistance à la compression et le module d'élasticité du béton renfermant des granules recyclés sont inférieurs à ceux du béton ne contenant que des granulats ordinaires. Les différences sont encore plus grandes à des rapports eau/ciment inférieurs. Le fait de

remplacer les fines du béton recyclé par du sable n'améliore pas pour autant la résistance du béton. Le béton qui contient des fines provenant de béton récupéré doit avoir un rapport eau/ciment plus élevé étant donné qu'il contient une plus grande proportion de particules de ciment hydraté. L'addition de réducteurs d'eau et une teneur en ciment plus élevée augmentent la résistance du béton.

Le retrait au séchage du béton constitué de béton récupéré est supérieur de 10 à 30% à celui du béton de référence. L'importance du retrait est fonction de la superficie totale; dans le cas des granulats recyclés, on s'attend à ce que la superficie soit plus élevée à cause de la présence de pâte de ciment.

La tenue au gel et au dégel du béton contenant des granulats de béton récupéré est semblable à celle d'une éprouvette de béton de référence contenant des granules ordinaires.

Dans la plupart des travaux réalisés, on a utilisé du béton non contaminé. La seule impureté qui ait été soumise à l'étude est le sulfate, en combinaison avec du béton concassé. Les fragments de béton seront contaminés non seulement par les impuretés contenues dans le béton mais aussi par d'autres matériaux de construction. De nombreux facteurs contribuent à la résistance peu élevée du béton récupéré. La rentabilité, la durabilité, le fluage, la dilatation au mouillage et d'autres propriétés connexes doivent faire l'objet d'études plus approfondies avant que l'utilisation du béton récupéré se généralise. [3]

2.2.4. DECHETS PROVENANT DE L'EXPLOITATION DES MINES ET DES CARRIERES

L'exploitation des mines et des carrières produit de grandes quantités de déchets. Les déchets de minerais ne sont pas encore très utilisés étant donné qu'ils proviennent d'endroits très éloignés des régions peuplées. Ils pourraient cependant être utilisés pour la fabrication de briques, et de blocs de béton autoclavé ou à granules légers. Un des problèmes relatifs à l'usage de ces déchets découle de la diversité de leur composition.

2.2.5. DECHETS DIVERS

❖ Déchets de mines de charbon

Dans les opérations d'extraction du charbon, environ la moitié du matériau est rejetée sous forme de déchets. Ceux-ci servent principalement de matériau de remblai pour les routes et peuvent aussi être utilisés comme granulats pour le béton léger. La température de chauffe de ces déchets susceptible de produire le gonflement ou la dilatation doit être contrôlée pour que les gaz s'échappant de l'argile ou de tout autre matériau soient bien emprisonnés dans les granules ramollies. Tous les déchets ne vont pas nécessairement gonfler. Il est donc important de faire des essais préliminaires pour évaluer la capacité de gonflement des types particuliers de déchets. On peut aussi produire des granulats denses par traitement thermique contrôlé.

❖ Déchets plastiques :

Les quantités des déchets plastiques provenant des emballages particulièrement les bouteilles de polyéthylène téréphtalate sont importantes. Ces déchets peuvent être utilisés comme granulats légers pour béton léger. Ce type d'agrégat procure au béton la possibilité de réduire son poids et de facilement contrôler l'humidité dans l'agrégat puisque ces agrégats n'absorbent presque pas d'eau. Les essais mécaniques effectuée sur le béton a base de ces agrégats ont données des résultats acceptable allons jusqu'à 20 MPa pour la compression, et ces résistance restes bonne a des températures de plus de 60°C et ils résistes bien au gel dégel.

Le béton léger fabriquer avec des agrégats en plastique peut être utilisé dans les constructions et offre un bénéfique économique et environnemental. [4]

❖ Verre de récupération

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année. En général, la résistance du béton contenant du verre est inférieure à celle du béton contenant du gravier. La résistance est particulièrement faible lorsque du ciment à teneur alcaline élevée est utilisé. On remarque la même tendance dans le cas de la résistance à la flexion. En remplaçant le ciment par des cendres volantes dans une proportion de 20 à 30%, on parvient à compenser cette perte de résistance.

Le verre de récupération réagit en présence de granules alcalins. On remarque une dilatation élevée lorsqu'il est en contact avec du ciment à teneur alcaline élevée, ce qui explique la faible résistance des bétons à base de verre. Par exemple, pour une période de 12 mois, la dilatation du béton contenant du gravier est de 0,018%, alors que celle du béton contenant du verre est d'environ 0,3%.

Le verre de récupération peut aussi servir à la fabrication de granulats légers. Il a été produit des granules légers expansés d'une masse volumique de 528 kg/m³ par pelletisation d'un mélange de verre de récupération broyé, d'argile et de silicate de sodium chauffé à une température de 850°C. Le béton ainsi obtenu présente une résistance à la compression d'environ 17 MPa après une période de cure à la vapeur de 28 jours.

Plusieurs problèmes relatifs à l'utilisation du verre de récupération doivent être résolus avant que le procédé soit rentable. Le verre récupéré est de composition variée et est souvent contaminé par de la saleté ou d'autres substances qui doivent être éliminées. Une fois broyé, le verre se présente sous forme de particules allongées et sa surface, tant des points de vue chimique que physique, le rend impropre à être utilisé comme granulats pour le béton. De plus, le verre doit être bien nettoyé pour le débarrasser de toute trace de sucre car ceci pourrait avoir une influence néfaste sur le temps de prise du béton.

❖ Résidus d'incinérateurs

L'incinération des déchets domestiques et industriels entraîne la production de grandes quantités de résidus solides. La composition chimique des résidus varie selon la méthode de

traitement des matériaux et selon la saison. Ces résidus comportent toutefois certaines matières délétères, ce qui compromet leur utilisation en tant que composants du béton. Ainsi, l'aluminium entraîne la dilatation par suite de l'évolution de l'hydrogène, les métaux ferreux font tacher le béton et les sels de plomb et de zinc solubles nuisent à la prise du ciment. La présence de verre entraîne aussi la dilatation des granulats alcalins.

❖ **Boues rouges**

Les boues rouges proviennent de l'extraction de l'alumine de la bauxite. Elles sont de consistance assez plastique pour être formées en boules. Chauffées à des températures de 1260 à 1310°C, elles sont transformées en granulats denses et résistants pouvant entrer dans la composition de bétons de résistances convenables.

La production de granules légers synthétiques à partir de boues rouges peut poser certaines difficultés parce que les boues rouges fondent seulement à des températures élevées et se ramolissent dans une gamme de températures assez restreinte. De plus, les gaz émis pendant le ramollissement ne sont pas toujours suffisants pour produire le gonflement. Dans certains cas, des granulats légers ont été fabriqués avec des additifs tels les cendres volantes, le laitier de haut fourneau et la pierre ponce.

❖ **Débris de terre cuite**

La majorité des constructions utilisent des briques de terre cuite et assez souvent des tuiles de la même matière. Aussi la plus grosse partie des déchets de construction et démolition est constituée des briques de terre cuite. Ces déchets peuvent être utilisés dans des mortiers et bétons en les transformant en granulats. L'étude des caractéristiques physiques de tels granulats montre qu'ils sont acceptables pour la confection d'un béton hydraulique ou d'un mortier. Toutefois, ils ont un coefficient d'absorption d'eau très élevé à cause de la porosité de la terre cuite.

Un micro béton a été confectionné avec des fractions granulaires 0/3 et 3/8 de terre cuite concassée pour la fabrication de blocs d'agglomérés creux pour maçonnerie à base de 100% de granulats recyclés. Des résultats intéressants et très encourageants ont été obtenus. [5]

❖ **Sciure de bois**

Le béton à base de sciure de bois est très peu utilisé à cause de sa faible résistance. Ainsi, les mélanges 1/2 et 1/6 (rapport ciment: sciure de bois, en volume) présentent une résistance à la compression à 7 jours de 7,5 MPa et 0,75 MPa, respectivement. On peut augmenter la résistance en ajoutant du sable. Le béton à base de sciure de bois a de bonnes propriétés isolantes, une bonne souplesse et une faible conductivité thermique et peut être scié et cloué. Toutefois, il absorbe de grandes quantités d'eau et se dilate lorsqu'il est en contact avec de l'eau. Avant de pouvoir servir à la fabrication du béton, la sciure de bois doit être pré-trempée pour en éliminer toute matière soluble. Le béton contenant beaucoup de sciure de bois est inflammable. La sciure provenant du chêne rouge, du sapin de Douglas, du peuplier du Canada, de l'érable, du bouleau ou du cèdre rouge donne des bétons à faible

résistance alors que la sciure d'épinette ou de pin rouge donne des bétons dont les propriétés sont acceptables. [3]

2.3. DECHETS POUR LIANTS HYDRAULIQUES

2.3.1. CIMENTS AU LAITIER

Deux modes principaux de fabrication des ciments au laitier sont utilisés :

- ❖ addition de laitier, en remplacement des argiles, aux matières premières ou « cru » de cimenterie ;
- ❖ addition de laitier granulé (sable de laitier) au clinker et au gypse lors du broyage du ciment.

2.3.2. CIMENTS AUX CENDRES

Il existe différentes catégories de cendres récupérées par dépoussiérage des fumées d'installation de combustion. Les *cendres volantes* issues de centrales thermiques constituent la plus forte production.

Les cendres volantes peuvent être utilisées comme matière première en cimenterie lors de la pâte crue dans le procédé par voie humide. Le plus souvent, ces cendres sont utilisées sèches et ajoutées au broyeur avec les autres constituants (clinker, gypse, laitiers).

2.3.3. Autres types de déchets utilisés en cimenterie

Les autres types de déchets utilisés en cimenterie sont :

- ❖ les déchets des industries extractives (ardoise, kaolin, baryte,...)
- ❖ les goudrons de houille et de raffinage du pétrole ;
- ❖ les sels résiduels ;
- ❖ les déchets organiques : amines, butanol... ;
- ❖ les boues rouges bayer.

2.4. DECHETS POUR TECHNIQUES ROUTIERES ET TERRASSEMENTS

La route est un domaine privilégié pour l'utilisation des déchets se présentant en grande quantité. Les déchets et sous-produits utilisés sont les suivants :

❖ Goudrons, brais et bitumes

Ce sont les produits de base de la fabrication des liants routiers.

❖ Laitiers et scories

Les laitiers de haut fourneau peuvent être utilisés pour construire des couches de base ou de fondation.

❖ Cendres volantes de centrales thermiques

Elles sont employées comme liant hydraulique pour les remblais ou les couche d'assises.

❖ Schistes houillers

Ils peuvent servir de granulats pour assises de chaussée.

❖ Phosphogypse

Il est utilisé, à l'état brut, en remblai. Il est sensible à l'eau et son usage est limité par la nécessité d'utiliser un film géotextile destiné à éviter la pollution des eaux.

❖ Plastique

Plusieurs initiatives sont développées avec peu de cas d'utilisation à grande échelle :

- *formules d'enduits superficiels* : Par dissolution du PVC de récupération dans les huiles de houille ;
- *enrobés à base de brai de houille et de bitume* : On incorpore les déchets plastiques en poudre ou sous forme de lanières, ce qui confère au matériau de bonnes propriétés mécaniques ;
- *utilisation en remblai (procédés plastbloc et plasterre)* : plastbloc est un remblai allégé bien adapté aux sols géotechniquement délicats. Plasterre est un procédé de renforcement des sols par des déchets de matière plastique. D'autres applications sont possibles : soutènement, absorbeurs d'énergie, protection des berges, etc. ces utilisations, séduisantes, se heurtent à des problèmes de gisement (qualité et prix).

❖ Gravats de démolition

La réutilisation des matériaux en graves traitées aux liants hydraulique nécessite plus d'eau et l'emploi d'un retardateur de prise pour rallonger le délai de maniabilité.

❖ Mâchefers d'incinération des ordures ménagères

Leur comportement géothermique permet de les assimiler à un grave de bonne qualité après tri-criblage et déferraillage. Ils peuvent être utilisés :

- en corps de remblai ;
- en couche de forme ;
- en couche de fondation.

L'évolution qualitative et quantitative du gisement ainsi que les problèmes d'impact liés parfois à la présence de cendres volantes conditionne l'avenir de ces mâchefers en technique routière.

❖ **Caoutchoucs**

Les pneus usés non rechapables peuvent être utilisés entiers ou sous forme de poudrette ou de granulats :

- *dans les enrobés bitumineux* : granulats d'enrobés utilisés dans la construction de revêtements souples (terrains de sport, trottoirs...) ou comme liant bitume-caoutchouc pour enrobés et enduits, voire même pour membranes antifissures et joints ;
- *comme dispositifs de renforcement de remblai* :
 - ✓ procédé Pneusol : empilement, liaisonnage et remplissage partiel par remblai traditionnel ;
 - ✓ procédé Pneuresil : empilement de pneumatiques sans remplissage ni liaisonnage.[1]

2.5. CONCLUSION

Les dépôts de sable naturel, de gravier et de pierres, surtout ceux qui sont situés près des grands centres urbains, risquent de s'épuiser ou d'entraîner des frais d'exploitation très élevés en raison du coût du transport et des restrictions relatives à la protection de l'environnement. Plusieurs types de résidus et de sous-produits peuvent être utilisés comme granulats. Le laitier de haut fourneau et les cendres volantes sont déjà exploités commercialement dans d'autres pays. L'utilisation des divers déchets est fonction de leur rentabilité d'exploitation et de leurs propriétés. De nombreux types de déchets ne pourront peut-être pas être utilisés à une grande échelle étant donné la diversité de leurs caractéristiques physiques et chimiques et leur éloignement par rapport aux régions peuplées. Dans un proche avenir, il faudra étudier la durabilité à long terme des bétons contenant ces types de déchets, mettre au point des méthodes de traitement simples et modifier les méthodes de fabrication afin que de plus en plus de déchets soient transformés en sous-produits commercialement utilisables.

CHAPITRE 03

GENERALITES SUR LE TRAITEMENT DES DECHETS PLASTIQUES

3.1. INTRODUCTION

Le plastique est un matériau qui nous rend de nombreux services dans notre vie quotidienne. Mais avec son rejet devient un problème écologique à résoudre.

En première partie de ce chapitre on présentera les différentes possibilités de valorisation des déchets plastiques, après avoir définie le plastique et ces deux familles, en suite on exposera les processus de la valorisation matière qui nous intéresse dans cette étude.

3.2. DEFINITIONS

Les plastiques sont des matières artificielles composées par l'homme. Leur structure organique est proche de celle des matières organiques naturelles, d'origine animale ou végétale. Les matières premières pour la synthèse des plastiques sont d'ailleurs des fractions ou des dérivés du pétrole, lui-même résidu d'un monde animal et végétal abondant dans un passé lointain.

Le chimiste fait la synthèse des plastiques en liant entre eux des composants chimiques élémentaires, les monomères.

Ces monomères sont des molécules simples, composées de quelques atomes. Les nouvelles structures ainsi obtenues, les macro-molécules ou polymères contiendront des milliers d'atomes. Cette technique de synthèse est appelée en général "polymérisation".

La matière plastique est le synonyme de polymère synthétique. La seule différence avec les polymères naturels, comme la laine, la cellulose, le poil, la soie, le coton, le caoutchouc naturel, les résines végétales... réside dans le fait que c'est l'homme même qui les compose pour satisfaire ses besoins technologiques.[6]

Selon les méthodes de production et leur nature chimique, les molécules peuvent être linéaires et en forme de chaîne, avec ou sans ramifications, ou bien, elles peuvent constituer des structures en réseaux tridimensionnels résultant de la formation des liaisons de pontage permanentes entre les chaînes linéaires (*Fig.3-1*). [3]

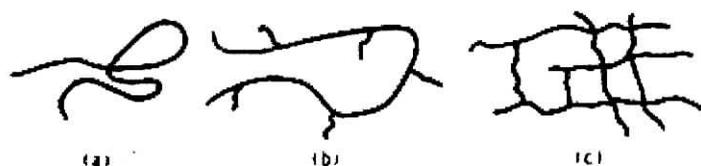


Fig. 3-1 : Représentation schématique des molécules polymères:

(a) linéaire (b) ramifiée (c) tridimensionnelle (réticulée)

3.3. LES THERMOPLASTIQUES ET THERMODURCISSABLES

Selon leur comportement à la chaleur, les plastiques peuvent être divisés en deux grandes classes: les thermoplastiques et les thermodurcissables.

3.3.1. LES THERMOPLASTIQUES

Sont à base de polymères linéaires ou ramifiés. Ils sont susceptibles de se ramollir sous l'action de la chaleur et de se durcir par refroidissement, et cela un nombre indéfini de fois. A cet égard, on peut les comparer à la cire ou au fer. Les thermoplastiques typiques sont ceux à base de polyéthylène, de polypropylène, de poly (chlorure de vinyle), de homopolymères et copolymères du styrène, de résines acryliques, de cellulosiques, de nylons et de diverses résines fluorées.

3.3.2. LES THERMODURCISSABLES

Sont des plastiques à base de polymères qui, ayant subi une réaction chimique (amorcée par la chaleur, par les catalyseurs ou par la lumière UV), se transforment en un produit relativement infusible, intraitable et insoluble. Le composant polymère du produit est à l'état réticulé. Les thermodurcissables se comportent donc comme le béton: après la réticulation, on ne peut plus les fondre ou les mouler à nouveau. Les plastiques thermodurcissables typiques sont les phénoliques, les alkydes, les polyuréthanes, les mélamines et les uréeformaldéhydes (urée-formols) et ceux à base de résines époxydes.

3.4. CARACTERISTIQUES THERMIQUES DES POLYMERES

Deux températures caractéristiques importantes sont associées aux polymères : ce sont la température de transition vitreuse (T_v) et la température de fusion (T_f).

Lors de l'étude des propriétés physico-chimiques des polymères, les caractéristiques physiques du matériau subissent une variation brusque à la température de transition vitreuse. Au passage par celle-ci on remarque une variation de volume spécifique (V), tandis que des grandeurs telles que le coefficient de dilatation volumique α_v , et le coefficient de compressibilité χ subissent une discontinuité (Fig.3-2). [7]



Fig.3-2 : Variation des propriétés thermodynamiques V , α_v et χ de part et d'autre de T_v

A la température de fusion (T_f) les éléments solides des polymères sont en équilibre avec l'état de fusion, et par conséquent, la masse polymère est pratiquement un liquide visqueux.

3.5. LES DIFFERENTS TYPES DE VALORISATION

On distingue trois possibilités de valorisation :

- ❖ Valorisation énergétique ou thermique ;
- ❖ Valorisation chimique ; et
- ❖ Valorisation matière.

3.5.1. LA VALORISATION ENERGETIQUE (OU RECYCLAGE THERMIQUE)

Son principe est de transformer la matière du déchet, grâce à son potentiel calorifique, en énergie thermique.

En raison de leur pouvoir calorifique relativement intéressant, les matières thermodurcissables se prêtent particulièrement bien à la valorisation énergétique. La résine polyester présente un pouvoir calorifique de 40 MJ/kg. En comparaison, le pouvoir calorifique de la houille par exemple est compris entre 33 et 35 MJ/kg.

En Allemagne, l'avantage ne peut être donné à la valorisation énergétique par rapport à la valorisation matière que lorsque le pouvoir calorifique dépasse 11 MJ/kg.

La plupart des matières plastiques présentent un pouvoir calorifique relativement intéressant. Les chiffres ci-dessous se rapportent toutefois au pouvoir calorifique des plastiques à l'état pur, c'est-à-dire sans additifs, matières de remplissage ou impuretés.

Une valorisation énergétique ne peut avoir lieu que dans des installations spécialement conçues à cet effet.

Tableau 3-1 : pouvoir calorifique des thermodurcissables

Thermodurcissables	Pouvoir calorifique (MJ/kg)
Résine polyester	34
Résine époxy	33
Résine phénolique	32
Résine phénolique (avec 30% en poids de fibres de verre)	25
Résine de mélamine	28
Résine d'urée	18
SMC (Sheet Moulding Compound)	10
Autres	
Gaz butane MJ/m ³	124
Pétrole	38-46
Propane	93
Houille	33-35
Gaz naturel	32-38
Charbon	26-35
Bois (séché à l'air)	15

3.5.2. LA VALORISATION CHIMIQUE

Cette valorisation consiste à dissocier les molécules de base des plastiques dans le but de réaliser des produits chimiques intermédiaires utilisables pour de nouvelles synthèses.

3.5.3. LA VALORISATION MATIER (RECYCLAGE MECANIQUE)

C'est une opération de recyclage qui consiste à réintégrer la matière du déchet sans destruction de sa structure chimique dans la production d'un nouvel objet.

3.5.3.1. Cas des thermoplastiques homogènes

Les déchets, objets usagés, chutes de fabrication,... sont triés, broyés, lavés (si nécessaire), éventuellement micronisés, séchés pour être ensuite fondus dans une extrudeuse équipée le plus souvent d'un système de filtrage manuel ou automatique. La matière est extrudée en joncs puis découpée en granulés, ou encore granulée directement par un système de coup de tête. Le produit obtenu est qualifié de régénéré.

3.5.3.2. Cas des thermorigides

Infusibles, souvent renforcés avec des charges, les déchets sont broyés et réincorporés dans de nouvelles formules. Dans le cas de polyesters insaturés chargés de fibre de verre, on effectue un broyage modéré des déchets avec l'objectif de garder une fibre de verre ayant encore des propriétés renforçantes intéressantes ; ce broyat est réincorporé à un taux optimal de 30% en masse dans des formules qui développent des propriétés très proches d'une formule réalisée à partir de produits vierges.

3.5.3.3. Cas des plastiques mélangés

Dans la mesure où l'ensemble des fractions plastiques considérées garde après mélange une bonne thermoplasticité et sont compatibles, on peut envisager des techniques dites de recyclage des plastiques mélangés.

La fraction plastique des ordures ménagères composées essentiellement d'emballages thermoplastiques (PET, polyoléfinés, polystyrènes, PVC) est donc une source intéressante à considérer.

Les plastiques mélangés peuvent être issus des ordures ménagères mais aussi de la distribution et de l'industrie.

Une partie des déchets plastiques issus de l'industrie directement prise en charge par la filière d'origine. Les autres plastiques ainsi que ceux contenus dans les ordures ménagères constituent le gisement à traiter par la filière du recyclage des plastiques mélangés.

Une fois lavés, séchés, déchiquetés et broyés, les déchets plastiques vont subir un procédé de régénération établi d'après les techniques utilisées pour la mise en forme des produits finis. Il peut s'agir de :

❖ *L'extrusion* : Les déchets plastiques sont triés et broyés, puis introduits dans une extrudeuse afin d'obtenir, entre 140 et 180°C, un mélange à l'état fondu (*Fig.3-3*).

Celui-ci est utilisé pour fabriquer des produits extrêmement résistants.

❖ *L'extrusion puis le moulage par intrusion basse pression* : l'intrusion basse pression est une opération qui consiste à remplir un moule à l'aide d'une extrudeuse à monovis ou à cylindres. Une fois transformés en mélange plastique à l'état fondu, les déchets plastiques sont injectés dans ce moule.

❖ *L'extrusion puis le moulage par compression* : le moulage par compression consiste à faire subir l'action conjuguée de la pression et de la chaleur à une matière thermoplastique se trouvant à l'intérieur d'un moule. [8]

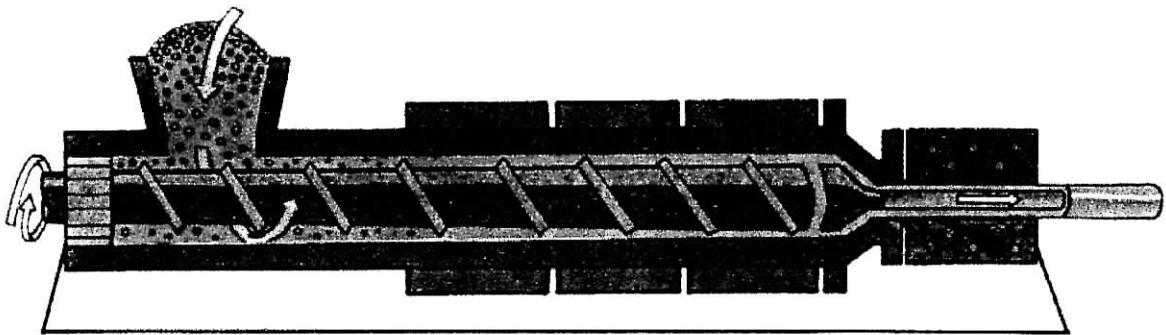


Fig.3-3 : Principe de l'extrusion

3.5.4. LES PHASES DE RECYCLAGE DES PLASTIQUES

Les différentes étapes de recyclage des plastiques, peuvent être décomposées comme suit :

- ❖ Collecte ;
- ❖ Stockage ;
- ❖ Identification du type de matière plastique ;
- ❖ Broyage ;
- ❖ Lavage ;
- ❖ Regranulation.

La figure.3-4 ci-après présente les diverses phases et étapes du recyclage des matières plastiques : collecte, stockage, traitement, valorisation. [9]

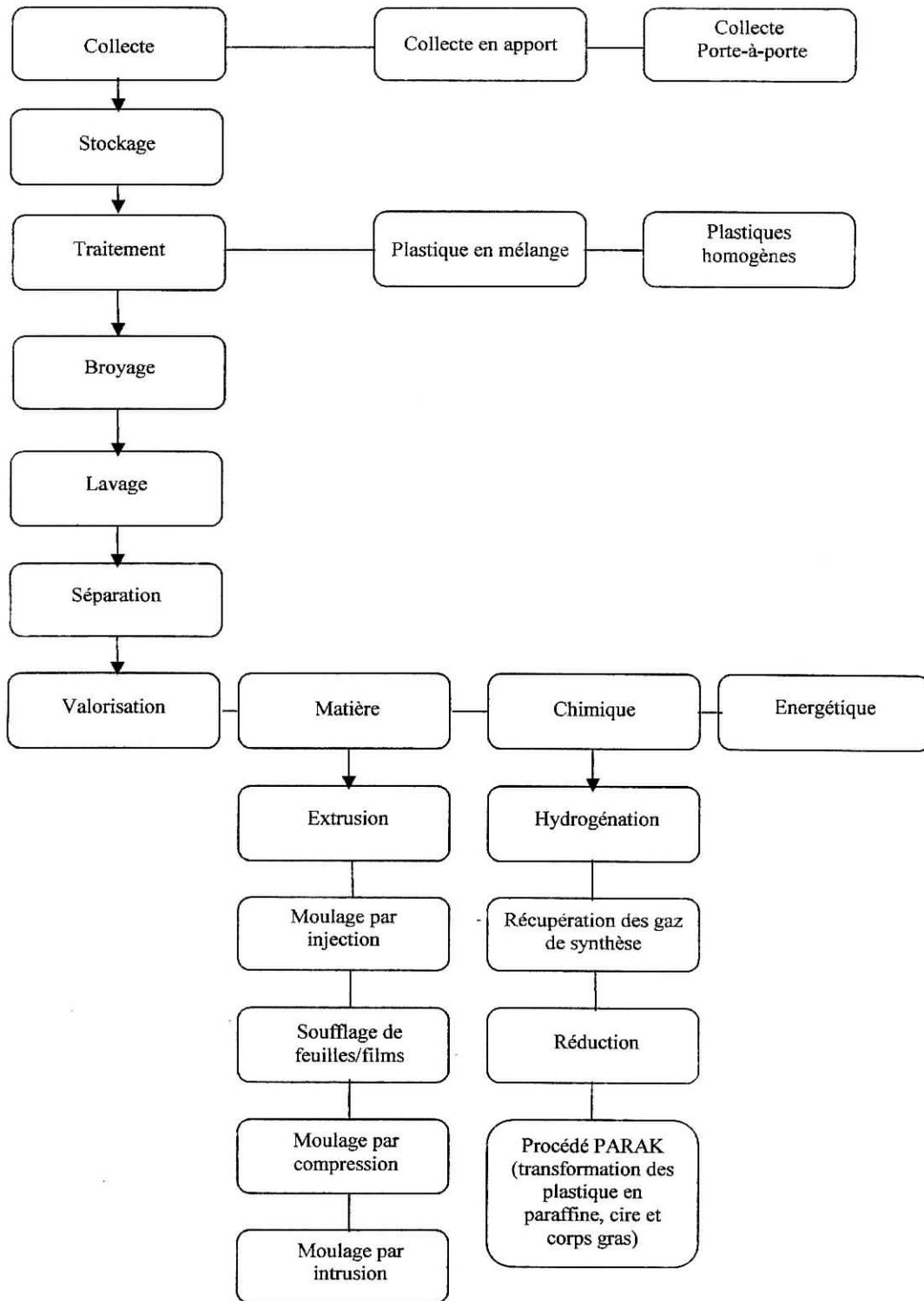


Fig.3-4 : Aperçu du recyclage des matières plastiques

3.5.4.1. Processus de collecte

a) Collecte globale

C'est l'opération effectuée par les services publics consistant à enlever les déchets présentés dans des récipients prévus à cet effet pour les acheminer vers un lieu d'élimination.

C'est une collecte multimatériaux où la phase organique des ordures ménagères est mélangée avec les autres déchets ménagés (emballages, etc.).

b) Collectes sélectives

Elles ont pour objectif de sélectionner, au départ des ménages, un ou plusieurs types de matériaux afin de faciliter leur valorisation ou leur élimination ultérieure. La participation du consommateur est requise. Les méthodes de collecte et de ramassage sont extrêmement variées et dépendent des choix faits par les collectivités locales pour le ramassage, des conditions d'habitat ainsi que des procédés et des unités de traitement des déchets qui sont ou qui seront installés en aval pour une valorisation ou une élimination optimale. On distingue :

❖ La collecte par apport volontaire

Les objets doivent être triés par l'utilisateur et apportés dans des conteneurs prévus à cet effet dans les communes ou dans des centres de récupération du type déchetterie. Les collectes peuvent être mono ou bimatériaux (exemple : verre + plastique), afin de limiter le nombre de conteneurs.

❖ La collecte au porte-à-porte

Des réceptacles appropriés sont mis à la disposition des usagers et sont relevés périodiquement. On distingue :

- La collecte de substitution qui est réalisée en lieu et place d'une tournée classique de ramassage ; c'est le principe de l'Ecopoubelle multimatériaux où l'on dépose les bouteilles en plastique, les verres, les papiers-cartons, les boîtes métalliques.
- La collecte simultanée où un seul véhicule assure le ramassage des ordures ménagères et des matériaux recyclables conditionnés par les usagers ; le véhicule est équipé de compartiments séparés.
- La collecte additionnelle où une tournée spéciale et supplémentaire de ramassage est organisée.

c) Collecte spécifique des bouteilles en plastique

Des conteneurs spécifiques sont généralement placés à proximité des conteneurs en verre.

3.5.4.2. Broyage :

La figure 3-5 ci-dessous représente les différents types de broyage utilisés lors du recyclage des plastiques et les broyeurs utilisés pour chaque principe selon la granulométrie envisagée.

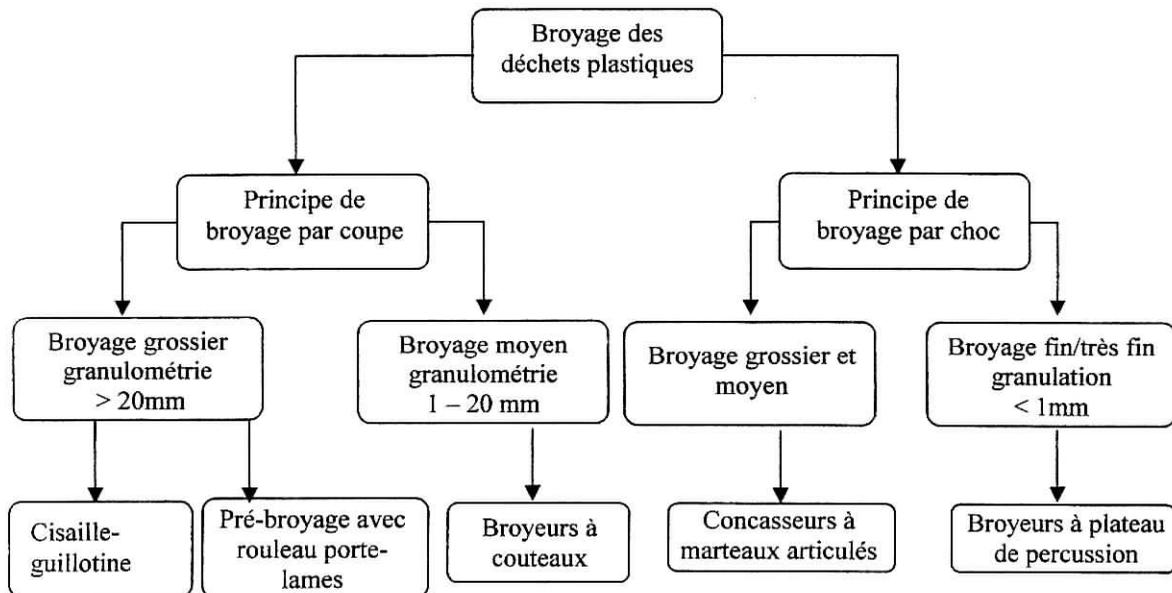


Fig.3-5: Le broyage

3.5.4.3. Lavage

Le lavage est un procédé relativement complexe, donc coûteux. Lorsqu'il s'agit de dissoudre, non seulement les impuretés externes facilement solubles, mais également les substances diffusées à l'intérieur des matières plastiques ou même les couleurs d'impression, le simple lavage avec de l'eau froide ne suffit plus. Il convient alors de recourir à des procédés à base d'eau chaude ou d'eau bouillante, à l'ajout de substances détergentes, à l'utilisation de solvants et à des procédés d'extraction à plusieurs étapes.

A cela viennent s'ajouter des frais supplémentaires pour l'épuration mécanique et/ou chimique des liquides de lavage.

3.5.4.4. Techniques de séparation des plastiques

La séparation constitue un élément essentiel au début de la chaîne de valorisation. Au cours du tri des emballages plastiques, on distingue les films plastiques, les bouteilles, les pots et barquettes, le polystyrène et les déchets plastiques hétérogènes de petites dimensions. Des procédés sophistiqués peuvent être envisagés, tels que l'identification par micro-analyse (couleurs ou gaz de combustion) mais nous en restons aux procédés plus classiques suivants :

a) Procédés physiques secs

- ❖ Classification par air : soufflage, cyclone permettent la séparation des fractions légères du type fibres de papier/plastiques.
- ❖ Procédé thermique : les particules (ou même les objets) sont plus ou moins fondus sur des tapis ou des sols mobiles en fonction de leur température de fusion.
- ❖ Utilisation de la tribo-électricité : les particules sont chargées électrostatiquement par une friction intensive induisant des charges positives ou négatives selon la nature des plastiques (on incorpore éventuellement un réactif de surface pour augmenter la différence de potentiel. Les particules une fois chargées chutent entre des électrodes à haut voltage : 120000 volts, et sont plus ou moins déviées de leur trajectoire

Les procédés de séparation par densité et par charges (*Fig.3-6*), peuvent être complémentaires. Ces procédés dans le principe efficaces peuvent être perturbés par des souillures de surface ou des formes de particules trop différentes.

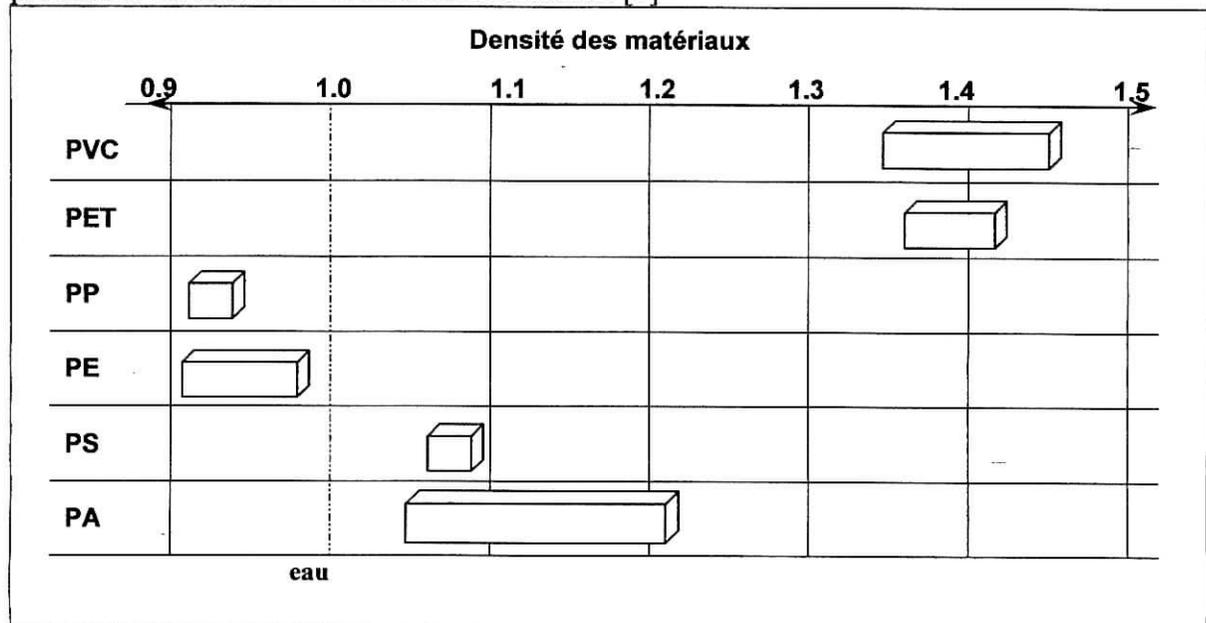
b) Procédés physiques humides

Flottation, hydrocyclone, élutriation (tamisage sous courant d'eau) sont des procédés qui permettent une séparation par densité.

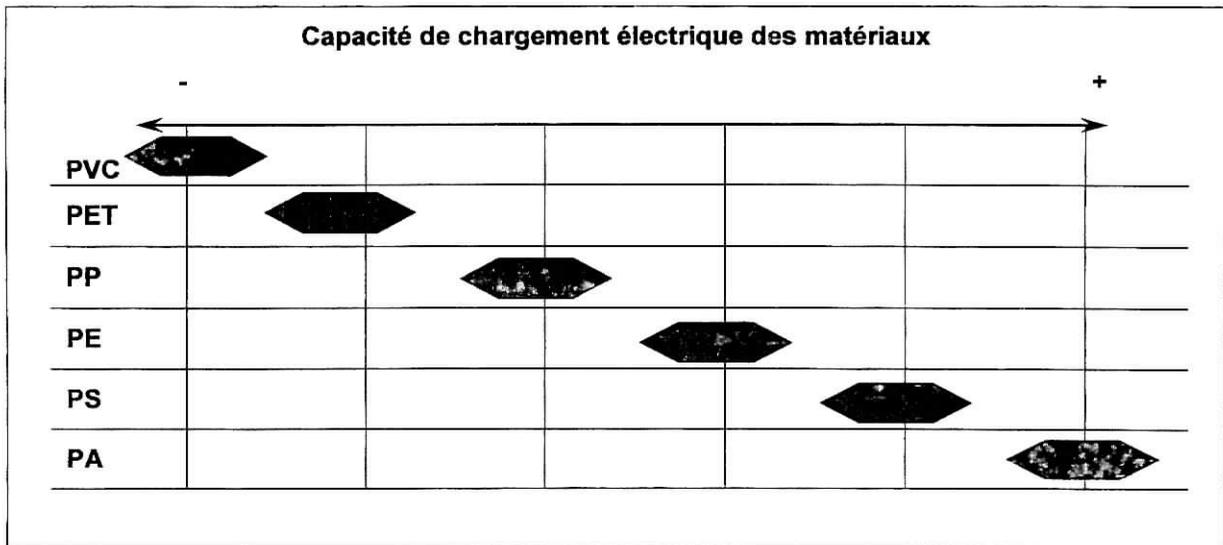
Exemples : séparation du PVC du PE ou séparation des pierres et des balayures de granulés de polyéthylène dans les usines de fabrication.

c) Procédés chimiques :

On envisage la destruction par procédés chimiques, par exemple, par dissolution d'une des fractions constituantes. Ils sont en général coûteux et ne se justifient que pour des produits d'un coût élevé et facilement solubles. [8]



A. Séparation par densité



B. Séparation par charge

Fig.3-6 : comparaison des possibilités de séparation par densité et par charges électriques

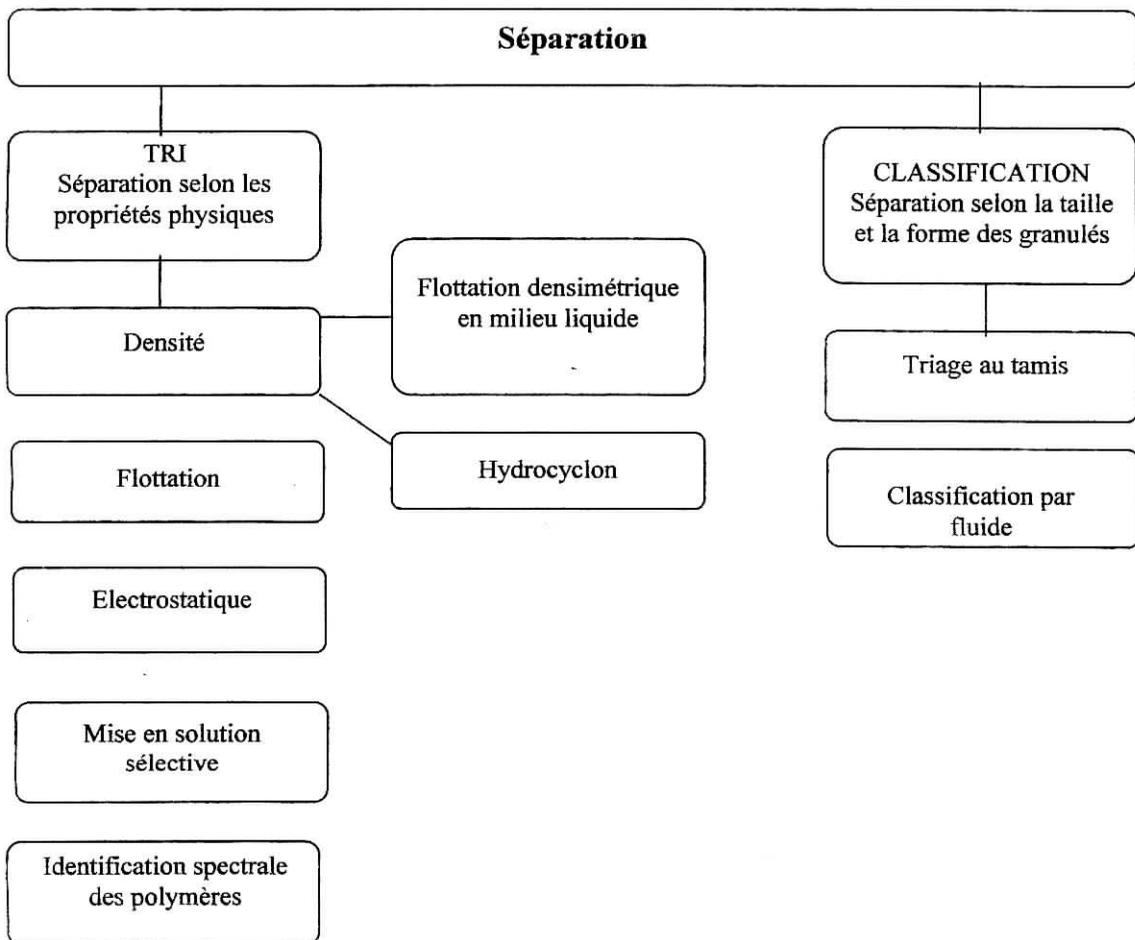


Fig.3-7 : La séparation

3.5.4.5. Granulation :

Le schéma ci-dessous résume uniquement les différents procédés pouvant être mis en œuvre pour la granulation et ses domaines d'application.

Parmi ces procédés, la granulation par abattage à froid qui est la plus avantageuse financièrement en raison de la simplicité de sa structure et de ses nombreuses possibilités d'application.

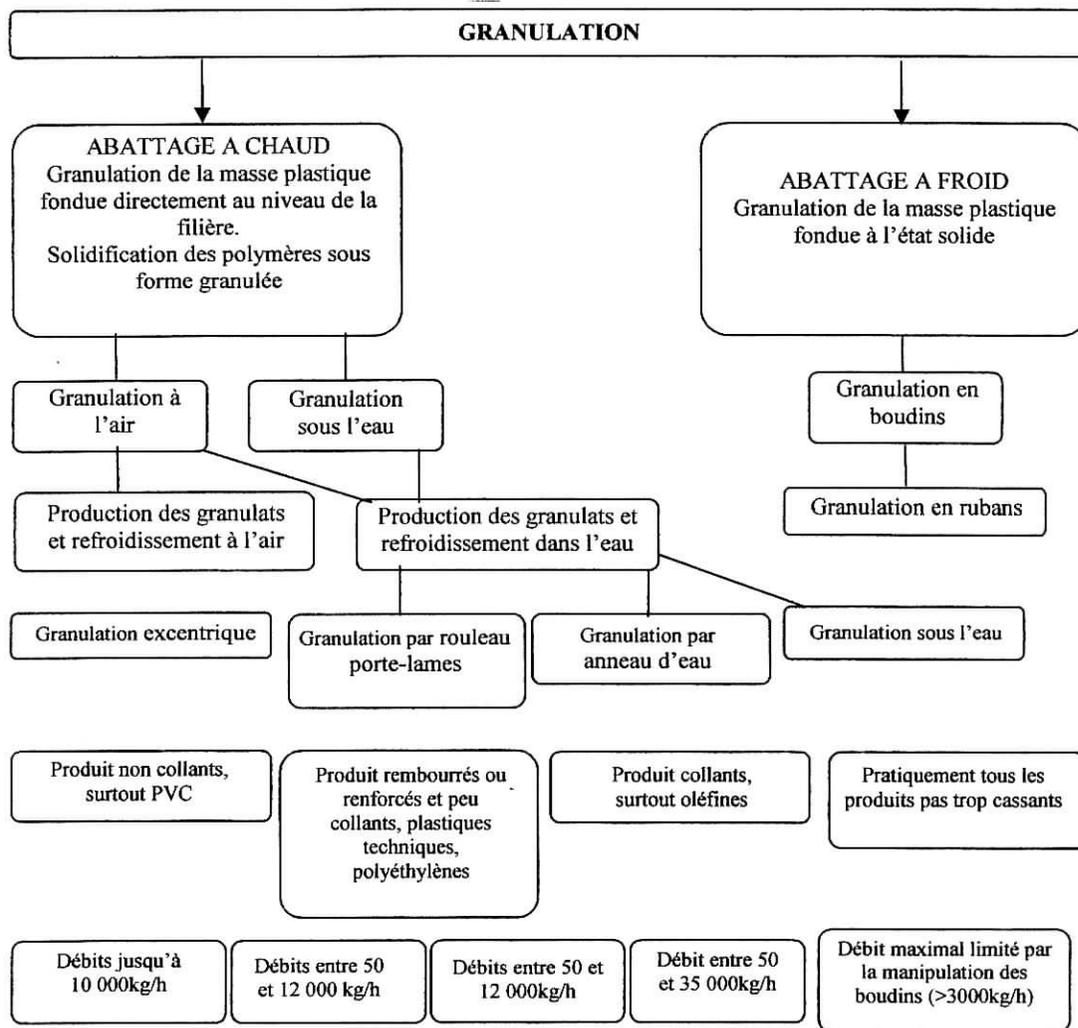


Fig.3-8 : Granulation

3.6. PROCÉDES DE FABRICATION DES SUBSTITUANTS

Le substituant sous forme de fibres (*Fig.1-AnnexeII*) est obtenu par broyage des bouteilles à base de PET issues des déchets urbains à l'aide d'un broyeur (*Fig.3-AnnexeII*). Les fibres appartiennent à la fraction granulométrique 3/8.

Pour obtenir le substituant sous forme de grains (*Fig.2-AnnexeII*) les bouteilles à base de PET sont fondues à l'aide d'une extrudeuse (*Fig.3-3*). Le procédé de granulation est l'abattage a chaud. Les grains appartiennent à la fraction granulométrique 0/3.

Les processus de fabrication des deux matériaux recyclés sont schématisés dans les deux organigrammes suivants :

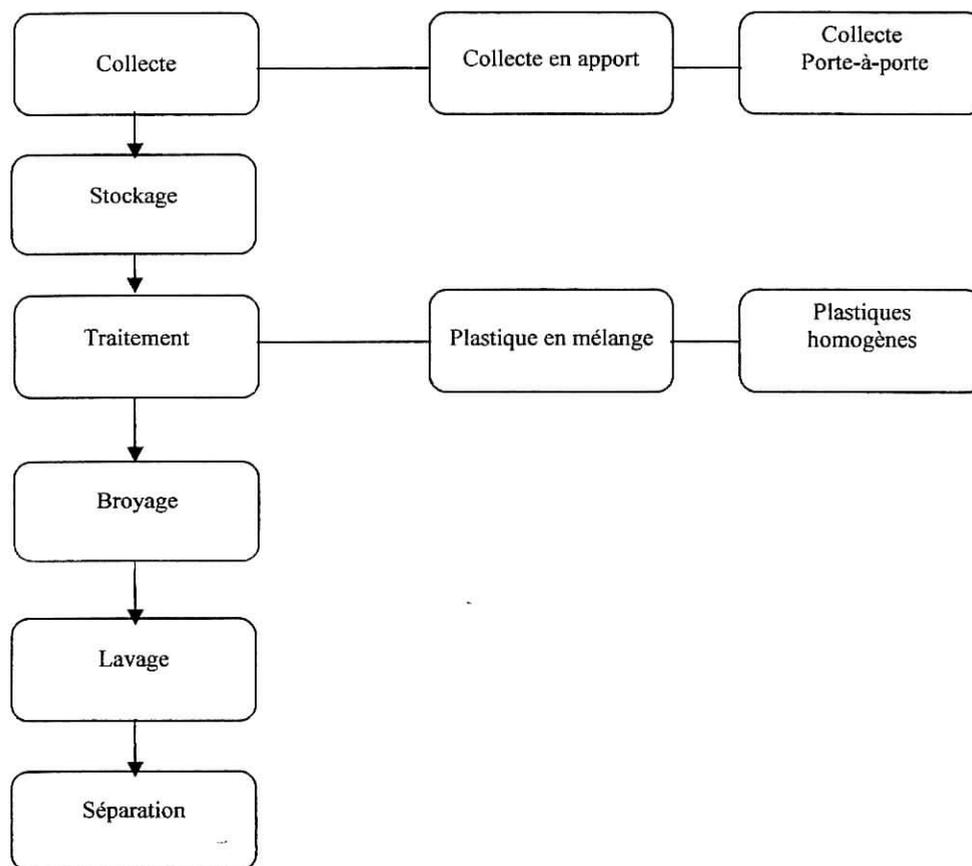


Fig.3-9 : Procédé de fabrication des fibres

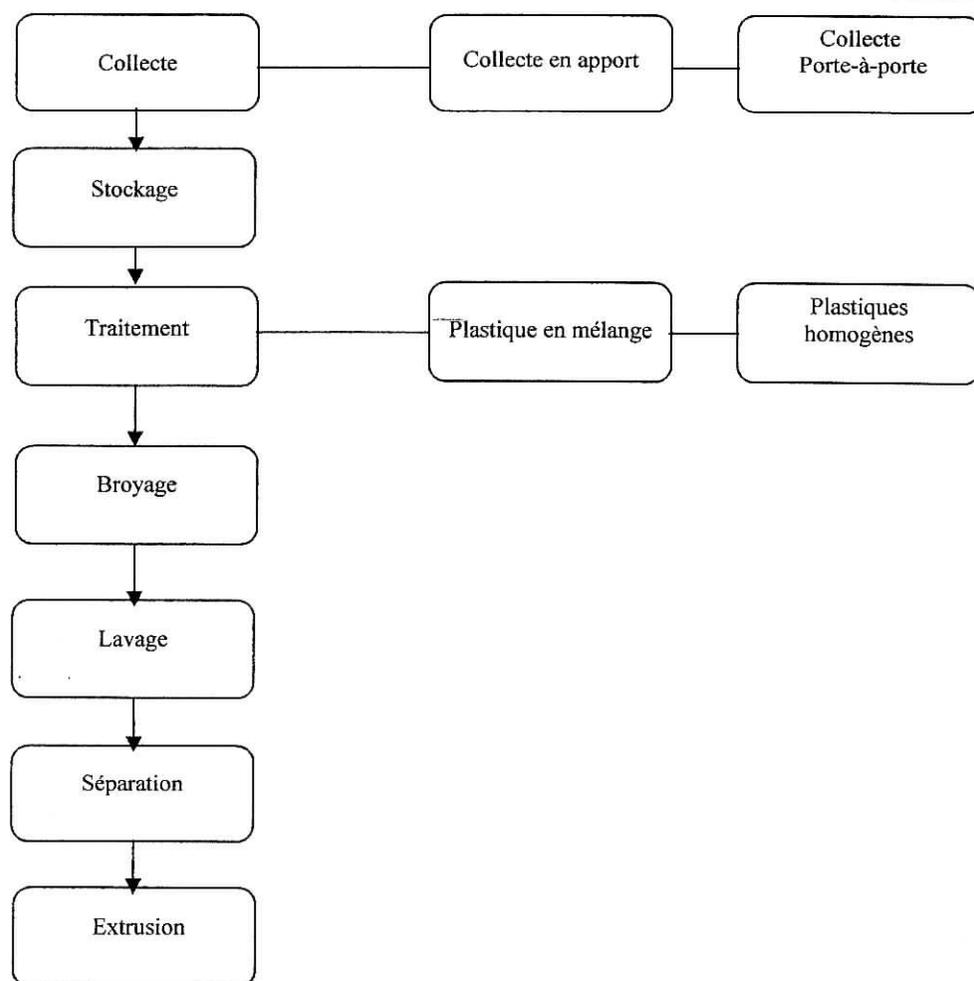


Fig.3-10 : Procédé de fabrication des grains

Dans les procédés présentés ci-dessus il y a des étapes qu'on peut éliminer et cela en fonction de la participation des consommateurs par exemple le tri puisque cette étape peut être faite par le citoyen.

Remarque :

Le matériau sous forme de grain est obtenu en broyant des préformes qui entrent dans la fabrication des bouteilles.

CHAPITRE 04

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES

4.1. INTRODUCTION

La confection du béton selon les normes appropriées nécessite la connaissance des caractéristiques des différents constituants, afin d'avoir un béton conforme à ces normes. Ce chapitre sera consacré à l'étude et à la détermination des propriétés des constituants du béton sur le quelle porte notre étude, à savoir le déchet, les granulats, l'eau de gâchage et le ciment.

4.2. IDENTIFICATION DU SUBSTITUANT (DECHET)

Les deux substituant (fibre, grain) utilisés dans cette étude proviennent des bouteilles en plastiques fabriquées avec le polyéthylène téréphtalate (PET), ces bouteilles sont des déchets urbains issus des emballages.

Le PET est un plastique thermoplastique dont les principales caractéristiques physiques sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau 4-1 : Caractéristiques physiques du P.E.T

Module de Young	3.4×10^3 MPa
Masse volumique	1.3-1.45 g/cm ³
Température de fusion	225 °C
Température de transition vitreuse	75 °C

Les autres caractéristiques directement liées à notre étude ainsi que les essais utilisés pour les obtenir sont présentés dans la suite de ce chapitre.

4.3. LES MATERIAUX UTILISES

4.3.1. GRANULATS

On a utilisé trois fractions granulaires dans notre étude :

La fraction 0/3 : sable de mer de ZEMMOURI

La fraction 3/8 : gravier de CAP DJINET

La fraction 8/15: gravier de CAP DJINET

4.3.2. CIMENT [10]

Le ciment utilisé dans notre étude est le ciment CPJ 45 de la cimenterie de MEFTAH à Blida. Il est livré dans des sacs de 30 Kg et leurs caractéristiques chimiques physiques et mécaniques sont données dans les tableaux suivants :

Tableau 4-2 : Analyse chimique du ciment

Composants %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
CPJ 45	21.13	5.43	3.04	62.90	1.11
Composants %	Na ₂ O	SO ₃	CaO Libre	P.F	Insolubles
CPJ 45	//	2.44	0.27	2.44	0.97

Tableau 4-3 : caractéristique physiques du ciment

Masse volumique absolue Kg/dm ³	3.10	
SSB (cm ² /g)	3032	
Expansion (mm)	0.68	
Temps de prise (h)	Début	2.16
	Fin	4.02

SSB : surface spécifique de Blaine

Tableau 4-4 : Caractéristiques mécaniques

	Flexion (MPa)	Compression (MPa)
02 jours	3.50	12.45
07 jours	6.30	30.83
28 jours	7.80	47.27

4.3.3. EAU DE GACHAGE

L'eau de gâchage utilisée pour la confection de béton est une eau potable du robinet sans traitement supplémentaire.

4.4. ESSAIS D'IDENTIFICATION

Dans le but d'étudier les caractéristiques des matériaux utilisées des essais d'identifications sont faits au niveau de laboratoire de SONATRO, le tableau 4-5 montre les différents essais effectués ainsi que la norme correspondante à chaque essai. Ces essais vont nous renseigner sur la qualité des granulats (naturels, déchets) et sur la possibilité d'utiliser ces granulats pour confectionner un bon béton.

Tableau 4-5 : Essais effectués sur les matériaux utilisés

Essais ou Analyse	Norme	Sable de mer	Gravillon 3/8	Gravier 8/15	Plastique en fibres	Plastique en grains
Echantillonnage	NF P 18-553 Sep.90	X	X	X	X	X
Granulométrie	NF P 18-560 Sep.90	X	X	X	X	X
Coefficient d'aplatissement	NF P 18-561 Sep.90		X	X	X	
Module de finesse	Mode opératoire	X				
Poids spécifique	NF P 18-555 Déc.90	X	X	X	X	X
Densité apparente	NF P 18-555 Déc.90	X	X	X	X	X
Essai d'abrasion LOS ANGELES	NF P 18-573 Déc.90		X	X		
Essai d'usure MICRO-DEVAL	NF P 18-572 Déc.90		X	X		
Propreté superficielle	NF P 18-591 Sep 90		X	X		
Equivalent de sable	NF P 18-598 Oct. 91	X				
Essai de bleu de méthylène	NF P 18-595 Déc.90	X				

La lettre « X » nous indique que l'essai en question a été réalisé

4.4.1. ECHANTILLONNAGE DES MATERIAUX

Les essais de laboratoire sont généralement réalisés sur de faibles quantités de matériaux (sable, ciment, gravier).

Ces quantités réduites varient de quelques grammes (ou cm^3) à quelques kilogrammes (ou dm^3), doivent représenter réellement celle de l'échantillon global (issu des carrières, usine ou chantiers) dont les quantités sont de l'ordre de quelques tonnes (ou m^3).

Compte tenu de l'hétérogénéité des matériaux, les résultats de laboratoire ne sont donc a priori que des solutions approchées.

On distingue deux stades d'échantillonnage :

- Le premier stade (ou primaire), a trait au mode de prélèvement sur chantier, carrière ou usine suivant le type et la nature des matériaux à tester (sable, gravier, ciment).

La quantité prélevée, qui sera destinée au laboratoire doit être supérieure à celle strictement nécessaire aux essais envisagés.

• Le deuxième stade concerne la fraction du matériau soumise aux essais, au sein du laboratoire.

Echantillonnage en laboratoire

L'échantillonnage en laboratoire est effectué selon la norme NF P 18-553 [11], cet essai est réalisé à l'aide d'un échantillonneur à couloires.

On a versé le matériau à l'aide d'une pelle spéciale dans l'échantillonneur d'une manière que le matériau soit uniformément réparti sur toute la surface de la pelle correspondant à l'échantillonneur utilisé.

Si la quantité obtenue dans chaque bac de réception est grande pour le ou les essais prévus, on refait l'opération avec le matériau recueilli dans l'un des deux bacs.

4.4.2. ANALYSE GRANULOMETRIQUE

L'analyse granulométrique consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. L'essai est effectué conformément à la norme française NF P18-560 [12].

Préparation de l'échantillon

L'échantillon est trempé préalablement au lavage dans un tamis de 0.08 mm jusqu'à ce que l'eau s'écoule sous le tamis de lavage est claire. Le refus récupéré et séché jusqu'à masse constante.

Le tamisage

Le matériau obtenu après lavage et séchage est versé dans la colonne de tamis, cette colonne soumise à une agitation manuelle ou mécanique.

Les refus des tamis sont pesés et donnés dans les tableaux *I-1*, *I-2*, et *I-3* (cf. *Annexe I*)

Les courbes granulométriques sont représentées ci-après :

❖ Analyse granulométrique du gravier 8/15 :

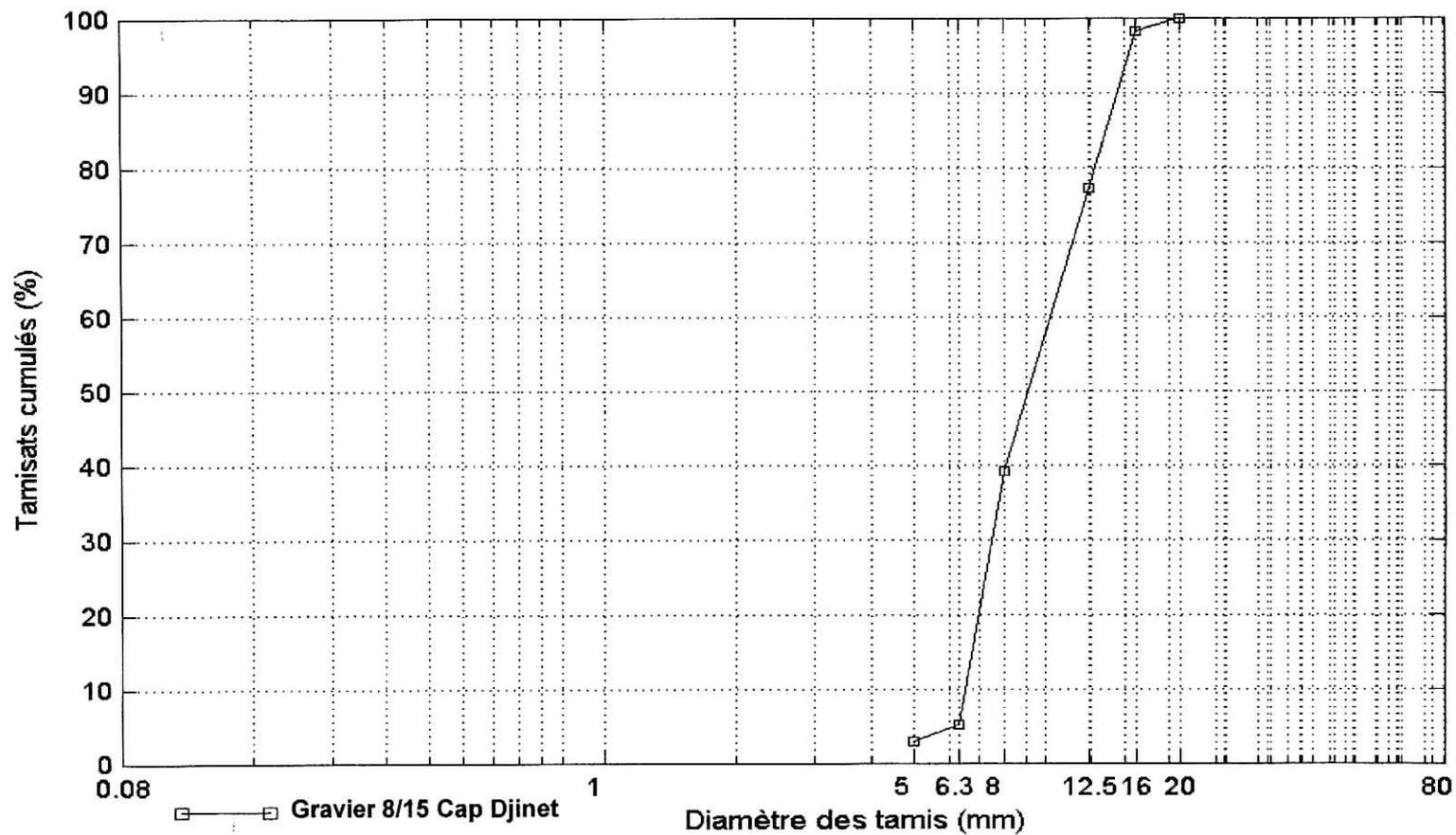


Fig. 4-1: Courbe granulométrique du gravier 8/15 Cap Djinet

❖ Analyse granulométrique du gravier 3/8 et de plastique sous forme des fibres :

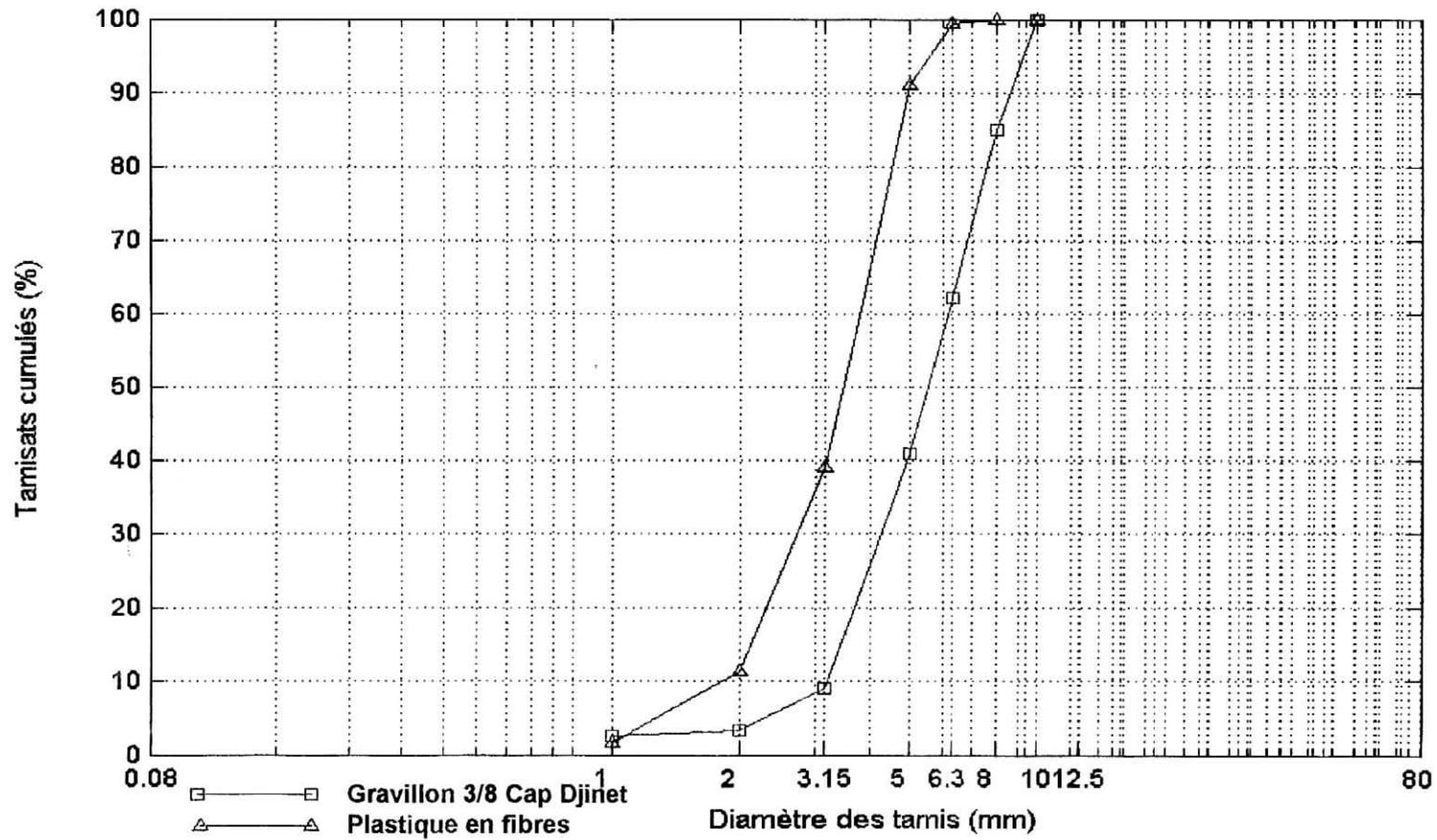


Fig. 4-2: Courbes granulométriques du gravillon 3/8 Cap Djinet et du plastique en fibres

❖ Analyse granulométrique du sable naturel et de plastique sous forme des grains :

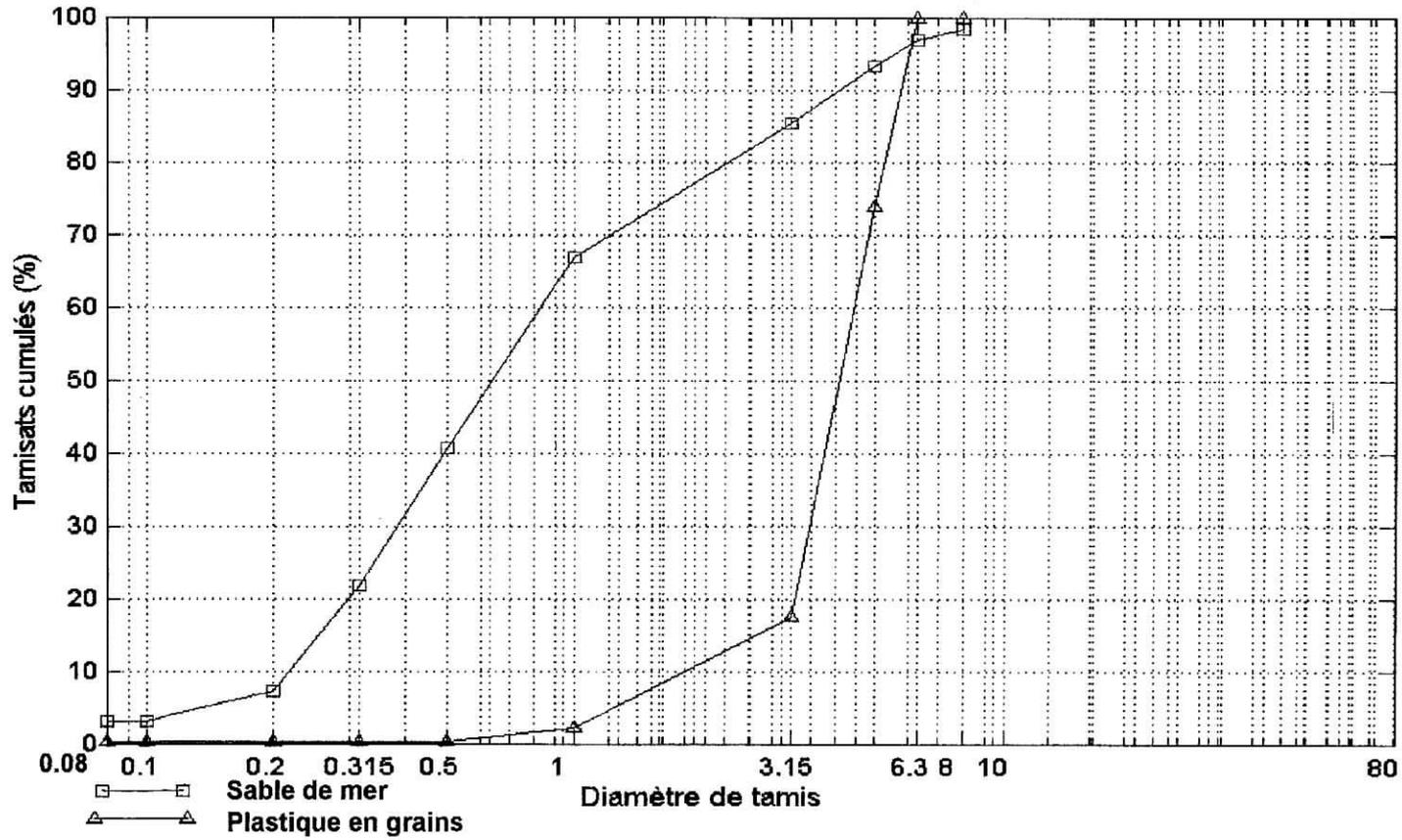


Fig. 4-3: Courbe granulométrique du sable de mer et du plastique en grains

4.4.3. COEFFICIENT D'APLATISSEMENT

La forme des granulats a une incidence sur la maniabilité du béton, la forme la plus souhaitable est celle qui se rapproche de la sphère.

L'essai de coefficient d'aplatissement consiste à effectuer un double tamisage :

❖ Tamisage sur tamis à mailles carrées, pour classer l'échantillon étudié en différentes classes d/D (avec $D = 1.25d$), suivant leur grosseur G .

❖ Puis tamisage des différentes classes granulaires d/D , sur des grilles à fentes parallèles d'écartement : $\frac{d}{1.58}$

L'ancienne norme NF P 18-561 [13] spécifie que la valeur du coefficient d'aplatissement doit être : $A \leq 30\%$.

Les valeurs trouvées sont résumées dans les tableaux suivants :

• Gravier 8/15 :

Tableau 4-6 : Coefficient d'aplatissement du gravier 8/15 Cap Djinet

Tamisage	Tamisât	Tamisage sur grilles	
		Ecartement des grilles M (mm)	Passants Masse M_e (g)
16 - 20	52.9	10	5.3
12.5 - 16	589.0	8	107
10 - 12.5	1269.4	6.3	241
8 - 10	872	5	158.2
6.3 - 8	402	4	111.6
5 - 6.3	89.6	3.15	25.3
$\sum M$	3274.9	$\sum M_e$	648.8
$A = \frac{\sum M_e}{\sum M} \times 100$		$A = 19.81 \%$	

• Gravillon 3/8 :

Tableau 4-7 : Coefficient d'aplatissement du gravillon 3/8 Cap Djinet

Tamisage	Tamisât	Tamisage sur grilles	
		Ecartement des grilles M (mm)	Passants Masse M_e (g)
10 - 12.5	0	6.3	0
8 - 10	414.5	5	33.1
6.3 - 8	633.2	4	72.9
5 - 6.3	589.7	3.15	72.6
4 - 5	522.6	2.5	64.7
$\sum M$	2160	$\sum M_e$	243.3
$A = \frac{\sum M_e}{\sum M} \times 100$		$A = 11.26 \%$	

• **Gravillon recyclé (plastique en fibres) :**

Tableau 4-8 : Coefficient d'aplatissement du plastique en fibres

Tamisage			Tamisât	Tamisage sur grilles	
				Ecartement des grilles M (mm)	Passants Masse M_e (g)
10	-	12.5	0.3	6.3	0.3
8	-	10	1.2	5	1.2
6.3	-	8	7.5	4	7.5
5	-	6.3	115.9	3.15	90.7
4	-	5	733.5	2.5	570.5
$\sum M$			858.4	$\sum M_e$	670.2
$A = \frac{\sum M_e}{\sum M} \times 100$				$A = 78.08 \%$	

4.4.4. MODULE DE FINESSE

Le module de finesse d'un granulat est égal au centième de la somme des refus cumulés, exprimés en pourcentage sur les différents tamis de la série suivante :

0.16 – 0.315 – 0.63 – 1.25 – 2.5 – 5 – 10 – 20 – 40 – 80 mm.

Le module de finesse étant presque exclusivement vérifié sur les sables les tamis concernés sont : 0.16 – 0.315 – 0.63 – 1.25 – 2.5 – 5 mm, les résultats de tamisage sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 4-9 : Module de finesse

Dimension des tamis			Refus cumulés (g)	Pourcentage du tamisât (%)
10	-	5	37.3	3.06
5	-	2.5	131.8	10.81
2.5	-	1.25	353.8	29.02
1.25	-	0.63	722.7	59.27
0.63	-	0.315	952.7	78.135
0.135	-	0.16	1169.2	95.89

$$M_f = \frac{3.06 + 10.81 + 29.02 + 59.27 + 78.135 + 95.89}{100} = 2.76$$

On a $2.2 < M_f < 2.8$ donc notre sable convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.

4.4.5. POIDS SPECIFIQUES AU PYCNOMETRE

La densité absolue : est la masse spécifique à la masse d'un égal volume d'eau à +4 °C soit 1000 Kg ; la densité absolue est donc égale au millième de la masse spécifique.

La masse spécifique : est la masse d'un corps par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains (volume absolu).

Les résultats de cet essai sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 4-10 : Poids spécifique au pycnomètre

ECHANTILLON	Sable de zemmouri	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Plastique Fibres	Plastique grains
Poids du pycnomètre vide P ₁	798.1	798.1	798.1	798.1	798.1
Poids de (pycnomètre + eau)	2064.7	2064.7	2064.7	2064.7	2064.7
Poids de l'eau en g	1266.6	1266.6	1266.6	1266.6	1266.6
Volume du pycnomètre en cm ³	1266.6	1266.6	1266.6	1266.6	1266.6
Poids du pycnomètre + matériau P ₂	1456.5	1510.9	1448.4	1027.5	1118.2
Poids du matériau (P ₂ -P ₁)	658.4	650.3	653	229.4	320.1
Poids du pycnomètre+eau+matériau P ₃	2475.7	2534.8	2471.2	2118.5	2138.7
Poids de l'eau P ₃ -P ₂	1019.2	1007.7	1022.8	1091	1020.5
Volume de l'eau	1019.2	1007.7	1022.8	1091	1020.5
Volume de matériau A-B	247.4	258.9	243.8	175.6	246.1
γ (poids spécifique)	2.66	2.55	2.67	1.31	1.30

4.4.6. DENSITES APPARENTES

La densité apparente : est à la masse volumique ce que la densité est à la masse spécifique, c'est donc un rapport sans dimension dont la valeur est égale au millième de la masse volumique.

La masse volumique : est la masse d'un corps par unité de volume total y compris les vides entre les grains le constituant (volume apparent).

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4-11 : Densité Apparente

Type de matériau	Gravillon 3/8	Gravier 8/15	Sable de zemmouri	Plastique (grains)	Plastique (fibres)
Poids du pycnomètre vide (g)	4969.8	4969.8	4969.8	4969.8	4969.8
Volume du Pycnomètre (cm ³)	4974	4974	4974	4974	4974
Poids du Pycnomètre+ matériau (g)	11900	12000	13350	8214.6	6894.1
Densité apparente	1.39	1.41	1.685	0.65	0.39

4.4.7. ESSAI D'ABRASION LOS ANGELES

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produite en soumettant le granulats aux chocs de boules normalisées dans la machine Los Angeles conformément à la norme NF P18-573 [14]. Cette dernière stipule la valeur spécifique limite de 40% à ne pas dépasser.

L'essai sert à évaluer la ténacité et la fragilité du matériau. Les résultats de cet essai sont :

• Gravier 8/15 (CAP-DJINET) :

Préparation de l'essai : 5000g de passants entre 14 et 10mm
11 boules de fer

Poids obtenu après passage à l'appareil Los Angeles, lavage au tamis de 1.6 mm puis séchage à l'étuve à 105 °C jusqu'à masse constante : 4006.1g

$$LA = \frac{5000 - 4006.1}{5000} = 19.9\%$$

• Gravier 3/8 (CAP-DJINET) :

Préparation de l'essai : 5000g de passants entre 6.3 et 4mm
7 boules de fer

Poids obtenu après passage à l'appareil Los Angeles, lavage au tamis de 1.6 mm puis séchage à l'étuve à 105 °C jusqu'à masse constante : 3630.0g

$$LA = \frac{5000 - 3630.0}{5000} = 27.4\%$$

4.4.8. ESSAI D'USURE MICRO-DEVAL

L'essai micro-Deval permet de mesurer l'usure des granulats produits par frottements réciproques dans un cylindre en rotation dans des conditions bien définies.

Cet essai réalisée sur les graviers 3/8, 8/15 et la granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les classes granulaires : 4 - 6.3 (pour le gravier 3/8) et 10 - 14 (pour le gravier 8/15).

• Gravier 8/15 (CAP-DJINET) :

Préparation de l'essai : 500g de passants entre 14 et 10mm
5000g de la charge abrasive
2.5 l d'eau

Poids obtenu après passage à l'appareil micro-Deval, lavage au tamis de 1.6 mm puis séchage à l'étuve à 105 °C jusqu'à masse constante : 412.8g

$$MDE = \frac{500 - 412.8}{500} = 17.44$$

• Gravier 3/8 (CAP-DJINET) :

Préparation de l'essai : 500g de passants entre 6.3 et 4mm
2000g de la charge abrasive
2.5 l d'eau

Poids obtenu après passage à l'appareil micro-Deval, lavage au tamis de 1.6 mm puis séchage à l'étuve à 105 °C jusqu'à masse constante : 403.0g

$$MDE = \frac{500 - 403.0}{500} = 19.4$$

Selon la norme NF P18-572 [15] le MDE ne doit pas dépassé 20

4.4.9. PROPETE SUPERFICIELLE

L'essai de propreté superficielle consiste à déterminer le pourcentage des particules inférieur à 0.5 mm conformément à la norme P 18-591 [16], que ces éléments soient simplement mélangées ou adhérents à la surface des granulats supérieurs à 2 mm. Ces particules sont séparées par lavage sur le tamis correspondant.

Les résultats de cet essai sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 4-12 : Propreté des granulats

Type de granulats	Poids avant lavage	Poids après lavage	Pourcentage d'impureté (%)
8/15 CAP-DJINET	4572.3 g	4457.08 g	2.52 %
3/8 CAP-DJINET	2611.2 g	2481.5 g	4.96 %

Selon la norme NFP 18-591 le pourcentage des impuretés ne doit pas dépasser 5%.

4.4.10. EQUIVALANT DE SABLE

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées. Il rend compte globalement de quantité et de la qualité des éléments fins. L'essai est réalisé conformément à la norme NF P 18-598 [17].

Le tableau suivant regroupe les résultats trouvés et le critère de la norme correspondant.

Tableau 4-13 : Valeur de l'équivalent de sable

NATURE DE L'ECHANTILLON	TUBE N°	HAUTEUR DE FLOCULAT H ₁ (cm)	HAUTEUR DU SABLE H ₂ (cm)	E.S (%) H ₂ / H ₁ × 100	Critère de la norme
SABLE DE MER	I	10.9	8.6	78.90	≥70 pour les sables naturels
	II	10.7	8.2	76.64	
	III	10.6	8.1	76.42	
	MOYENNE			77.32	

Donc notre sable est acceptable pour la confection des bétons hydrauliques.

4.4.11. VALEUR AU BLEU

Cet essai permet de caractérisée les argiles des granulats quand elles sont présentes en faible quantité. L'essai réalisé conformément à la norme NF P 18-595 [18], d'après la

norme précédent la valeur de bleu de méthylène ne doit pas dépasser 0.80 pour un sable propre.

Les calculs à exécuter sont :

- ❖ masse de bleu introduit (en grammes) :

$$B = V \times 0.01 = 10 \times 0.01 = 0.1$$

- ❖ L'expression du résultat est (en grammes de bleu pour 100 de sol sec)

$$VBS = B \times \frac{100}{m_0}$$

- ❖ Pour les matériaux dont le $D_{\max} > 5$ mm, l'expression du résultat est :

$$VBS = B \times C \times \frac{100}{m_0} = 0.1 \times 0.96 \times \frac{100}{100} = 0.096$$

Avec C comme proportion de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du sol sec.

CHAPITRE 05

FORMULATION ET CONFECTION DU BETON

5.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons définir :

- La méthode choisit pour la formulation du béton (méthode de Faury) ;
- Les pourcentages du déchet à incorporer ;
- La mise en place des éprouvettes et finalement les essais effectués sur le béton frais et durci.

Le but de ce chapitre est de rechercher les pourcentages optimaux des différents constituants du béton afin d'obtenir la composition adéquate.

5.2. COMPOSITION

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose, ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction.

Plusieurs méthodes de compositions de béton ont été proposées par différents auteurs :

Méthode de Bolomey, Vallette, Faury, Lezy, Joisel, Dreux-Goriss,...etc.

Nous avons choisi pour notre étude la méthode de composition proposée par Faury, ceci pour deux raisons principales :

- Cette méthode est applicable à tous les granulats, quelle que soit leurs masses volumiques;
- Elle est basée sur la continuité des courbes granulométriques, donc lorsqu'on substitue un pourcentage de granulats naturels par un même pourcentage de déchet appartenant à la même fraction (0/3 et 3/8), on préserve au maximum possible l'allure et la continuité de ces courbes (avant substitution).

5.3. METHODE DE FAURY

Faury proposa, comme suite à une étude générale du béton, une nouvelle loi de granulation du type « continu » [19].

Il s'inspirait pour cela de la théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen. La loi de granulation qui en découle est une loi fonction de $\sqrt[3]{d}$; c'est pourquoi Faury adopta une échelle des abscisses graduée en $\sqrt[3]{d}$. La courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est alors – théoriquement- une droite ; cependant Faury a distingué les grains fins et moyens ($<D/2$) des gros grains ($>D/2$) et la pente de la droite de référence n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories [19].

On trace donc pour l'ensemble du mélange, ciment compris, une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites, si l'on opère sur un graphique gradué, en abscisse, en $\sqrt[3]{d}$. L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixée à $D/2$ et son ordonnée Y est donnée par une formule tenant compte de la grosseur D

du granulat et comportant certains paramètres dont la valeur est à choisir dans des tableaux en fonction de la qualité des granulats (roulés ou concassés), et de la puissance du serrage (simple piquage ou vibration plus ou moins intense) [19].

Cette valeur se calcule par la formule suivante :

$$Y_{D/2} = A + 17\sqrt[3]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0.75} \quad [19] \quad (5-1)$$

A : constante, traduisant la maniabilité du béton ;

B : constante, traduisant l'importance du serrage du béton ;

D : dimension du plus grand tamis laissant passer tous les granulats ;

R : rayon moyen du moule.

5.3.1. DETERMINATION DES DIFFERENTS COEFFICIENTS [19]

❖ Coefficient A

La valeur du paramètre A est égale à 28.5 pour une consistance molle et un serrage moyen.

❖ Coefficient D

C'est la dimension du tamis qui laisserait tout juste passer la totalité du granulat, D est calculé selon la formule suivante :

$$D = d_{n-1}(1 + c) \quad (5-2)$$

Soit x le refus sur l'avant dernier tamis d_{n-1} , et y le pourcentage de granulat qui traverse d_{n-1} mais qui reste sur le tamis $d_{n-1}/2$

Dans notre cas : $x = 1.74$ et $y = y_{d_{n-1}} - y_{d_{n-1}/2} = 98.26 - 16.79 = 81.47$

$$D = d_{n-1}(1 + c) = 16 \times \left(1 + \frac{1.74}{2 \times 81.47} \right) = 16.2 \text{ mm}$$

❖ Coefficients B

Le coefficient B est varié de 1 à 2 selon que le béton est ferme ou mou.

❖ Coefficients R

L'effet de paroi est négligeable (R très grand).

❖ Calcul de la valeur de B/(R/D - 0.75)

Dans notre cas, le béton est soigneusement serré (B faible), effet de paroi négligeable (R très grand) alors résultat est voisin de zéro.

❖ Calcul de $Y_{D/2}$

$$Y_{D/2} = 28.5 + 17 \times \sqrt[3]{16.2} + 0 = 58.1$$

On peut maintenant tracer la courbe optimale :

COURBE GRANULOMETRIQUE

Selon M.FAURY

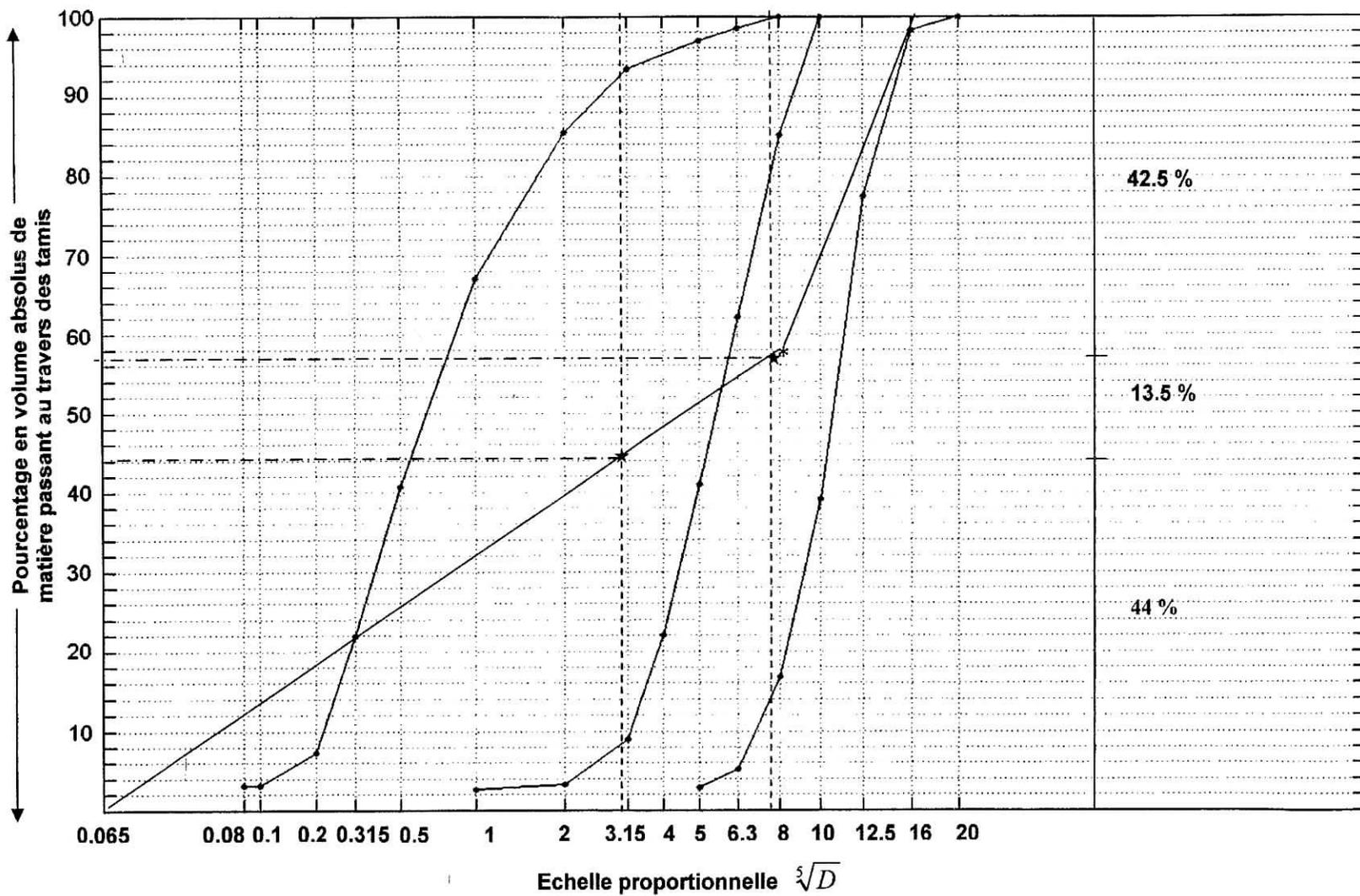


Fig. 5-1 : Courbes de référence Faury

Nous nous inspirerons de cette méthode, quant au tracé d'une courbe granulaire de référence suivant deux droites définies par leur point de brisure, mais nous le ferons pour les granulats seuls (sans le ciment), ce qui simplifie beaucoup les choses ; le dosage en ciment est en effet, dans la pratique, affaire de résistance et non de granularité.

5.3.2. DETERMINATION DES POURCENTAGES DES AGREGATS

Les pourcentages des constituants du béton (sauf l'eau) sont déterminés en volumes absolus par la détermination graphique de Joisel. On trace des droites parallèles à l'axe des ordonnées délimitant de part et d'autre de deux courbes granulométriques successives des aires approximativement égales. Les points d'intersection des droites avec la courbe de référence ont pour ordonnées x et y avec :

x % : pourcentage en volume absolu de sable + ciment.

$(y - x)$ % : pourcentage en volume absolu de gravillons.

y % : pourcentage en volume absolu de gravier.

Les résultats sont :

Tableau 5-1: pourcentage des différents fraction suivant la méthode de Faury

Fraction	Pourcentage
Gravier 8/15	42.5 %
Gravillon 3/8	13.5 %
Sable + ciment	44 %

Pour déterminer les volumes absolus, il faut connaître le volume total des constituants solide continu dans un mètre cube de béton, donc la quantité d'eau.

5.3.3. DOSAGE EN EAU

La quantité d'eau dans un mètre cube de béton, sert pour la moitié à peu près à l'hydratation du ciment, tandis que l'autre moitié, sous forme d'eau de mouillage et interstitielle confère au béton ses qualités de plasticité et d'ouvrabilité que l'on vérifie, en général, par des mesures d'affaissement au cône d'Abrams, une partie de l'eau pouvant d'ailleurs être absorbée par les granulats en fonction de leur plus ou moins grande porosité.

La quantité d'eau de gâchage est déterminée par la formule :

$$1.2I \leq E \leq 1.3I \text{ avec } I \text{ (m}^3\text{)} = \frac{1000 k}{\sqrt[3]{D_{\max}}} + \frac{1000 k'}{\frac{R}{D} - 0.75} \quad (5-3)$$

I : volume des vides

k : la valeur de k est donnée par le tableau 5-3 ;

k' : pour un béton plastique $k' = 0.003$.

$$E = 1.25 \times \frac{1000 \cdot 0.285}{\sqrt[3]{16.2}} = 204 \text{ l}$$

5.3.4. COMPOSITION PONDERALE DES CONSTITUANTS SOLIDES

Nous avons :

$$V_c + V_s + V_g + V_G = 1 - E \quad (5-4)$$

V_c, V_s, V_g et V_G sont les volumes absolus respectifs du ciment, du sable, des gravillons et du gravier.

$$\ast V_c + V_s = \frac{x}{100} \cdot (1 - E) = \frac{44}{100} \cdot (1 - 0.204) = 0.3502 \text{ m}^3$$

$$\text{avec } V_c = \frac{c}{\rho_c} = \frac{350}{3.1} = 0.113 \text{ m}^3$$

$$\ast V_s = \frac{x}{100} \cdot (1 - E) - V_c = 0.3502 - 0.113 = 0.2372 \text{ m}^3 \quad (5-5)$$

$$\ast V_g = \frac{y - x}{100} \cdot (1 - E) = \frac{13.5}{100} \cdot (1 - 0.204) = 0.1075 \text{ m}^3$$

$$\ast V_G = \frac{100 - y}{100} \cdot (1 - E) = \frac{42.5}{100} \cdot (1 - 0.204) = 0.3383 \text{ m}^3$$

5.3.5. CALCUL DE LA DENSITE THEORIQUE

Dans la composition de référence la densité théorique est la somme des masses de chacun des constituants correspondes aux ces volumes pour un mètre cube de béton, y compris l'eau.

$$\ast V_c = 113 \text{ l} \Rightarrow P_c = \rho_c \cdot V_c = 3.1 \cdot 113 = 350 \text{ Kg} \rightarrow \text{Ciment}$$

$$\ast V_s = 237.2 \text{ l} \Rightarrow P_s = \rho_s \cdot V_s = 2.66 \cdot 237.2 = 631 \text{ Kg} \rightarrow \text{Sable}$$

$$\ast V_g = 107.5 \text{ l} \Rightarrow P_g = \rho_g \cdot V_g = 2.67 \cdot 107.5 = 287 \text{ Kg} \rightarrow \text{Gravillon}$$

$$\ast V_G = 338.3 \text{ l} \Rightarrow P_G = \rho_G \cdot V_G = 2.55 \cdot 338.3 = 863 \text{ Kg} \rightarrow \text{Gruvier}$$

$$\ast V_{\text{eau}} = 204 \text{ l} \Rightarrow P_{\text{eau}} = \rho_{\text{eau}} \cdot V_{\text{eau}} = 1 \cdot 204 = 204 \text{ Kg} \rightarrow \text{Eau}$$

$$\ast V_{\text{total}} = 1000 \text{ l} \quad P_{\text{total}} = 2335 \text{ Kg}$$

Densité théorique du béton $\rho_{th} = 2335 \text{ Kg} / \text{m}^3$

5.4. FABRICATION DES EPROUVETTES

5.4.1. EQUIPEMENTS [20]

En laboratoire, les éprouvettes en béton ont été réalisées à l'aide d'un équipement standard.

❖ Malaxeur (selon EN 196-1)

Le béton a été préparé dans un malaxeur de 5 litres, il comporte une pale de malaxage en alliage léger susceptible de fonctionner à trois vitesses de malaxage : 139, 285, 591 tr/mn (Fig.4-annexe II).

❖ Aiguilles vibrantes (selon NF P 18-422)

On utilise une aiguille vibrante de 25 mm de diamètre, dont la fréquence de vibration est de 12000 vibr/mn, équipée d'une pneumatique flexible de 2 m de longueur, et de poids de 2 Kg (*Fig.5-Annexe II*).

❖ Moules (selon norme AFNOR-ISO-EN-ASTM)

Des moules normalisés ont été utilisés, ils servent au moulage de quatre éprouvettes prismatiques de béton de section carrée 7 cm×7 cm et de longueur de 28 cm. Ils sont fabriqués avec précision et sont entièrement démontables. Ces moules sont fabriqués en acier étiré usiné (*Fig.6-Annexe II*).

5.4.2. CONFECTION DES EPROUVETTES

Les composants nécessaires à la confection du béton sont malaxés, jusqu'à obtention d'une pâte bien homogène. Le béton ainsi préparé est testé par le cône d'Abrams pour mesurer l'affaissement. Le béton récupéré (après l'essai Slump-test) est versé dans des moules 7×7×28 cm, une fois le moule rempli en béton, on fait descendre l'aiguille vibrante verticalement sur l'axe de l'éprouvette en trois points distants de 7 cm pendant 10 à 12 secondes (dans chaque point), puis on la retire lentement pendant les cinq dernières secondes. La surface du béton est nivelée au ras des bords avec une règle métalliques plate. Afin d'éviter l'évaporation de l'eau de gâchage, les éprouvettes sont alors couvertes par un film plastique, après démoulage des éprouvettes à 24 heures, nous les conservons dans l'eau jusqu'au jour de l'essai (*Fig.7-Annexe II*).

5.5. INCORPORATION DU DECHET

Nous préparons au départ des éprouvettes témoins à 0% de déchet, puis on fabrique successivement des éprouvettes à 10, 20, 30, 40, et 50 % de déchet (pourcentage de substituant) pour les deux types de plastiques incorporés (fibre, grains).

Les deux figures suivantes nous montre l'ordre d'incorporation des différents matériaux.

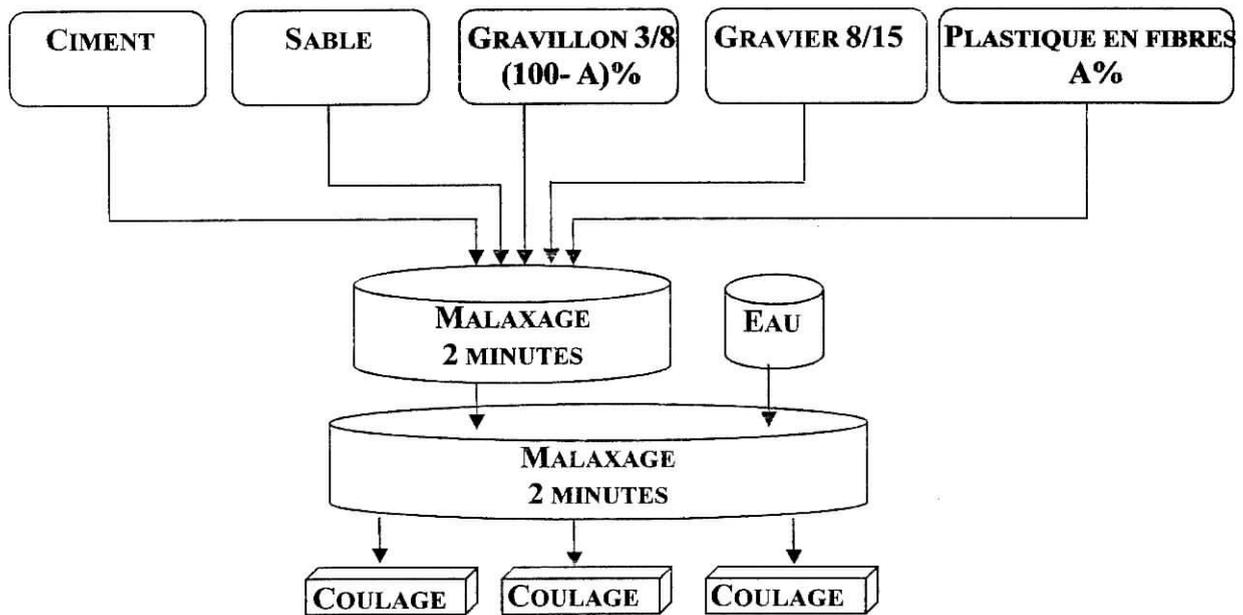


Fig. 5-2 : Procédé de traitement de déchet sous forme de fibre par un liant hydraulique

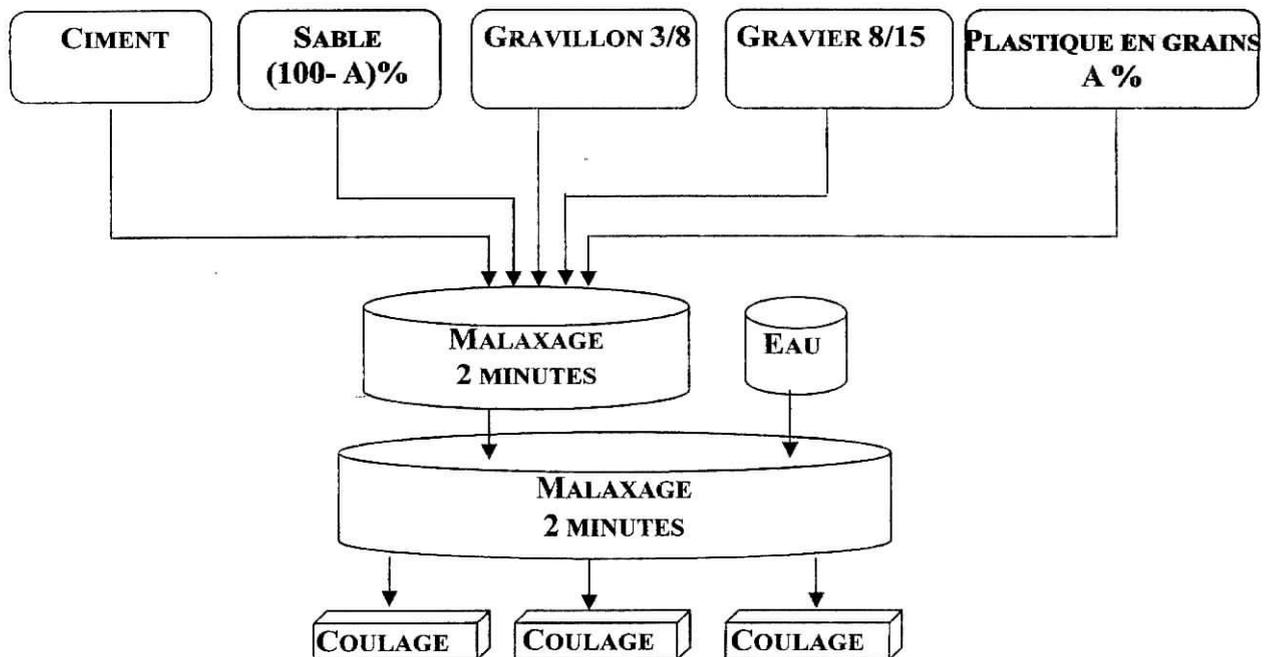


Fig. 5-3 : Procédé de traitement de déchet sous forme de grains par un liant hydraulique

5.6. MODALITE DES ESSAIS

5.6.1. OUVRABILITE

L'ouvrabilité a été mesurée par le Slump-test conformément à la norme NF P 18-451 Déc.81 [21]. Tous les bétons ont été fabriqués à ouvrabilité constante (plage de plasticité) pour faciliter la comparaison entre eux.

5.6.2. ESSAI DE RESISTANCE A LA COMPRESSION

L'essai s'effectue sur machine à compression (*Fig.8-Annexe II*) conformément à la norme NF P 18-406 [22]. La résistance à la compression est déduite par la moyenne d'écrasement de trois éprouvettes cubiques de 7 cm d'arête pour chaque béton et pour chaque âge.

$$\sigma_{c,j} = \frac{F}{a^2} \quad (5-6)$$

F : la charge de rupture ;

a : l'arête de l'éprouvette ;

$\sigma_{c,j}$: résistance à la compression à j jours.

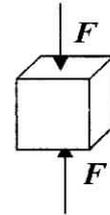


Fig. 5-4 : Essai de compression

5.6.3. ESSAI DE RESISTANCE A LA TRACTION PAR FLEXION

La résistance à la traction est mesurée par la méthode de traction par flexion conformément à la norme NF P 18-407 Déc.81 [23]. L'essai s'effectue sur une machine automatique de flexion (*Fig.9-Annexe II*), sollicitant l'écrasement d'éprouvette prismatique (7×7×28 cm) à une flexion directe à raison de trois éprouvettes pour chaque âge et pour chaque béton.

$$\sigma_{t,j} = \frac{1.8P}{a^2} (MPa); \quad P = 2F \quad (5-7)$$

P : la charge de rupture ;

a : le côté de la base en mm ;

$\sigma_{t,j}$: résistance à la traction à j jours.

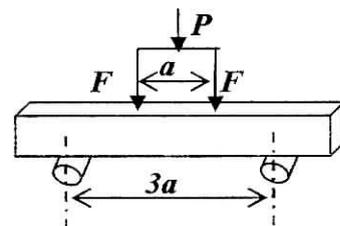


Fig. 5-5 : Essai de traction par flexion

5.6.4. ESSAI DE RESISTANCE A LA TEMPERATURE

Dans le but de voir les performances de notre béton vis à vis la chaleur, des essais mécaniques de compression ont été effectués sur des éprouvettes laissées à l'étuve (*Fig.10-Annexe II*) pendant 48 heures sous une température fixée. (Nous avons fixé quatre températures différentes par incrément de 50°C afin de voir l'évolution des résistances).

CHAPITRE 06

ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS

6.1. INTRODUCTION

On a confectionné deux bétons, le premier contient des pourcentages de déchet plastique sous forme de fibres, alors que le deuxième contient des pourcentages de déchet sous forme de grains. Ces pourcentages varient de 0 à 50% par incrément de 10%.

6.2. BETON FRAIS

La composition du béton a été faite de façon à avoir un affaissement entre 50 et 90 mm (béton plastique). La confection des éprouvettes est faite selon le mode opératoire décrit dans le §5.4.2 (confection des éprouvettes).

6.2.1 AFFAISSEMENT AU CONE D'ABRAMS

Le cône est rempli en trois couches, tassées avec une tige en acier pointue de 16 mm de diamètre à raison de 25 coups par couche.

Le cône est soulevé ensuite verticalement, et posé près du béton pour mesurer la valeur de l'affaissement. Si cette valeur se trouve dans la plage du béton plastique (50 à 90 mm), on fait couler le béton dans des moules prismatiques pour former les éprouvettes.

Il faut faire attention lors de l'incorporation de la quantité d'eau calculée, il faut l'introduire progressivement en vérifiant à chaque fois la consistance pour pouvoir la corriger, dans la mesure où elle peut être supérieur ou inférieur à la valeur théorique trouvée.

Le tableau 6-1, donne les quantités d'eau réellement utilisées et les quantités effectivement ajoutées, ainsi que l'affaissement réel mesuré pour le béton avec fibres en plastique:

Tableau 6-1 : mesure de l'affaissement et du rapport E/C pour les différents pourcentage en fibres

Pourcentage de déchet	Quantité du plastique en Kg pour 1m ³ de béton	Quantité d'eau (l)	Affaissement mesuré (cm)	La valeur du rapport E/C
0%	0	204	3.3	0.58
		217	8.5	0.62
10%	13.98	217	8	0.62
20%	27.95	217	6	0.62
30%	42.93	217	5.3	0.62
40%	55.9	217	3	0.62
		226	6	0.645
50%	69.88	226	4.2	0.645
		235	5	0.67

Le tableau 6-2, donne les quantités d'eau réellement utilisées et les quantités effectivement ajoutées, ainsi que l'affaissement réel mesuré pour le béton avec grains en plastique :

Tableau 6-2 : mesure de l'affaissement et du rapport E/C pour les différents pourcentages de grains

Pourcentage de déchet	Quantité du plastique en Kg pour 1m ³ de béton	Quantité d'eau (l)	Affaissement mesuré (cm)	La valeur du rapport E/C
0%	0	204	3.3	0.58
		217	7.75	0.62
10%	30.82	217	6.7	0.62
20%	61.65	217	6	0.62
30%	92.5	217	5.3	0.62
40%	123.29	217	3	0.62
		226	5.1	0.645
50%	154.16	226	3.2	0.645
		235	5	0.67

On remarque que l'utilisation de la quantité d'eau obtenue par la formulation de Faury pour le béton ordinaire (sans déchet), donne un béton ferme (Slump = 3.3 cm (*Fig.11-Annexe II*)), d'où la nécessité d'augmenter cette quantité pour avoir un béton plastique (5 cm < Slump < 9 cm (*Fig.12-AnnexeII*)).

En incorporant le déchet plastique (que ce soit en fibres ou en grains) dans le béton, nous remarquons une diminution de l'ouvrabilité avec l'augmentation du pourcentage de déchet, particulièrement, lorsque le pourcentage varie entre 40 et 50% (où le béton devient ferme). Ce qui nous a obligé à rajouter une quantité d'eau supplémentaire pour revenir à l'ouvrabilité désirée.

La diminution de l'ouvrabilité lors de l'incorporation de déchets peut être expliquée de la manière suivante :

- L'adjonction du déchet de fibres conduit à une augmentation de la surface spécifique, ce qui a mené à ajouter une quantité d'eau de gâchage supplémentaire pour mouiller d'avantage de surfaces.
- L'adjonction du déchet sous forme de grains conduit à une augmentation du rapport G/S qui diminue l'ouvrabilité [19], car le mortier devient incapable d'enrober tous les granulats.

6.3. BETON DURCI

6.3.1. ESSAI DE TRACTION PAR FLEXION

L'essai consiste à soumettre l'éprouvette (éprouvette prismatique de 7×7×28 cm) à la flexion quatre points (*Fig. 13-Annexe II*), selon le mode opératoire décrit en § 5.6.3.

Les résultats pour le béton en fibres sont résumés dans le tableau et le graphe suivants :

Tableau 6-3 : résistance à la traction par flexion du béton en fibres à 14 et 28 jours

Pourcentage de déchet	La moyenne de la valeur de la charge P (Kg)		La résistance a la traction en 14 jours σ_{t14} (MPa)	La résistance a la traction en 28 jours σ_{t28} (MPa)
	14 jours	28 jours		
0%	900	1100	3.31	4.04
10%	950	1130	3.49	4.15
20%	1040	1280	3.82	4.7
30%	1140	1300	4.19	4.77
40%	1000	970	3.67	3.56
50%	770	800	2.82	3.49

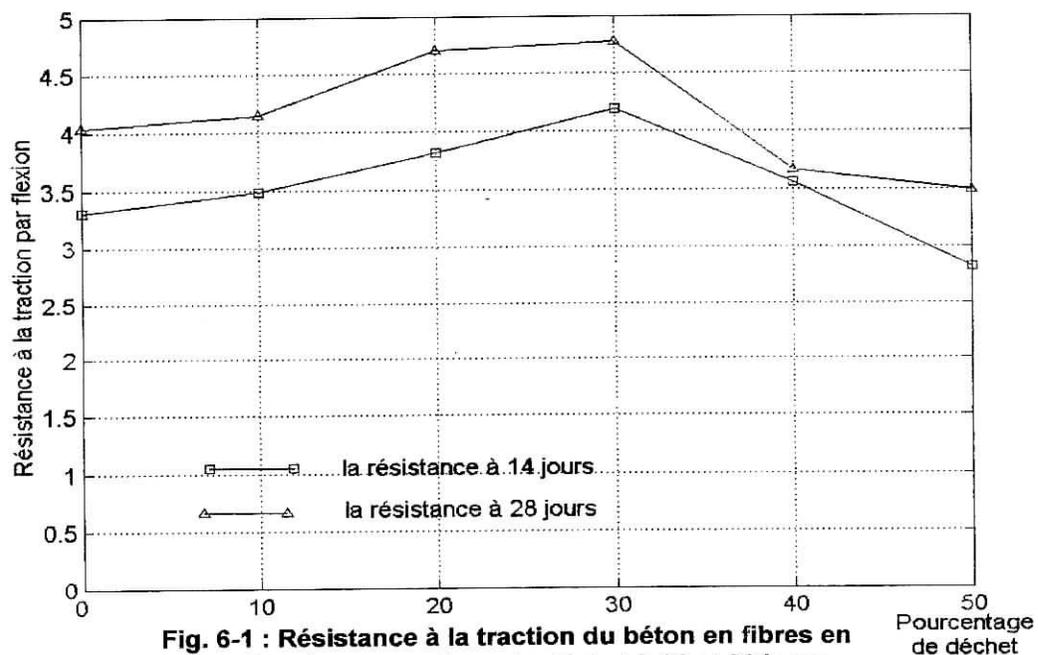


Fig. 6-1 : Résistance à la traction du béton en fibres en fonction du pourcentage de déchet à 14 et 28 jours

Nous remarquons que les résistances à la traction à 28j sont supérieures aux résistances à la traction à 14j ceci est due au durcissement du béton. Concernant l'allure générale des deux courbes, nous remarquons qu'elles sont constituées de deux phases :

0 à 30% de substitution : Une augmentation de la résistance à la traction due à l'adhérence entre le béton et les fibres en plastique, ces dernières jouent le rôle de coutures vis-à-vis les fissures, ce qui retarde ainsi la rupture ;

Au delà de 30% : Une diminution de la résistance à la traction due à l'augmentation de la porosité du béton après l'évaporation de la quantité d'eau supplémentaire (augmentation du rapport E/C).

Les résultats de l'essai de la résistance à la traction par flexion du béton en grains sont donnés dans le tableau et le graphe suivants :

Tableau 6-4 : résistance à la traction par flexion du béton en grains à 14 et 28 jours

Pourcentage de déchet	La moyenne de la valeur de la charge P (Kg)		La résistance a la traction en 14 jours σ_{t14} (MPa)	La résistance a la traction en 28 jours σ_{t28} (MPa)
	14 jours	28 jours		
0%	900	1100	3.31	4.04
10%	805	1000	2.94	3.67
20%	780	900	2.87	3.31
30%	740	970	2.72	3.56
40%	610	950	2.24	3.49
50%	600	890	2.2	3.27

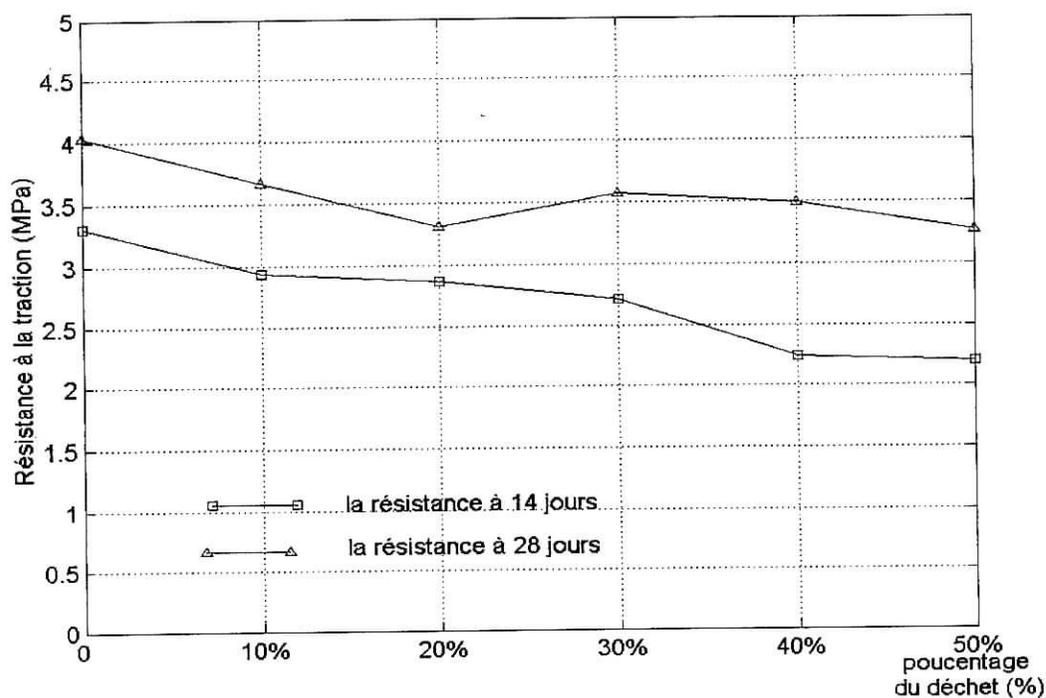


Fig. 6-2 : La variation de la résistance à la traction du béton en grains en fonction du pourcentage de déchet à 14 et 28 jours

Nous remarquons une diminution des résistances avec l'augmentation du pourcentage de déchets pour 14 et 28 jours, car la forme des grains n'empêche pas la propagation des fissures, et l'ajout des grains crée des zones de rupture privilégiées.

De plus, à partir de 40% de substitution, le béton devient moins résistant ceci est dû à l'augmentation de la porosité du béton après l'évaporation de la quantité d'eau supplémentaire (augmentation du rapport E/C).

6.3.2. LA RESISTANCE A LA COMPRESSION

Cet essai est effectué sur des éprouvettes cubiques de 7 cm de coté.

La résistance à la compression correspond à la contrainte maximale donnée par la formule suivante :

$$\sigma_c = p/a^2 \quad (6-1)$$

Où P est l'effort de rupture et a le coté de l'éprouvette

Les résultats de l'essai de la résistance à la compression du béton en fibres sont donnés dans le tableau et le graphe suivants :

Tableau 6-5 : résistance à la compression du béton en fibres à 14 et 28 jours

Pourcentage de déchet	La résistance a la compression à 14 jours σ_{c14} (MPa)	La résistance a la compression à 28 jours σ_{c28} (MPa)
0%	32.39	36.77
10%	33.67	37.05
20%	29.31	32
30%	34.18	40.70
40%	26.52	31.81
50%	22.82	27.55

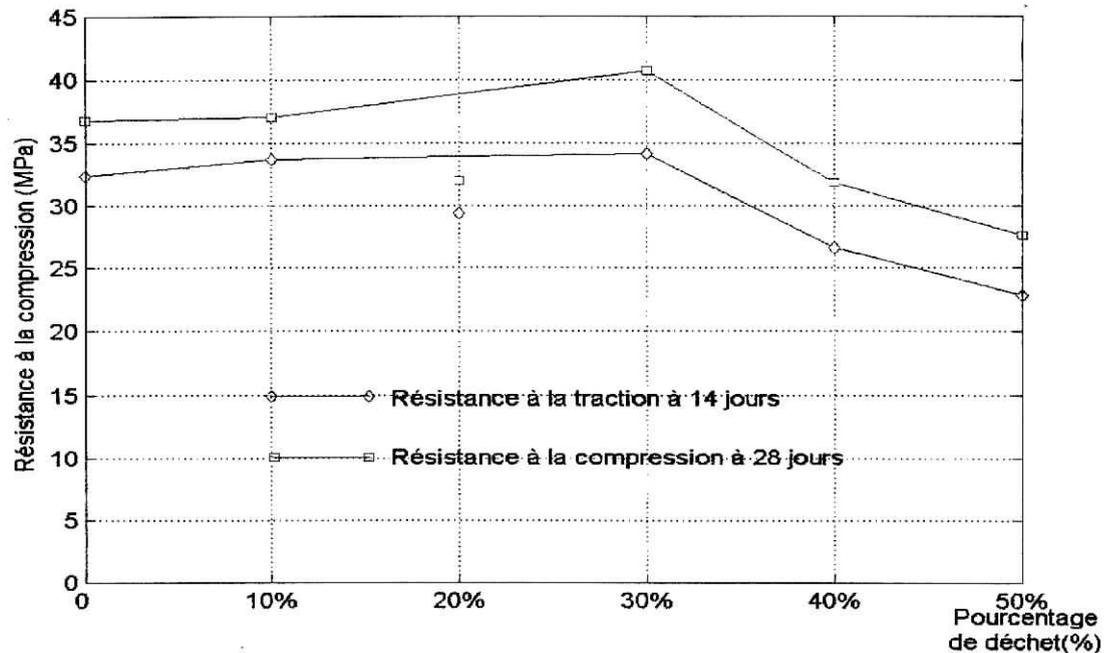


Fig. 6-3 : la variation de la du béton en fibres en fonction du pourcentage du déchet incorporé résistance à la compression

Nous remarquons que les résistances à la compression à 28j sont supérieures aux résistances à la compression à 14j ceci est due au durcissement du béton. Concernant l'allure générale des deux courbes, nous remarquons qu'elles sont constituées de deux phases :

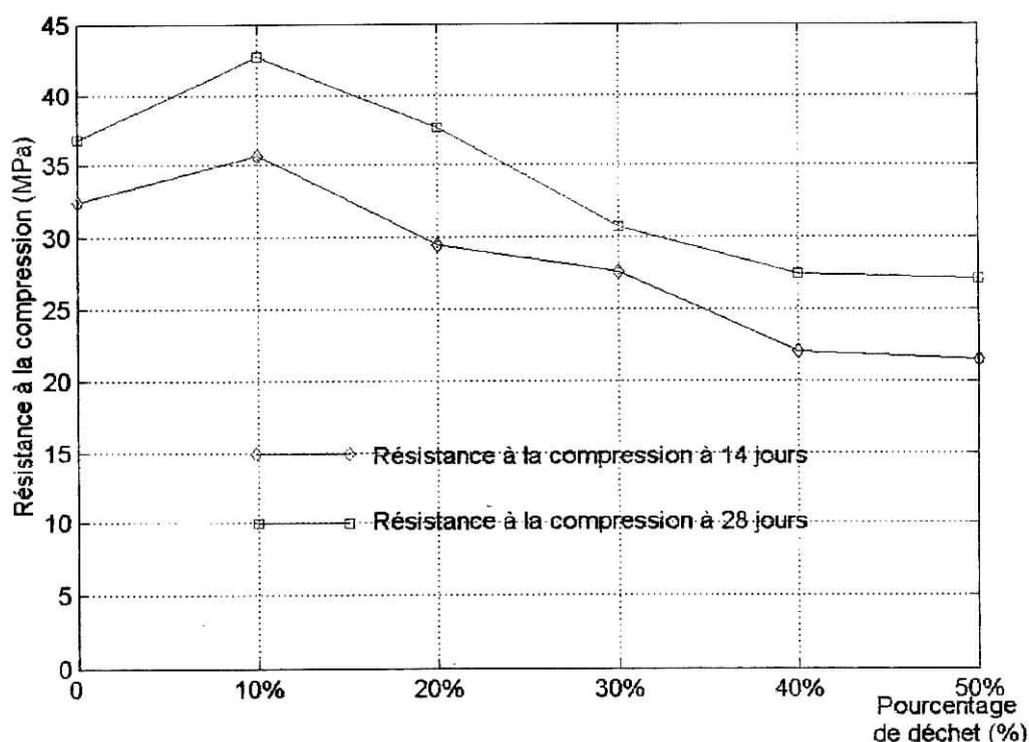
0 à 30% de substitution : Une augmentation de résistances à la compression due à l'adhérence entre le béton et les fibres en plastique, ces dernières jouent le rôle de coutures vis-à-vis les fissures retardant ainsi la rupture ;

Au delà de 30% : Une diminution de la résistances à la compression due à l'augmentation de la porosité du béton après l'évaporation de la quantité d'eau supplémentaire (augmentation du rapport E/C).

Les résultats de l'essai de la résistance à la compression du béton en grains sont donnés dans le tableau et le graphe suivants :

Tableau 6-6 : résistance à la compression du béton en grains à 14 et 28 jours

Pourcentage de déchet	La résistance a la compression à 14 jours σ_{c14} (MPa)	La résistance a la compression à 28 jours σ_{c28} (MPa)
0%	32.39	36.77
10%	35.61	42.68
20%	29.40	37.63
30%	27.55	30.65
40%	22.05	27.36
50%	21.49	27.1

**Fig. 6-4 : La variation de la résistance à la compression du béton en grains en fonction du pourcentage de déchet incorporé**

Nous remarquons de 0 à 10% de substitution que la résistance à la compression croît proportionnellement avec le pourcentage de déchet, ceci est dû à l'augmentation du rapport G/S, car plus on substitue un pourcentage de sable par un pourcentage de déchet plastique, plus le dosage du mortier augmente donc il aura un pouvoir liant plus important ce qui explique l'augmentation des résistances.

A partir de 20% de substitution, la pâte de mortier devient incapable d'enrober tous les granulats, donc une cohésion entre grains moins importante ce qui explique cette chute de résistances.

6.3.3. EFFET DE LA TEMPERATURE SUR LA RESISTANCE DU BETON

Dans le but de voir les performances de notre béton vis à vis la température, des essais mécaniques de compression ont été effectués sur des éprouvettes laissées à l'étuve pendant 48 heures sous une température fixée.

Les résultats de ces essais dans le cas du béton en fibres sont donnés dans le tableau et le graphe suivants :

Tableau 6-7 : la variation de la résistance à la compression du béton avec fibres en plastique sous l'effet de la température

Pourcentage de déchet	Résistance à la compression sous l'effet de la température (MPa)				
	T=20°C	T=50°C	T=100°C	T=150°C	T=200°C
0%	36.77	39.24	42.85	47.7	52.65
10%	37.05	45.54	40.24	46.8	49.6
20%	32	43.71	36.89	38.3	42.61
30%	40.70	45.73	33.21	40.18	44.2
40%	31.81	36.46	30.69	37.23	38.69
50%	27.55	30.31	27.21	31.53	33.98

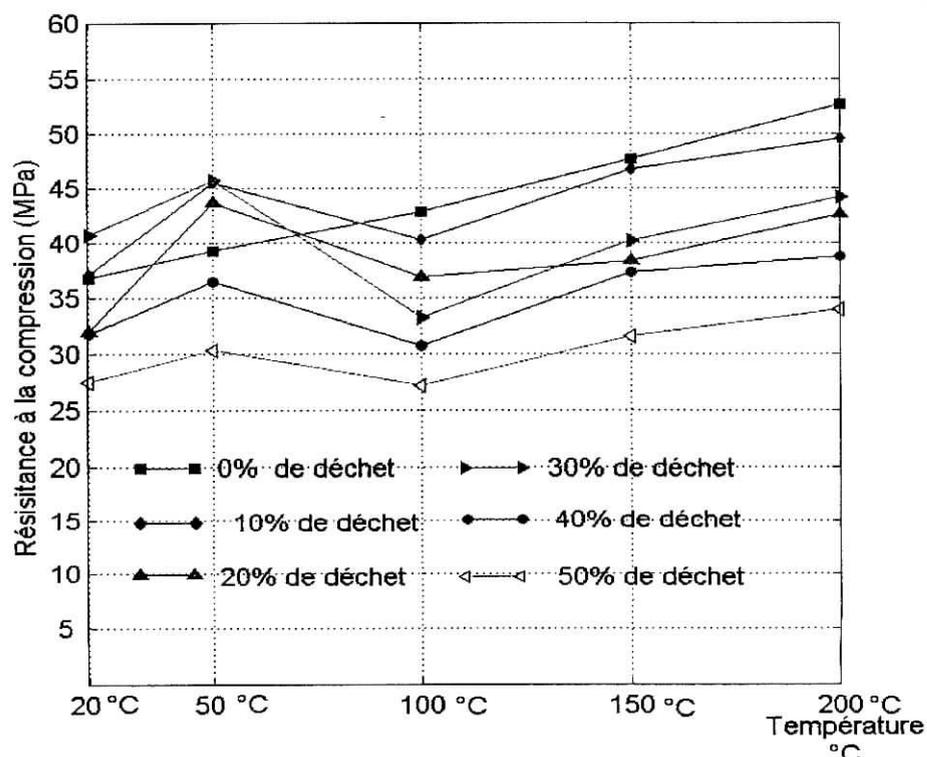


Fig. 6-5 : la variation de la résistance à la compression du béton avec fibres en plastique en fonction de la température

Les résultats des résistances à la compression du béton en grains sous l'effet de la température sont donnés ci-dessous

Tableau 6-8 : la variation de la résistance à la compression du béton avec grains en plastique sous l'effet de la température

Pourcentage de déchet	Résistance à la compression sous l'effet de la température MPa				
	T=20°C	T=50°C	T=100°C	T=150°C	T=200°C
0%	36.77	39.24	42.85	47.7	52.65
10%	42.68	44.98	37.27	43.75	44.26
20%	37.63	34.69	35.59	38.75	39.23
30%	30.65	33.12	25.74	34.69	37.31
40%	27.36	30.61	19.29	30.60	31.74
50%	27.1	20.41	18.59	24.26	25.79

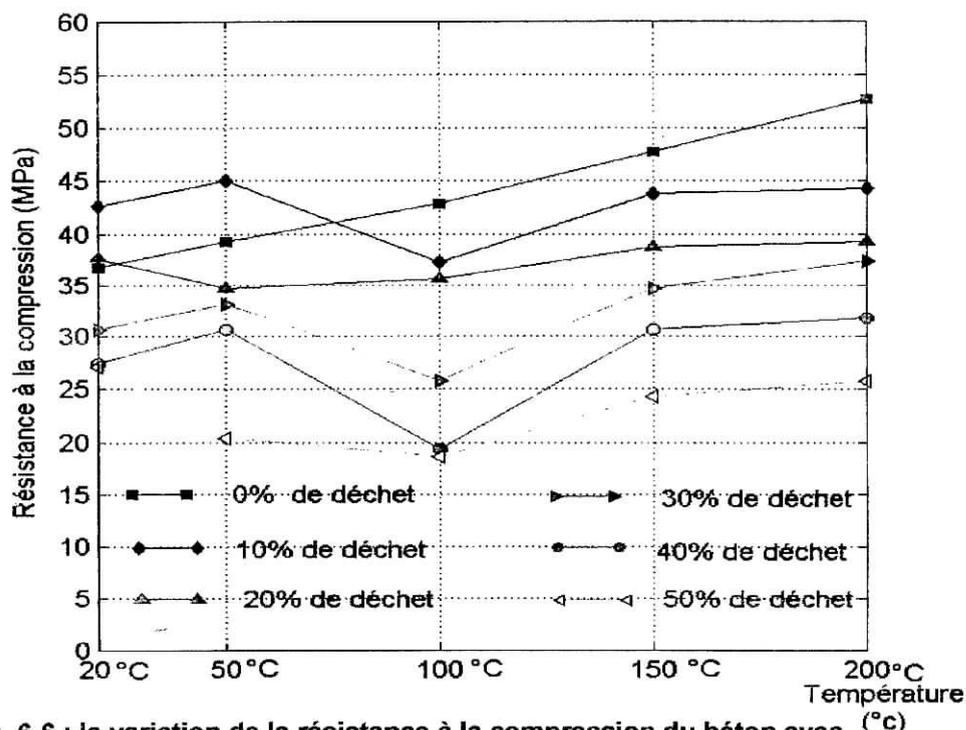


Fig. 6-6 : la variation de la résistance à la compression du béton avec grains en plastique en fonction de la température

Pour le béton témoin, nous remarquons une augmentation de la résistance à la compression avec l'accroissement de la température, cela est dû aux contraintes créées à l'intérieur du béton du fait que les constituants possèdent des coefficients de dilatation volumiques différents [24]. Une partie de la charge extérieure (exercée par la presse) sera équilibrée par ces contraintes, et l'autre partie va induire la rupture.

Pour le béton avec substituant, nous remarquons que les allures des courbes présente une variation identique, l'augmentation de la résistances à la compression entre 0 et 50°C, peu

s'expliqué de la même manière que pour le béton témoin, tandis que pour 100°C, on remarque une légère diminution de la résistance. En fait ceci est dû au ramollissement du plastique, car la température de transition vitreuse T_v (qui est de l'ordre de 75°C) a été dépassée.

Entre 100 et 200°C, nous remarquons une augmentation des résistances, du fait que la température a largement dépassé T_v ce qui a créé des dilatations volumiques qui vont contraindre une partie de la charge extérieure.

Il faut noter que les résistances diminuent (surtout pour le béton en grains), tout en restant acceptable, avec l'ajout du déchet. Ceci s'explique par le fait que le plastique en grands pourcentages est fortement influencé par la température.

6.4. CONCLUSION

La présente étude expérimentale nous a permis de confirmer que la valorisation du déchet plastique avec une substitution partielle aux granulats naturels est techniquement possible. Nous avons étudié les caractéristiques mécaniques essentielles du béton à l'état frais et durci. Les résultats trouvés nous ont permis de conclure ceci :

- ❖ Pour le béton contenant une proportion de granulats en fibres de plastique nous avons observé :
 - une amélioration de 18% de la résistance à la traction et de 11% de la résistance à la compression pour une substitution allant jusqu'à 30% avec une ouvrabilité proche à celle du béton témoin ;
 - entre 30 et 50% de substitution les résistances diminuent mais restent acceptables.
- ❖ Pour le béton comportant des pourcentages de granulats en grains de plastique :
 - une amélioration de 16% de la résistance à la compression pour une substitution de 10% avec une ouvrabilité toujours proche à celle du béton témoin,
 - la résistance obtenue reste acceptable jusqu'à 50% de substitution ;
 - quand à la résistance à la traction elle diminue de 19% par rapport à sa valeur initiale (témoin) pour 50% de substitution.
- ❖ Pour les deux types de béton, nous avons obtenu une bonne résistance à la compression pour des températures allant jusqu'à 200°C.

6.5. ASPECT ECONOMIQUE

Lors de la planification d'activités dans le domaine de recyclage des matériaux plastiques, il convient tout d'abord de se poser la question suivante : "le recyclage peut-il être envisagé pour résoudre mon problème concret? ". En d'autres termes, la somme des coûts occasionnés jusqu'à la fabrication du produit recyclé est-elle inférieure au prix de vente escompté?

Un tel calcul n'est cependant pas aussi simple qu'il y paraît et les différentes possibilités et conditions annexes à considérer dans ce domaine sont multiples.

Le recyclage se caractérise par une succession de nombreux processus. En règle générale on peut dire que plus les étapes de traitement sont nombreuses, plus les coûts augmentent. Cette augmentation peut être réduite en faisant participer le citoyen qui doit faire la séparation des déchets lui-même. Le coût peut être aussi amorti par les taxes imposées par l'état par des lois qui obligent les industriels à participer au recyclage des déchets par le biais d'impôt.

CONCLUSIONS GENERALES
ET
RECOMMANDATIONS

CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS

L'environnement est un patrimoine précieux que chacun de nous doit protéger et préserver pour les générations futures. Cet objectif ne peut être atteint sans la participation de tous les secteurs. D'où notre étude qui va contribuer à la valorisation des déchets plastiques issus des emballages en bouteilles à base de polyéthylène téréphtalate (bouteille d'eau minérale, gazeuse...etc.), qui deviennent de plus en plus gênant en raison de leur caractère encombrant et inesthétique.

Cette étude consiste à introduire le déchet plastique dans l'élaboration d'un béton et de tester les performances de celui-ci, afin d'établir des formulations donnant des résistances mécaniques acceptables. L'étude a permis d'apporter les conclusions suivantes :

- Des résistantes à la traction et à la compression supérieures à celles du béton témoin sont obtenues pour une substitution allant jusqu'à 30% de gravillon par le plastique sous forme de fibres.
- Le béton confectionné avec une substitution de 10% de sable par les grains en plastique présente une résistance supérieure à celle du béton témoin. Par contre la résistance à la traction diminue mais reste toutefois acceptable.

S'agissant d'une substitution par matière plastique, et à cause de l'influence de la température sur celle-ci, nous avons testé le béton confectionné à la température. Des résultats satisfaisants sont obtenus à l'issu de ces tests.

Au vu des performances mécaniques obtenues pour ces bétons élaborés, une valorisation de ceux-ci en tant qu'éléments secondaires (bordures de trottoirs, regards, canalisation,... etc.) est envisageable.

Pour des études ultérieures, nous recommandons :

- D'effectuer des essais sur les éléments structuraux ;
- D'étudier le comportement à long terme du béton avec déchet plastique (effet du retrait, fluage, vieillissement, durabilité, ...etc.) ;
- De tester les performances du béton élaboré avec déchet plastique, à des températures plus élevées (résistance au feu) ;
- De mettre au point des techniques de récupération des déchets plastiques afin qu'ils soient commercialement disponibles avec un coût raisonnable ;
- D'effectuer une étude technico-économique approfondie ;

En fin, nous insistons sur la nécessité d'inciter les collectivités locales à récupérer les bouteilles à base de polyéthylène téréphtalate (PET), et les sensibiliser des avantages socio-économiques que peut rapporter cette valorisation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] A. Navarro : « Gestion et traitement des déchets ». Technique de l'ingénieur, traités généralités et construction, A8 660 (2001).
- [2] S. Abderrezak : « Gestion des déchets solides en Algérie ». Séminaire sur la gestion des déchets solide en Algérie 2000.
- [3] « Utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton ». <http://www.ncr-cnrc.ga.ca/>.
- [4] K. Koide, M. Tomon, and T. Sasaki: « Investigation of the use of waste plastic as an aggregate for light weight concrete (Japan 2000) ». Proceedings international congres. Challenge of concrete construction. 5-11 sept 2002, Dundee, Scotland U.K
- [5] S. BEDJOU : « Contribution a la valorisation des déchets de construction ». Thèse de Magister en Génie Civil (E.N.P Alger : 2002)
- [6] J. Bost : « Matières plastiques - I. chimie et applications ». Technique et Documentation, Paris (1980)
- [7] N. Benrekaa : « Contribution à l'étude de propriétés physico-thermiques du polyéthylène téréphtalate par mesures de courants thermiquement stimulés (CTS) ». Thèse de Magister en physique (U.S.T.H.B Alger : 1999)
- [8] M.A. Chabou : « Etude de la valorisation du polyéthylène basse densité régénéré par recyclage mécanique ». Thèse de Magister en Génie de L'environnement (E.N.P Alger : 2000)
- [9] M. Helmut Krist : « Aspects du recyclage des matières plastiques ». Séminaire sur la gestion des déchets solide en Algérie 2000.
- [10] A. Hammacha, et E.Sadoudi : « Etude comparative théorique et expérimentale des différents méthodes de composition des bétons ». Mémoire de fin d'études (ENP Alger. 2001).
- [11] Norme française : « Granulats - Préparation d'un échantillon pour essai », AFNOR, Paris, septembre 1990.
- [12] Norme française : « Granulats - Analyse granulométrique par tamisage », AFNOR, Paris, septembre 1990.
- [13] Norme française : « Granulats - Mesure du coefficient d'aplatissement. ». AFNOR, Paris, Septembre 1990.
- [14] Norme française : « Granulats - Essai de Los Angeles », AFNOR, Paris, Septembre 1990.

-
- [15] Norme française : « Granulats - Essai d'usure Micro-deval », AFNOR, Paris, Septembre 1990.
- [16] Norme française : « Granulats - Détermination de la propreté superficielle », AFNOR, Paris, Septembre 1990.
- [17] Norme française : « Granulats - Equivalent de sable », AFNOR, Paris, Septembre 1998.
- [18] Norme française : « Granulats - Valeur de bleu de méthylène », AFNOR, Paris, Décembre 1990.
- [19] G. Dreux, et J.Festa : « Nouveau guide du Béton et de ses constituants ».Eyrolles Huitième édition, Paris 1998
- [20] Essais sur Matériaux. Contrulab, Edition 1999.
- [21] Norme française : « Béton - essais d'affaissement » AFNOR, Paris 1981.
- [22] Norme française : « Béton - essais de compression » AFNOR, Paris 1981
- [23] Norme française : « Béton - essais de flexion » AFNOR, Paris 1981.
- [24] B. Barthélémy, et J.Kruppa : « Résistance au feu des structures béton – acier - bois ».Editions Eyrolles 1978.
- [25] A. M. Neville : « Propriétés des bétons ». Editions Eyrolles 2000.
- [26] R. N. Swamy : « New concrete materials ».Concrete technology & Design, 1983.
- [27] Laboratoire Central des Pont et Chaussées (LCPC) : « Colloque internationale sur l'utilisation des sous-produit en Génie civil ».Paris 28-29-30 Novembre 1978

ANNEXE I

Tableau I-1: Analyse granulométrique du gravier 8/15

Dimension des tamis		Poids cumulés des refus (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât en pourcentage
25	20	0	0	100
20	16	59.1	1.74	98.26
16	12.5	771.7	22.68	77.32
12.5	10	2071.9	60.89	39.11
10	8	2831.3	83.21	16.79
8	6.3	3224.1	94.76	5.24
6.3	5	3305.8	97.16	2.84

Tableau I-2: Analyses granulométriques du gravier 3/8 et de plastique en fibres

Dimension des tamis		Gravier 3/8		Plastique (fibres)	
		Poids cumulés des refus (g)	Tamisât en pourcentage	Poids cumulés des refus (g)	Tamisât en pourcentage
12.5	10	0	100	0.3	99.98
10	8	414.5	85.03	1.5	99.89
8	6.3	1047.7	62.16	9	99.36
6.3	5	1637.4	40.86	124.9	91.11
5	3.15	2521.5	8.93	858.4	38.88
3.15	2	2678.8	3.24	1246.1	11.27
2	1	2695.4	2.64	1382.6	1.55

Tableau I-3: Analyses granulométriques du sable et de plastique en grains

Dimension des tamis		Sable de mer		Plastique (grains)	
		Poids cumulés des refus (g)	Tamisât en pourcentage	Poids cumulés des refus (g)	Tamisât en pourcentage
8	6.3	19	98.44	0	100
6.3	5	37.7	96.94	0	100
5	3.15	81.1	93.35	205.8	73.89
3.15	2	178	85.4	650.8	17.43
2	1	402.8	66.96	771.5	2.12
1	0.5	722.7	40.73	785.3	0.37
0.5	0.315	952.5	21.88	786.0	0.28
0.315	0.2	1130.3	7.3	786.3	0.24
0.2	0.1	1180.7	3.17	786.4	0.23
0.1	0.08	1181.6	3.09	786.4	0.23

ANNEXE II

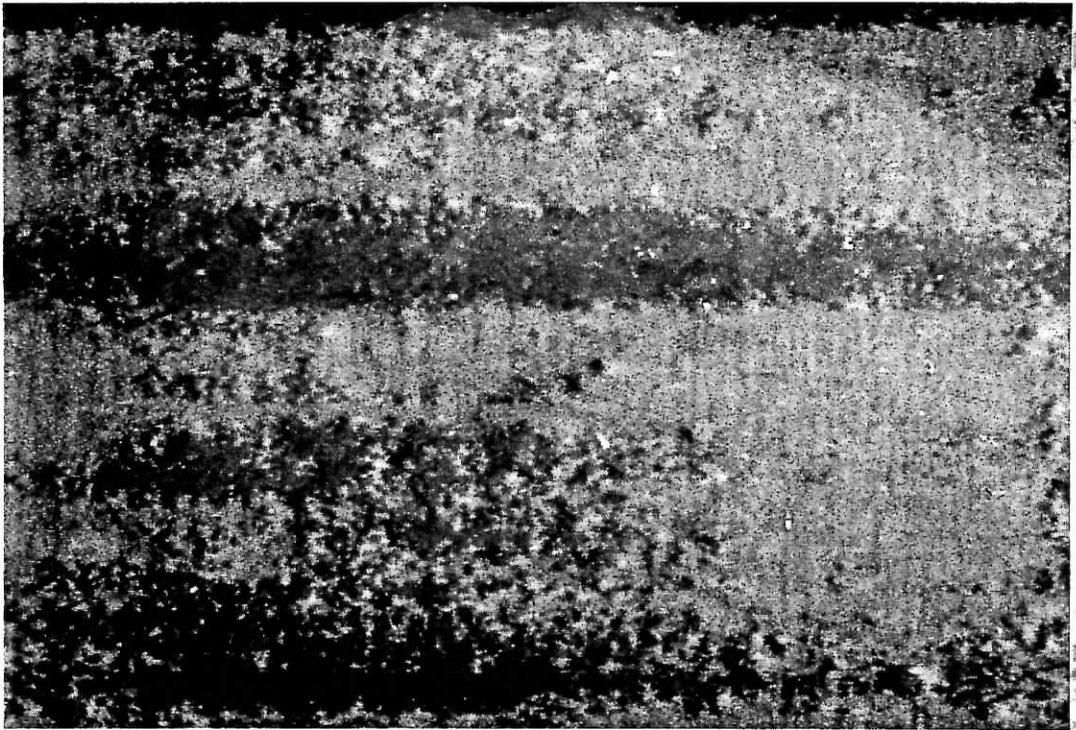


Fig.1 : plastique sous forme de fibres

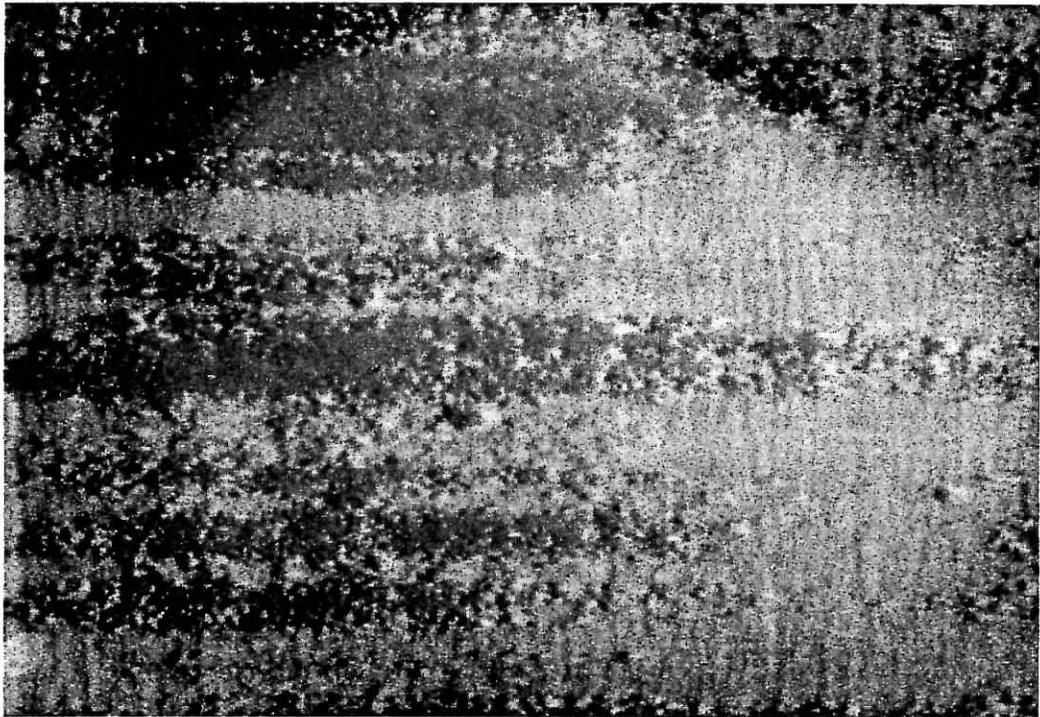


Fig.2 : plastique sous forme de grains



Fig.3 : Broyeur



Fig.4 : Malaxeur

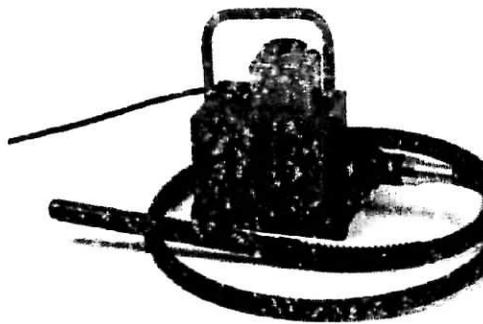


Fig.5 : Aiguille vibrante

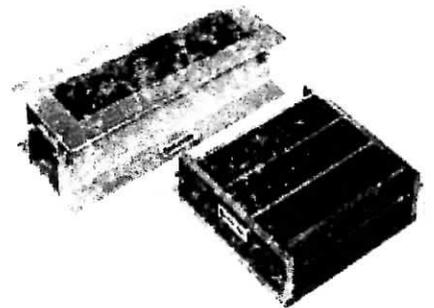


Fig.6 : Moules

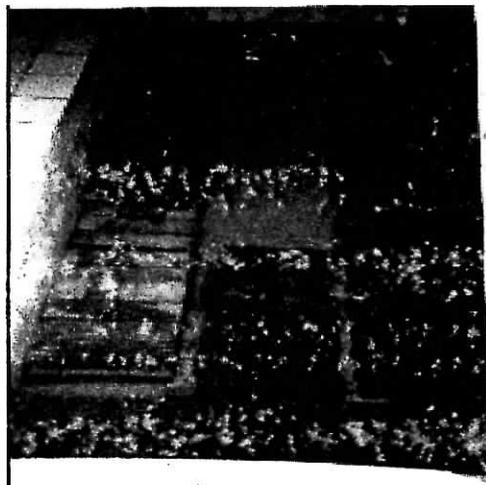
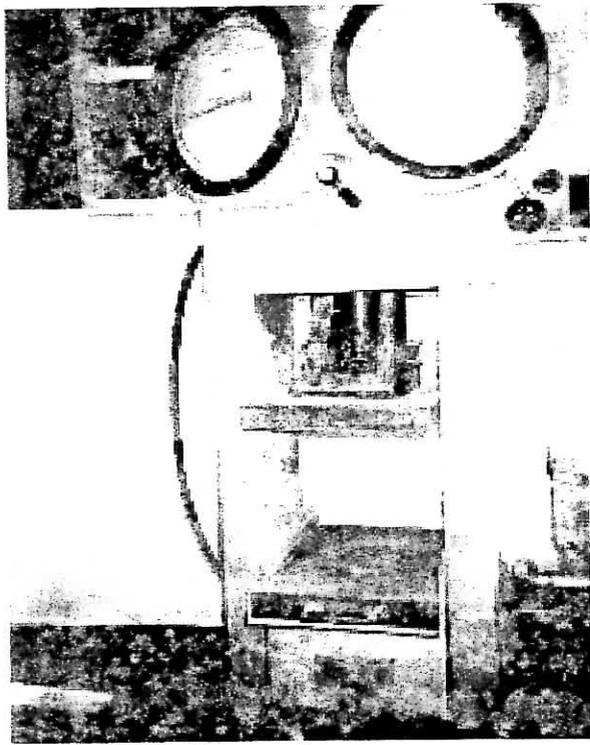


Fig.7 : Les éprouvettes lors de durcissement



**Fig.10 : La presse
Pour l'essai de compression**

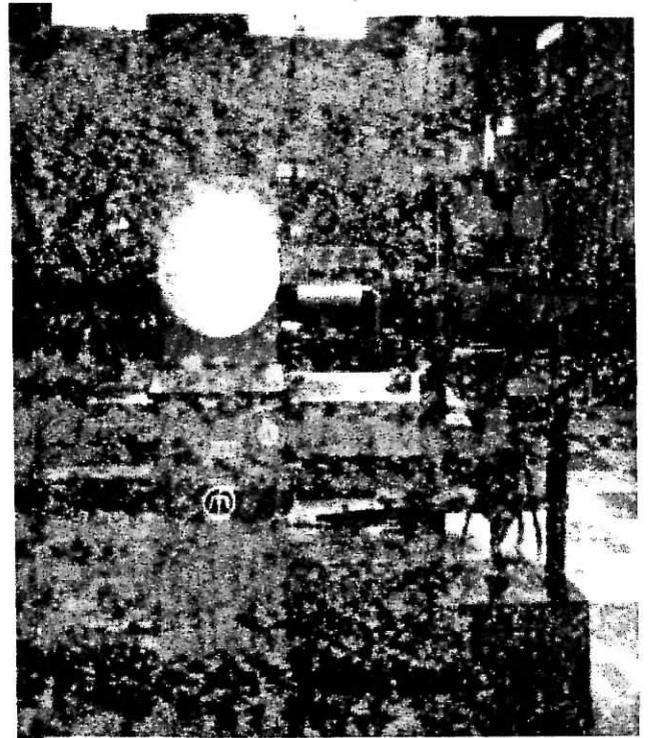


Fig.9 : Machine du traction par flexion

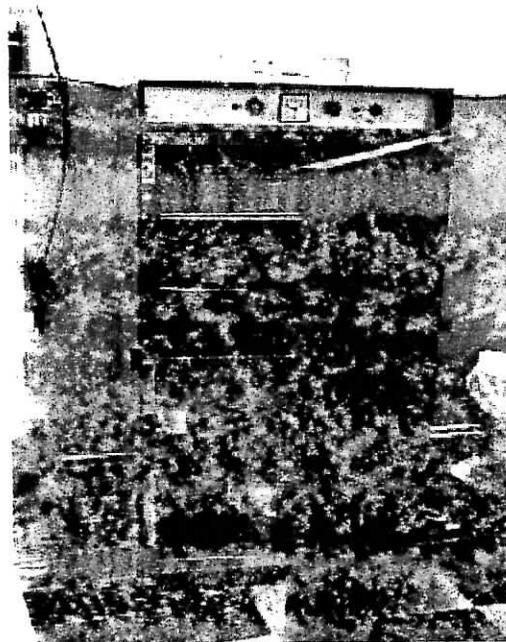


Fig.10 : Etuve



Fig.11 : affaissement au cône d'Abrams



Fig.12 : affaissement au cône d'Abrams

