REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Dr. YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département du Génie de la matière

Filière Génie Civil

Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil

Option : construction et matériaux

Thème

VALORISATION ET RECYCLAGE DES DÉCHETS PLASTIQUES DANS LE BÉTON

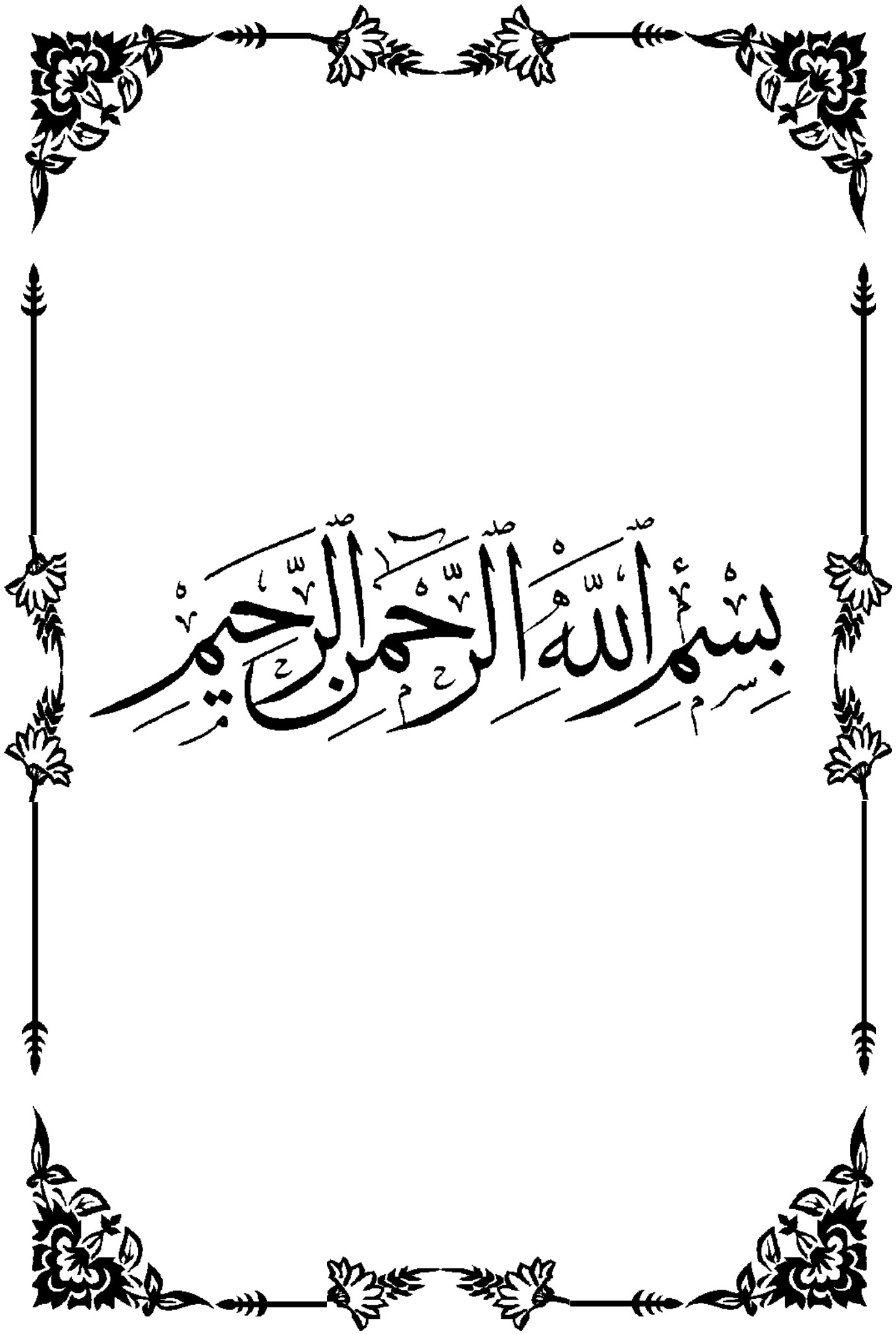
Par

Mr. GUENDOUZ Mohamed

Devant le jury composé de :

Mr. ZEMIR Ismail	MAA	Univ.de Médéa	Président
Dr. DEBIEB Farid	MCA	Univ.de Médéa	Rapporteur
Mr. BENIMAM Samir	MAA	Univ.de Médéa	Co-rapporteur
Mr. BENTCHICOU .M	MAA	Univ.de Médéa	Examinateur

JUIN 2012


بسم الله الرحمن الرحيم

بسم الله الرحمن الرحيم

الله لا إله إلا هو الحي القيوم لا تأخذه

سنة ولا نوم له ما في السموات وما في

الأرض من ذا الذي يشفع عنده

إلا بإذنه يعلم ما بين أيديهم وما خلفهم

ولا يحيطون بشيء من علمه إلا بما شاء

وسع كرسيه السموات والأرض ولا

يؤوده حفظهما وهو العلي العظيم

Remerciements

Au terme de ce travail nous tenons à faire louange à « DIEU » qui nous a donné la force d'achever cette réalisation.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur : Mr. DEBIEB Farid pour ses conseils et son aide précieuse.

Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de génie civil qui nous ont offert tout ce savoir.

Nos gratitudes à tous les membres de jury qui nous ont font l'honneur de juger notre travail.

Un grand merci à tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin à l'élaboration de ce projet surtout : BOUKELKEL Djamila, BENIMEM.

On leur dit merci de tout notre cœur

Mohamed

الإهداء

* و ما توفيقي إلا بالله عليه توكلت و إليه أنيب *

أحمدك ربي حمدا يليق بجلال وجهك وعظيم سلطانك والصلاة و السلام عليك يا سيدي رسول الله:

أهدي هذا العمل الذي هو نتاج لثمرة ظلت تينع طيلة خمس سنوات من الجهد إلى:

اللذان كان لهما الفضل الكبير بعد الله عز وجل في انجازه

إلى التي أوصاني عليها رسول الله صلى الله عليه و سلم فقال: أمك ثم أمك ثم أمك ثم أبوك...

إليك أمي : ختيمة' التي لا تكفيني و لا تسعني أي عبارات لكي أعرب لها عن مدى حبي وامتناني لها.

إلى أبي العزيز بن يوسف الذي سهر و تعب على تربيتي و راحتي و لطالما مد يد العون لي .

إلى أخواتي: مريم،نبيلة،أمينة ، صارة.

إلى صهراي محمد و ياسين والى كل عائلة كلاش و تلمساني.

إلى أخوالي حكيم وعبد الرزاق ،محفوظ ،جمال والى كل عائلة شاوش.

إلى الأعزاء: سمير،مروان.

إلى كل الأصدقاء و رفقاء الدرب الذين عرفتهم و تعلق بهم قلبي و أخص بالذكر:

تهامي،عبد اللطيف،محمد ،حسين ،حمزة،مراد،كمال،أبو بكر،خير الدين.....

إلى جميع زملاء الدراسة و إلى كل من ساهم في إنجاح هذا العمل من قريب أو من بعيد و اذكر بالأخص بوقلقال جميلة.

إلى كل خريجي جامعة يحيى فارس فرع هندسة مدنية دفعة 2012

محمد

RESUME

ملخص

من النفايات الرئيسية التي نجدها بكثرة في الحياة اليومية هي بلا شك النفايات البلاستكية، هذه الأخيرة وبعد استهلاكها تشكل مجمعات من البقايا بسبب الحجم الذي تحتويه، مشوهة بذلك للطبيعة مع تواجدها لسنين طويلة.ولهذا وجب إعادة تصنيعها. تجري حاليا بحوث مهمة في مخابر عديدة وهذا بغرض استعمال هذه النفايات البلاستيكية المصنعة في تصنيع الخرسانة.

ولهذا يهدف مشروعنا إلى استعمال النفايات البلاستيكية المعاد تصنيعها في تصنيع الخرسانة.

ثلاثة أنواع من النفايات البلاستيكية أضيفت إلى الخرسانة و ذلك بتعويضها بنسب مختلفة من كتلة الإسمنت والرمل ، و مقارنة خصائصها مع خرسانة طبيعية ،كما أن خصائص الخرسانة قد تم تحليلها و مقارنتها في الحالة الرطبة و الصلبة .

من النتائج التجريبية يمكن أن نستخلص أن إضافة مختلف النفايات البلاستيكية إلى الخرسانة يؤدي إلى الزيادة في قوة ضغطها وقوة جذبها وتخفيض نسبة امتصاصها للماء.

RESUME

Parmi les principaux déchets les plus trouvé dans notre vie quotidienne est sont doute les déchets des matières plastiques, ces derniers une fois consommés, ils génèrent des déchets volumineux par rapport à leur poids, leur dissémination dans la nature est durable et inesthétique car leur biodégradabilité est, dans la plupart des cas, faible. Il y a donc lieu d'encourager leur recyclage. Des recherches très importantes sont en cours dans beaucoup de laboratoires consiste à incorporer des déchets plastiques recyclé dans le matériau béton.

Dans ce contexte, ce projet à pour but de la valorisation et recyclagedes déchets plastiques dans le béton.

Trois types des déchets plastiques sont ajoutés dans la masse de béton avec des pourcentages différents, par rapport à la masse du sable et du ciment.

Les propriétés à l'état frais (ouvrabilité, maniabilité, air occlus et densité) et durci (résistance à la compression, résistance à la traction, retrait et absorption d'eau) des différents bétons réalisés sont analysées et comparées.

D'après les résultats expérimentaux on peut conclure que l'ajout de ces différents types des déchets plastiques mène à une augmentation de la résistance à la compression et a la traction, et diminue d'une façon remarquable l'absorbions d'eau.

ABSTRACT

Among principal waste more found in our everyday life east are doubt the plastics waste, this last once consumed, they generate bulky waste compared to their weight, their dissemination in nature is durable and unaesthetic because their biodeterioration is, in the majority of the case, weak. It is necessary thus to encourage their recycling. Very significant research is in hand in many laboratories consists in incorporating plastic waste recycled in the material concrete. In this context, this project with for goal of valorization and plastic waste recycling in the concrete.

Three types of plastic waste are added in the concrete mass with different percentages, compared to the masses of sand and cement.

The properties in a fresh state (workability, handiness, air entrained, density) and hardened (compressive strength, tensile strength, withdrawal and absorption of water) of the various concretes carried out are analyzed and compared.

According to the experimental results we can conclude that the addition of these various types of plastic waste leads to an increase in the compressive and has traction strength, and decreases the capillary water absorption of concrete.

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicaces

Résumés

Liste des tableaux

Liste des figures

Symboles et Abréviations

INTRODUCTION GENERALE……1

CHAPITRE I : SYTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 VALORISATION DES DECHETS ET ACTIVITE DE RECYCLAGE EN CONSTRUCTION.3

I.1.1 INTRODUCTION 3

I.1.2 VALORISATION DES DECHETS ET SOUS PRODUITS INDUSTRIELS DANS LE GENIE CIVIL..... 3

I.1.2.1 Les déchets 3

A. Définition 3

B. Valorisation 4

C. Méthodes de valorisation 4

I.1.2.2 Origine de la production de déchets..... 5

I.1.2.3 Constitution chimique du déchet..... 5

I.1.2.4 Types de déchets 5

A. Les déchets biodégradables 5

B. Les déchets ultimes..... 6

C. Les déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux..... 6

D. Les déchets recyclables 6

E. Déchets organiques 8

I.1.2.5 Différents déchets utilisés en génie civil 8

A. Déchets industriels dangereux mais non toxiques..... 8

B. Déchets inertes..... 9

C. Déchets toxiques..... 9

D. Déchets industriels dans des conditions spécifiques..... 9

E. Déchets ménager et assimilés 9

F. Les déchets industriels banals (D.I.B.)..... 10

I.1.3 ACTIVITE DU RECYCLAGE DES DECHETS EN CONSTRUCTION.....10

I.1.3.1 RECYCLAGE DES DECHETS..... 10

I.1.3.2 TECHNIQUE DE RECYCLAGE..... 11

A. Procédés du recyclage..... 11

B. La chaîne du recyclage..... 11

a . Collecte de déchets..... 11

b. Transformation 12

c. Commercialisation et consommation..... 12

I.1.3.3 TYPE DE RECYCLAGE 12
I.1.3.4 IMPACTS DU RECYCLAGE SUR L'ENVIRONNEMENT 13

I.2 PLASTIQUES ET DECHETS PLASTIQUES.....14

I.2.1 LES MATERIAUX PLASTIQUES 14
I.2.1.1 Définition.....14
I.2.1.2 Composition.....14
I.2.1.3 Types de matière plastique 18
A .Les thermoplastiques..... 19
B .Les thermodurcissables..... 22
C. Les élastomères..... 23
I.2.1.4 Processus de fabrication des matières plastiques.....23
I.2.1.5 Propriétés des matières plastiques 26
I.2.1.6 Avantages et inconvénient des matières plastiques 30
A. Les avantages 30
B. Les inconvénients.....32
I.2.2 LES DECHETS PLASTIQUES 33
I.2.2.1 Le recyclage des déchets plastiques.....36
I.2.2.1.2 Introduction.....36
I.2.2.1.3 Les modes de traitement des déchets plastiques 37
I.2.2.1.4 Processus de recyclage 40
I.2.2.1.5 Le recyclage du plastique en chiffres 41

I.3 LE BETON DE DECHETS.....42

I.3.1 MATERIAU BETON 42
I.3.2 BETONS SPECIAUX 43
I.3.2.1 Béton a haute performance (BHP).....43
I.3.2.2 Bétons auto-plaçant (BAP).....44
I.3.2.3.1 Nature de fibre.....46
I.3.2.3.2 Effet de l'orientation et de la distribution des fibres.....50
I.3.2.3.3 Propriété de béton de fibre.....51
I.3.2.3.4 Domaines d'application.....53
I .3.2.4.1 Définition des béton de déchets plastiques.....54
I.3.2.4.2 Propriétés des bétons de déchets plastiques 54

I.4 Conclusion 60

CHAPITRE II MATERIAUX ET ESSAIS

II.1INTRODUCTION.....61

II. 2 CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES.....62

II.2.1. CIMENT.....62

II.2.2 GRANULATS.....65

II.2.2.1 Sable 65

II.2.2.2 Gravier.....67

II.2. 3 Déchets plastiques.....68

II.3 FORMULATION DU BETON.....70

II.4 TECHNIQUES EXPERIMENTALES.....71

II.4.1 Mise en œuvre 71

II.4.2 Béton frais 72

A. L'Ouvrabilité 73

B. La maniabilité 74

C. L'air occlus 75

D. La densité 75

E. Coulage et vibration.....76

F. Mode de conservation 76

II.4.3. Béton durcis.....77

A. Essai ultrasonique 78

B. Résistance a la compression 78

C. Résistance à la traction par flexion 79

D. Absorption d'eau.....80

E. Retrait.....81

II.4.4 Variables étudiées 84

CHAPITRE III RESULTATS ET INTERPRETATION

III.1 INTRODUCTION.....85

III.2 BETON FRAIS.....85

III.2.1 Ouvrabilité 85

III.2.2 Maniabilité.....86

III.2.3 Air occlus.....88

III.2.4 Densité.....89

III.3 BETON DURCI.....91

III.3.1 Essais ultra sonique 91

III.3.2 Résistance à la compression.....92

III.3.3 Résistance à la traction par flexion.....94

III.4 APPROCHE DE DURABILITE.....96

III.4.1 Absorption d'eau.....96
III.4.2 Retrait.....98

III.3 CONCLUSION.....101

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....101

Références bibliographique

Annexe.

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I.1 : Principales caractéristiques physiques et mécaniques des fibres les plus utilisées.....**48**

CHAPITRE II : MATÉRIAUX ET ESSAIS

Tableau II.1 : l'Analyse chimique du ciment et composition du clinker **65**

Tableau II.2 : Essai physiques sur ciment **66**

Tableau II.3 : Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge **67**

Tableau II.4: Propriétés physiques d'identification des sables utilisés.....**68**

Tableau II.5 : Propriétés physiques et mécaniques des graviers utilisés.....**69**

Tableau II.6: composition des bétons **73**

Tableau II.7 : Essais de caractérisation sur bétons frais.....**75**

Tableau II.8 : Essais de caractérisation sur bétons durcis.....**79**

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure I.1 : Composition de base des déchets de démolition en Europe ……..……..……8

Figure I.2 : Structure des monomères ……..……15

Figure 1.3 : La polymérisation ……..……15

Figure I.4 : polymère linéaires ……..……...16

Figure I.5: Chaine ramifiés ……..……...16

Figure I.6 : Polymères réticulés ……..……..16

Figure I.7 : Déférent composition des matières plastiques ……...18

Figure I.8 : le PVC……..……19

Figure I.9 : composition chimique de Polyéthylène……..…….....20

Figure I.10 : les déchets des sacs……..…….....…….20

Figure I.11 : La citerne (PEBD)……..……..20

Figure I.12 : Composition chimique de polypropylène…….....….21

Figure I.13 : La corde plastique ……..……..…….21

Figure I.14 : composition chimique de polystyrène ……..…….....……21

Figure I.15 : composition chimique de PET……..……..……..22

Figure I.16 : Les bouteilles en plastiques……..……22

Figure I.17 : thermodurcissable.....22

Figure I.18 Pneumatique.....23

Figure I.19 : Le cycle de production des matières plastiques……..……..……..24

Figure I.20 : La transformation du pétrole vers monomère……..……..…25

Figure I.21 : La polymérisation……..……..……..…26

Figure I.22 : Courbe générale traction-allongement des matériaux polymères……..…….29

Figure I.23: Différent types des déchets plastiques……....33

Figure I.24: Différent déchets plastiques recyclé……..……..……34

Figure I.25 : Secteurs utilisateurs de matières plastiques en Europe……..……35

Figure I.26 : Déchet plastiques en volume……..……36

Figure I.27 : Impacts de déchets plastiques sur l'écosystème terrestre.....36

Figure I.28 : Impacts de déchets plastiques sur l'écosystème marin.....36

Figure I.29 : Le recyclage mécanique……..……..……..…37

Figure I.30 : Le recyclage chimique…….……..…….38

Figure I.31 : Procédure de recyclage de déchets plastique……..…..…….39

Figure I.32 : Processus de recyclage de déchets plastique ……..…….....40

Figure I.33 : l'évolution du recyclage plastique en Québec……..…...……..…41

Figure I.34 : l'évolution du recyclage plastique en Europe..... 41

Figure I.35 : Illustration de l'apport du renfort par des fibres.....45

Figure I.36 : Types des fibres.....….…..…….....…….....…46

Figure I.37 : Fibre métallique……..…..…..……48

Figure I.38 : Déférent fibre polypropylènes……..……..…..49

CHAPITRE II : MATÉRIAUX ET ESSAIS

Figure II.1 : Le ciment utilisé ……..65

Figure II.2 : Sable fin de Hassi Bahbah ……..……..…….65

Figure. II.3: Sable grossier de Mont Guorno ……..……65

Figure II.4 Courbe granulométrique des sables utilisées et leur mélange ……..……..……..66

Figure. II.5 : Gravier de Mont Guorno 3/8……..……..……..……..…67

Figure II.6 Gravier de Mont Guorno 8/15……..……..……..……...67

Figure II.7: Analyse granulométrie du gravier 3/8 et 8/15…..……..……..……..68

Figure. II.8: déchets de grain plastique utilisé……..……..…..68

Figure. II.9: Les fibres plastiques ondulées ……..…….……....69

Figure II.10: Les dimension des fibres plastiques ondulées ……..…….....……69

Figure II.11:: Les fibres plastiques rectilignes ……...……..…….....69

Figure. II.12 : Les dimension des fibres plastiques rectiligne……...……...69

Figure II.13 Courbe de référence ……..…….....……70

Figure II.14 : Malaxage du béton……..…….....…..…72

Figure II.15 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams……..……..…..…..73

Figure II.16 : Maniabilimètre à béton……...…...…..……74

Figure II.17 : Mesure du temps d'écoulement.....74

Figure II.18: Aéromètre à béton……..…….....…..……75

Figure II.19 : Mesure de la densité du béton frais……...……..……..…76

Figure II.20 : Fabrication des éprouvettes……...……77

Figure II.21 Conservation des éprouvettes à l'air libre.....77

Figure II.22 : Conservation des éprouvettes dans l'eau à 20°C ± 2°C……...……..77

Figure II.23 : Étalonnage de l'ultrason à l'aide du barreau de calibrage……....…..……..78

Figure II.24: Graissage des faces d'éprouvette avec la vaseline……..…....……..78

Figure II.25: Mesure du temps de parcours des ondes ultrasonores……...…...……78

Figure II.26 : Presse hydraulique (2000 kN)……...……...……78

Figure II.27 : Essai de compression……..…..…….79

Figure II.28 : Essai de traction……..…….....……80

Figure II.29 : Absorption d'eau par succion capillaire…….....……..80

Figure II.30: Réctractomètre……...……...…....……82

Figure II.31 : Etalonnage de l'appareil……..……...82

Figure II.32 : Appareillage pour la mesure du retrait……..……82

Figure II.33 : Variables étudiées……..……...…..…...…..84

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATION

Figure III.1 : L'affaissement de béton a base des déchets de grains plastiques ……..……85

Figure.III.2 L'affaissement de béton réalisé avec des déchets de fibres plastiques …… ….....86

Figure III.3: Temps d'écoulement de béton réalisé avec des déchets de grains plastiques 87

Figure III.4: Temps d'écoulement de béton réalisé avec des déchets de fibres plastiques.....87

Figure III.5 Air occlus de béton à base de déchets des grains plastiques .....…….....88

Figure III.6 : Air occlus des différents types de bétons de fibre plastiques .....……...…88

Figure III.7 : Densité de béton réalisé avec des déchets de grain plastiques ……..……..89

Figure III.8 : Densité des différents bétons de fibre plastiques réalisés ……..……..…....90

Figure III.9: Vitesse ultrasonique de béton réalisé avec des déchets de grains plastiques.....91

Figure III.10 : Vitesse ultrasonique de béton réalisé avec des fibres plastiques (ondulés et rectilignes).....…92

Figure III.11: Résistance à la compression des bétons à base des déchets de grains plastiques.....92

Figure III.12: Résistance a la compression en fonction du pourcentage d'ajout en grains plastiques.. 93

Figure III.13: Résistance à la compression des bétons à base de fibres plastiques (ondulés et rectilignes)…….....……...…..…94

Figure III.14 Résistance a la compression en fonction du pourcentage d'ajout en fibres plastiques.... 94

Figure III.15 : Résistance a la traction de béton de grain plastique....….....……..….....…94

Figure III.16 : Résistance a la traction en fonction du pourcentage d'ajout en grains plastiques ….....95

Figure III.17 : Résistance à la traction de béton à base de fibres plastiques (ondulés et rectilignes)…….....…..…95

Figure III.18 : Résistance a la traction en fonction du pourcentage d'ajout en fibres plastiques …….95

Figure III.19 : Absorption d'eau pour béton de déchets de grain plastique …….....……....97

Figure III.20 : Absorption d'eau pour béton de fibre plastique ondulé.....97

Figure III.21 : Absorption d'eau pour béton de fibre plastique rectiligne.……...…….....…..98

Figure III.22 : Retrait des bétons de grain plastique.....**98**

Figure III.23 : Retrait des bétons de fibres plastiques ondulés.....**99**

Figure III.24 : Retrait des bétons de fibres plastiques rectilignes.....**99**

Symboles et Abreviations

DIS Déchets industriels spéciaux

DMS Déchets ménagers spéciaux

D.I.B Déchets industriels banals

PE Le polyéthylène

PVC chlorure de polyvinyle

PEhd polyéthylène haute densité

PEbd polyéthylène basse densité

PP le polypropylène

PS le polystyrène

PET le polyéthylène téréphtalate

CaO La chaux

SiO_2 La silice

Al_2O_3 L'alumine

Fe_2O_3 L'oxyde de fer

$3CaO\ SiO_2$ (C_3S) Le silicate tricalcique impur (Alite)

$2CaO\ SiO_2$ (C_2S) Le silicate bi-calcique impur (Bélite)

$3CaO\ Al_2O_3$, (C_3A) L'aluminate tricalcique (Célite) :

$4CaO\ Al_2O_3\ Fe_2O_3$ (C4AF) L'alumino-ferrite tétra-calcique

(F) Les fillers

(P) Pouzzolanes naturelles

(D) Les fumées de silice

CPA Le ciment portland artificiel

CHF Ciment de haut fourneau

CPJ Le ciment portland composé

f_c Résistance souhaitée du béton a 28 jours;

f_{mc} Résistance nominale du ciment;

C Dosage du ciment exprimé en Kg/m^3 ;

S sable

R_t La résistance a la traction

R_C La résistance a compression

K Coef ;

d Diamètre des fibres

P Pourcentage en volume des fibres

ΔL Variation de longueur par apport à la longueur origine,

L_0 Longueur de base, prise égale à 280mm.

ΔM Variation de masse par apport à la masse au moment du démoulage,

M Masse de l'éprouvette au moment du démoulage.

M Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge

I Moment d'inertie de la section transversale

BFM Béton de fibre métallique

BDM Béton de déchets métallique

DGP Déchets de grain plastiques

FPO Fibre plastique ondulé

FPR Fibre plastique rectiligne

BT Béton témoin (sans déchets)

BDGP 5% Béton de déchets de grain plastique a 5%

BDGP 10% Béton de déchets de grain plastique a 10%

BDGP 15% Béton de déchets de grain plastique a 15%

BDGP 20% Béton de déchets de grain plastique a 20%

BFPO 0.5% Béton de fibre plastique ondulé a 0.5%

BFPO 1% Béton de fibre plastique ondulé a 1%

BFPO 1.5% Béton de fibre plastique ondulé a 1.5%

BFPO 2% Béton de fibre plastique ondulé a 2%

BFPR 0.5% Béton de fibre plastique rectiligne a 0.5%

BFPR 1% Béton de fibre plastique rectiligne a 1%

BFPR 1.5% Béton de fibre plastique rectiligne a 1.5%

BFPR 2% Béton de fibre plastique rectiligne a 2%



INTRODUCTION GENERALE

S'abriter, se protéger de la nature, étaient et restera pour toujours le souci de l'être humain. Durant son parcours sur terre, il utilisait tous les matériaux que la nature lui offrir à leurs états bruts ou après transformations et traitements (chimiques, physiques, mécaniques ou complexes) pour bâtir l'abri résistant, confortable, et durable en coûts réduits. Le cumule des connaissances acquises au cours de sa recherche permanente pour la concrétisation de cet objectif ont permets la mise au point de différents matériaux et composés. L'un des composés fruit de ces recherches est le béton.

Le béton est un matériau hétérogène et anisotrope ; composé d'un mélange de liant, granulats, et eau ; Possède des qualités physiques, mécaniques, et technologiques, font de lui le matériau du 20iem siècle. Il résiste bien à la compression, et peu à la traction. Cet inconvénient a fait l'objet d'une longue recherche qu'a abouti à l'introduction dans les zones tendues d'un matériau résistant à la traction. La répartition des efforts (compression-traction) entre les deux matériaux devient possible par l'amélioration de l'adhérence béton-acier.

Les scientifiques du domaine se sont penchés vers l'étude du phénomène. Les différentes approches partagent les mêmes propos : Utilisation d'un renforcement discontinu de direction aléatoire, en pourcentage et longueurs appropriées compatibles avec le béton.

La recherche au sujet de l'utilisation des sous-produits améliore les propriétés du béton a continuant pendant beaucoup d'années. Dans les décennies récentes les efforts ont été faits d'employer sous-produits d'industrie tels que les cendres volantes, la fumé de silice, a rectifié les scories granulées de haut fourneau (GGBS), dans les constructions civil.

Les applications potentielles de l'industrie les sous-produits en béton sont en tant que remplacement global ou en tant que remplacement partiel du ciment, selon leur composition chimique et taille des grains. L'utilisation de ces derniers les matériaux en béton vient des contraintes environnementales dans la disposition sûre de ces produits.

Une grande attention est concentrée sur l'environnement et la sauvegarde des ressources naturelles et réutilisation des déchets. En 20 dernières années, beaucoup de travaux

au sujet de l'utilisation de plusieurs genres de déchets urbains dans des valeurs industrielles de matériaux de construction le processus ont été édités. Beaucoup de recherches ont été prolongés pour étudier de nouvelles sortes de déchet pour étudier des aspects profondément particuliers.

L'addition des déchets, indépendamment des avantages environnementaux, produit également de bons effets sur les propriétés des produits finals. Un des nouveaux déchets utilisés dans la fabrication du béton est le plastique recyclé. Pour résolvant la disposition de la grande quantité de matière plastique recyclé, les recyclages des déchets plastiques dans le béton est considérée comme application la plus faisable. Le plastique recyclé peut être utilisé en tant qu'agrégat brut en béton. Cependant, il est important de souligner cela qui recyclé des déchets n'est pas encore économiquement avantageux, dû aux coûts élevés de transport et son effet sur tous les coûts de production.D'ailleurs, il est important de ne pas négliger d'autres coûts, directement référable au genre de pertes, dû en particulier, du besoin de mesurer le gaz émission, pendant la mise à feu, et la présence de toxicité et des éléments de pollution.

Dans cette optique, ce projet consiste à contribuer en générale à la valorisation des déchets plastiques en béton. Pour cela, trois types de déchets plastiques recyclés sont utilisés pour la fabrication des bétons. Ce travail est structure comme suite :

Le premier chapitre fait l'objet d'une synthèse bibliographique sur la valorisation et l'activité de recyclage en construction, sur les plastiques et les déchets plastiques, et finalement sur les bétons de déchets plastiques.

Dans le deuxième chapitre en donne une description des matériaux utilisés, les différents mélanges, et les essais adoptent aux bétons de fibres.

Le troisième chapitre est consacre a la présentation des résultats obtenus, et des interprétations concernant le béton de déchets plastiques.

Finalement, on terminera ce travail avec des conclusions et des recommandations.

Chapitre I

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Valorisation des déchets et activité de recyclage en construction

I.1.1 Introduction

Le recyclage n'est pas un luxe ou une mode mais une nécessité, qui provient d'une constatation forte simple : nous vivons dans un monde limité.

S'il n'est pas possible de supprimer la production de déchets, sous produits ou résidus industriels ou urbains, il convient alors de définir les meilleures conditions de valorisation.

Presque toutes l'activité industrielle portant atteinte aux ressources naturelles et dégradant l'environnement, le recyclage et la valorisation des déchets est un devoir autant qu'une nécessité.

En effet, pour des raisons économiques, règlementaires, commerciales et environnementales, la valorisation des déchets (industriels, municipaux et de l'industrie de construction) dans le béton, est en cours de développement ces dernières années dans plusieurs pays développés.

I.1.2 Valorisation des déchets et sous produits industriels dans le génie civil

I.1.2.1 Les déchets

A. Définition

Un **déchet** se définit simplement par un objet en fin de vie ou une substance issue d'un processus, jugés devenus inutiles, dangereux ou encombrants, et dont on veut se débarrasser.

Tout objet qui doit être jeté car il est cassé, usé, contaminé, ou abimé d'une manière ou d'une autre, pour certains, sera qualifié de déchet, mais ne sera pas nécessairement considéré comme tel par les autres **[1]**.

B. Valorisation

La **valorisation** est définie comme "L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances."**[2]**.

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traitabilité . Il s'agit donc de «mesurer pour connaître et connaître pour agir».

L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir.

C. Méthodes de valorisation

C.1 Valorisation matière

Elle est appelée également, recyclage mécanique, il s'agit de l'opération globale consistant à la production d'une nouvelle matière à partir d'un déchet [**2]**.

C. 2 Valorisation énergétique

Elle est appelée également, recyclage énergétique, elle vise la production d'énergie calorifique **.**Plusieurs techniques permettent d'atteindre cet objectif dont les plus connus sont l'incinération, la pyrolyse ou la thermolyse. Cette énergie calorifique peut être utilisée sur place ou transformée par la suite en énergie électrique, en fonction des besoins du moment ou du lieu de traitement **[2]**.

C.3 Valorisation chimique

Il s'agit de tout processus chimique permettant la transformation d'un déchet en des produits chimiques utilisables comme intermédiaires réactionnels dans l'industrie chimique.

I.1.2.2 Origine de la production de déchets

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

Å**biologiques** : tout cycle de vie produit des métabolites ;
Å**chimiques** : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième ;
Å**technologiques** : tout procédé industriel conduit à la production de déchet ;
Å**économiques** : les produits en une durée de vie limitée ;
Å**écologiques** : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement dôautres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique ;
Å**accidentelles** : les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à lôorigine de déchets.

I.1.2.3 Constitution chimique du déchet

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient dôun certain nombre de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il nôest pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il nôest pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux **[3]**.

I.1.2.4 Types de déchets

On distingue plusieurs types des déchets :

A. Les déchets biodégradables

Résidus verts, boues dôépuration des eaux, restes alimentairesé , qui sôassimilent en première approche à la biomasse. Ces déchets sont au moins pour partie détruits naturellement, plus ou moins rapidement, en général par les bactéries, champignons et autres micro-organismes

et/ou par des réactions chimiques (oxydation, minéralisation), laissant des produits de dégradation identiques ou proches de ceux quôon peut trouver dans la nature, parfois néanmoins contaminés par des résidus de pesticides, de métaux, dioxines, etc. ,selon leur origine. Ils peuvent être revalorisés par différentes filières (bioénergie, biocarburants, Compostage / amendements / engraisé)

B. Les déchets ultimes

Tout déchet ménager et assimilé brut issu du ramassage parallèle à la collecte sélective, le refus de tri, le déchet industriel banal issu des ménages et des déchetteries ainsi que les boues de stations dôépuration.

Outre les déchets ultimes : « ne sont plus susceptibles dôêtre traités dans les conditions techniques et économiques du moment». Eux seuls devraient encore pouvoir être mis en décharge **[1].**

C. Les déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux

À la différence du déchet banal peuvent entrer dans la catégorie des déchets dangereux, dont font partie les déchets toxiques et les déchets radioactifs qui doivent faire lôobjet dôun traitement tout à fait particulier en raison de leur nocivité particulière liée à la radioactivité. Parmi les déchets nucléaires, on distingue les déchets radioactifs ultimes **[1]**.

D. Les déchets recyclables

Matériaux de construction, métaux, matières plastiques : ces matériaux peuvent être réutilisés tels quels dans dôautres domaines ou recyclés : par exemple, les métaux sont refondus et réintégrés dans de nouvelles pièces, les plastiques sont hachés et servent de rembourrage ou de combustible é

On s'intéresse sur les déchets de métaux (fer, aluminium, plomb,é) qui possèdent une valeur marchande et qui se présentent sous 3 formes:

1- les objets métalliques en fin de vie (moteurs, outils, canalisations, câblages...)
2- les composés métalliques destinés à être traités pour en extraire le métal contenu (catalyseurs de pots d'échappement,é).

D.1 Déchets usuels inertes

Les déchets usuels inertes sont produits par les ménages et les industries. Ils forment la part la plus large des déchets recyclables. Ils sont souvent simples à collecter et à transformer. Ils sont peut dangereux. En revanche, ils représentent des volumes importants à transporter et à stocker.

D.2 Déchets usuels non inertes

Les plus connus de ces déchets sont les huiles et les peintures. L'incinération avec valorisation énergétique est un des procédés employés pour les recycler. Elle permet la production d'énergie et la destruction des déchets peu combustibles **[1]**.

D.3 Déchets industriels dangereux

L'industrie produit une grande quantité de déchets dangereux. Ce sont pour la plupart des produits comprenant des substances chimiques toxiques ou instables. Les déchets toxiques sont dangereux pour la santé et pour l'environnement. La manipulation de déchets instables entraîne des risques d'accidents graves **[1]**.

D.4 Déchets toxiques en quantités dispersées

Certains déchets toxiques sont mélangés en faible quantité à des produits non polluants. Il est alors impossible de recycler ces produits sans les avoir débarrassés des déchets toxiques.

E. Déchets organiques

Les termes suivants recouvrent la même notion : bio déchets ou déchets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères). Il s'agit de :

- déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts).
- déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs, etc.é

I.1.2.5 Différents déchets utilisés en génie civil

En général les déchets sont classés en cinq catégories comme illustrés ci ï dessous ; bien que les déchets utilisables en génie civil soient les déchets inertes, les déchets ménagers et les déchets en sous produits industriels dans des conditions spécifiques **[2]**.

A. Déchets industriels dangereux mais non toxiques

Ce type de déchets regroupe généralement ;

- Des déchets de fer, de cuivre, de plomb,
- Des déchets contenant des fibres d'amiante,
- Des produits de préservation du bois,
- Des déchets solides dangereux de construction et de démolition de bâtiment à caractère industriel.

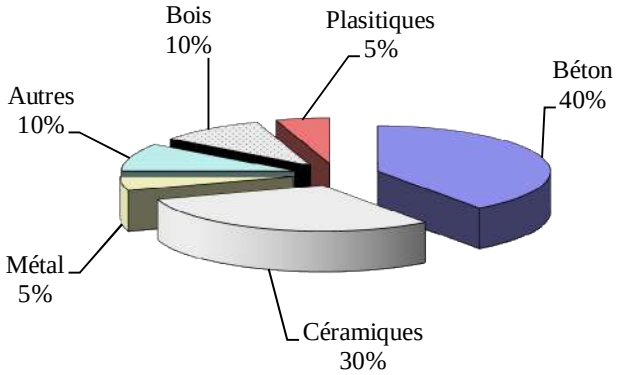


Figure I. 1 : Composition de base des déchets de démolition en Europe (2004) **[4]**.

B. Déchets inertes

Ce sont des déchets non susceptibles d'évolution physique, chimique ou biologique importante. Ils sont essentiellement constitués de déblais et gravats et ne doivent pas être mélangés avec d'autres déchets. Les dépôts de déchets inertes sont souvent à l'origine de décharges sauvages **[1].**

Ce type de déchets regroupe :

- Des déchets solides de construction et de démolition des bâtiments à caractère d'habitation situé ou non sur un site industriel.
- Des déchets solides et inertes de travaux routiers,
- Des éléments en béton, mortier de ciment et béton,
- Des terres de déblais non contaminées.

C. Déchets toxiques

Ils sont à caractère industriel et obtenus en général après traitement chimique des matériaux synthétiques.

Certains déchets toxiques sont mélangés en faible quantité à des produits non polluants. Il est alors impossible de recycler ces produits sans les avoir débarrassés des déchets toxiques **[2]**.

D. Déchets industriels dans des conditions spécifiques

Ils proviennent d'industries générant de très grandes quantités de déchets en sous produits industriels, dont les caractéristiques sont bonnes et relativement stables (cendres volantes les scories d'aciéries, le laitier, les cendre volante, etc.) **[2]**.

E. Déchets ménager et assimilés

Ce type de déchets regroupe :

- Des déchets en matériaux de synthèse,

• Des déchets solides non dangereux de construction ou de démolition de bâtiment à caractère industriel.

• Déchets volumineux ou "encombrants" soit collectés en porte à porte, soit réceptionnés dans une installation mise à la disposition des ménages.

• Déblais et gravats produits par les ménages réceptionnés dans des déchetteries ou des dépôts réservés aux seuls déchets inertes.

• Déchets ménagers spéciaux (DMS), ne pouvant en raison de leur danger être éliminés sans risques avec les déchets ménagers. Ils sont réceptionnés dans des déchetteries équipées à cet effet.

• Déchets végétaux issus de l'habitat pavillonnaire.

• Déchets de l'automobile (huiles, épaves, batteries, pneus, é).

• Des déchets commerciaux, emballages et autres résidus générés par les activités commerciales comme les déchets **plastiques.**

F. Les déchets industriels banals (D.I.B.)

Appelés quelquefois déchets industriels assimilés aux déchets ménagers, sont constitués de déchets non dangereux et non inertes. Ils contiennent effectivement les mêmes composants que les déchets ménagers mais en proportions différent.

I.1.3 Activité du recyclage des déchets en construction

I.1.3.1 Recyclage des déchets

Définition

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent.

Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. C'est une des activités économiques de la société de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont

complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient.

Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés **[5]**.

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets.
- réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.
- recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.

I.1.3.2 Technique de recyclage

A. Procédés du recyclage

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique.

- Le recyclage dit « **chimique** » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants.
- Le recyclage dit « **mécanique** » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer.
- Le recyclage dit« **organique** » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz.

B. La chaîne du recyclage

a . Collecte de déchets

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets.

Les déchets non recyclables sont incinérés ou enfouis en centres d'enfouissement technique.

Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés ni à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation. La collecte s'organise en conséquence. La collecte sélective, dite aussi séparative et souvent appelée à tort tri sélectif est la forme la plus répandue

pour les déchets à recycler. Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui crée le déchet le trie lui-même.

À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Le tri manuel est une de ces opérations **[6]**.

b. Transformation

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi.

c. Commercialisation et consommation

Une fois transformés, les produits finis issues du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et consommés.

Pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés.

I.1.3.3 Type de recyclage

On peut distinguer trois types de recyclage **[7]**:

- **le recyclage in situ** : les installations de recyclage sont mobiles et il s'effectue sur le chantier de démolition ;
- **le recyclage sélectif** : il est choisi lorsque les matériaux de démolition sont homogènes ;
- **le recyclage en site fixe** : les matériaux de démolition sont acheminés vers des installations montées en permanence sur un même site.

L'avantage du premier type de recyclage consiste en la réutilisation immédiate des déchets. De plus, le transport n'intervient pas dans le coût des granulats. Dans le domaine routier, par exemple la nouvelle chaussée est réalisée à partir du matériau de recyclage de

lôancienne chaussée. LôAllemagne et lôAngleterre possèdent plus dôinstallations mobiles que fixes.

Le deuxième type de recyclage nécessite que les quantités stockées soient suffisantes.

Le troisième type de recyclage sôeffectue dans des conditions industrielles.

La nature spécifique des matériaux de démolition et de construction, un certain nombre dôopérations sont ajoutées aux fonctions traditionnelles de concassage-criblage :

- stockage sélectif des matériaux réceptionnés ;
- prétraitement : réduction des gros éléments, cisaillage des ferraillages ;
- dé ferraillage (magnétique) : il peut être effectué en deux phases, lôune à la sortie du premier broyeur et la seconde après le criblage ;
- des tris manuels et mécaniques pour la récupération des papiers, des bois, des plastiques, etc. : il existe différents systèmes de séparation et de tri, en fonction des éléments à retirer (épuration par flottaison, tables densimétriques, séparation au moyen dôun courant dôair, etc.)

I.1.3.4 Impacts du recyclage sur lôenvironnement

La récupération des déchets touche deux impacts très importants, lôimpact environnemental qui est résout par lôévacuation de ces déchets et lôimpact économique qui est lôutilisation de ces derniers dans lôindustrie ou dans le domaine de la construction, ces déchets ont lôavantage dôêtre disponibles en grande quantité et avec de faible valeur marchande **[7]**.

Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières :

Âl'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer ;

Âchaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut ;

Âle recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité ;

Âl'aluminium est recyclable à 100% ; 1 kg d'alu donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu).

Âchaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois ;

Âchaque feuille de papier recyclé fait économiser 11 d'eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15 g de bois.

I.2 Plastiques et Déchets plastiques

I.2.1 Les matériaux plastiques

I.2.1.1 Définition

« Une **matière plastique** ou familièrement un **plastique** désigne un mélange contenant une matière de base (un polymère) qui est susceptible d'être moulé, façonné, en général à chaud et sous pression, afin de conduire à un produit semi-fini ou à un objet. Le mot « plastique » dérive de malléabilité ou de **plasticité** qui est la propriété de la matière de se laisser former (ou déformer) dûne manière durable (par opposition à élasticité : possibilité de déformation temporaire) sous lôaction dûne contrainte ou dans certaines conditions de températures **[8]**.

I.2.1.2 Composition [9]

Les matières plastiques sont composées en générale en trois composants qui sont :

- Résine de base (polymères).
- Adjuvants.
- Additifs.

MATIÈRE PLASTIQUE = *résine de base + adjuvants + additifs*

A-résine de base

Les résines de base qui formé les matières plastiques sont le **polymère.**

A.1 Polymère

Enchainement répété dûun même motif que lôon appelle le **monomère.**

Monomère

Molécules de faible masse atomique constituées généralement d'atomes de carbone (ex : C_2H_4)

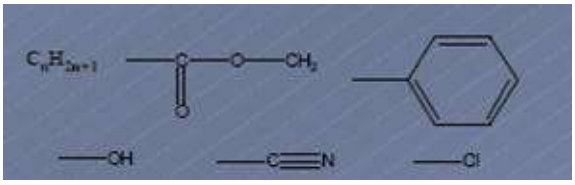


Figure I.2 : Structure des monomères

A.2 La polymérisation

Définition

Procédé de transformation d'un monomère en un polymère (polymérisation) ou d'un mélange de deux (ou plus) monomères en un copolymère (copolymérisation).

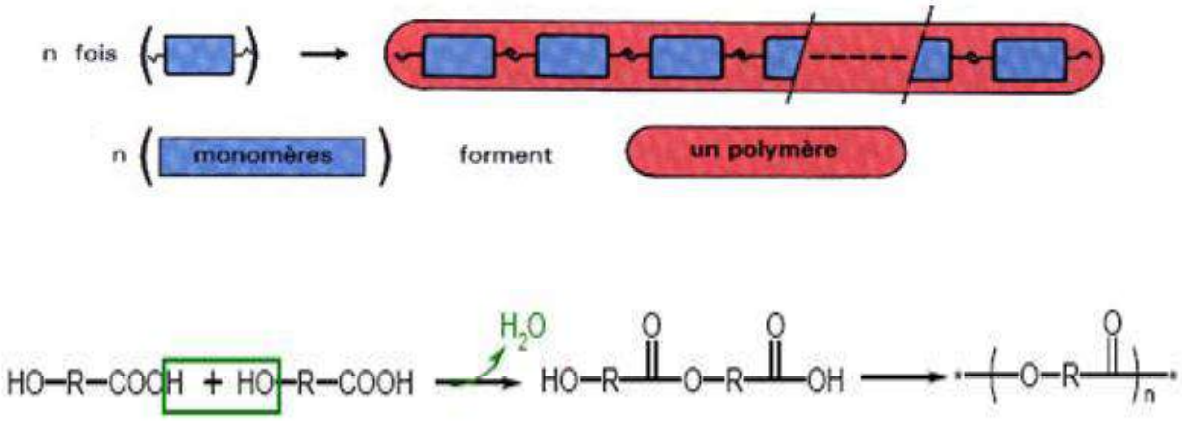


Figure I.3 : La polymérisation.

A.3 Structure des polymères (macromolécules)

La soudure des groupes moléculaires du monomère peut donner naissance à trois types principaux de macromolécules :

- Polymères linéaires.
- Polymères ramifiés.
- Polymères réticulées

Polymères linéaires

Les molécules des polymères linéaires sont formées de longues chaînes de monomères reliés les uns à la suite des autres par des liaisons chimiques. Dans certains cas, les monomères sont en outre organisés régulièrement dans l'espace, et le composé obtenu est partiellement cristallisé : on dit qu'il est semi-cristallin.

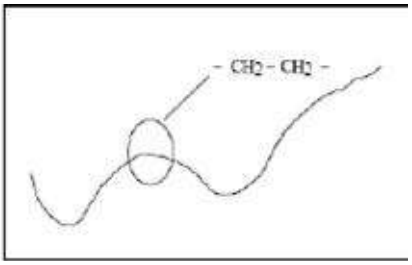


Figure I.4 : polymère linéaires

Exemples : Le polyéthylène (PE), l'alcool polyvinylique et le chlorure de polyvinyle (PVC)

Polymères ramifiés

Un polymère linéaire qui, dans certains cas, présente des « accidents » de polymérisation conduisant à des branchements, est qualifié de **ramifié**.

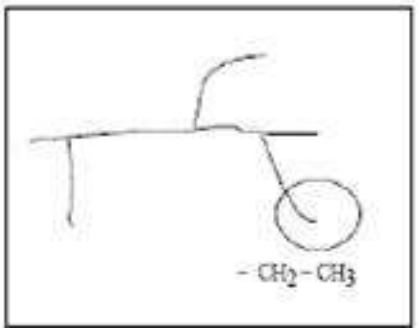


Figure I.5: Chaine ramifiés

Polymères réticulés (tridimensionnels)

Certaines molécules peuvent se lier entre elles, elles se nomment alors **réticulées**.

Il s'agit d'un pontage entre les chaînes.

Le plus souvent, ces liaisons sont tridimensionnelles,

C'est-à-dire qu'elles se développent dans les trois directions de l'espace, donnant une structure en volume (parfois bidimensionnelles, ne se développant que dans un plan).

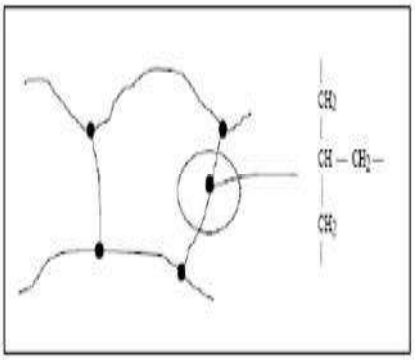


Figure I.6 : Polymères réticulés.

Il arrive que la totalité de la masse, une pièce entière par exemple, ne forme qu'une seule macromolécule.

B. Adjuvants

B.1 Anti-oxygène

Ils sont utilisés dans la plupart des polymères hydrocarbonés, en particulier PE, PP, caoutchoucs et copolymères divers. Ils sont utilises en concentration généralement inférieure à 1 % (sauf le noir de carbone) et dans ces conditions, ne modifient pas sensiblement la couleur et les propriétés physiques des polymères. Leur but est de retarder lôoxydation thermique au cours de la transformation et de lôutilisation.

B.2 Plastifiants

Ils diminuent la rigidité. Ils permettent la mise en forme à des températures inférieures à la température de décomposition de certains polymères linéaires.

B.3 Stabilisants

Ces produits permettent de réduire les phénomènes de vieillissement dus à la chaleur, les UV, etc.

C -Les additifs aux résines

Ce sont en général des produits organiques qui, ajoutés aux polymères, modifient leurs propriétés chimiques et physiques :

C.1 Pigments et colorants

Selon que lôon désire colorer un produit opaque ou transparent, on utilise un pigment insoluble ou soluble.

C.2 Lubrifiants

Ils améliorent lôécoulement des polymères lors de leur mise en forme.

C.3 Ignifugeants

Ils améliorent la résistance au feu.

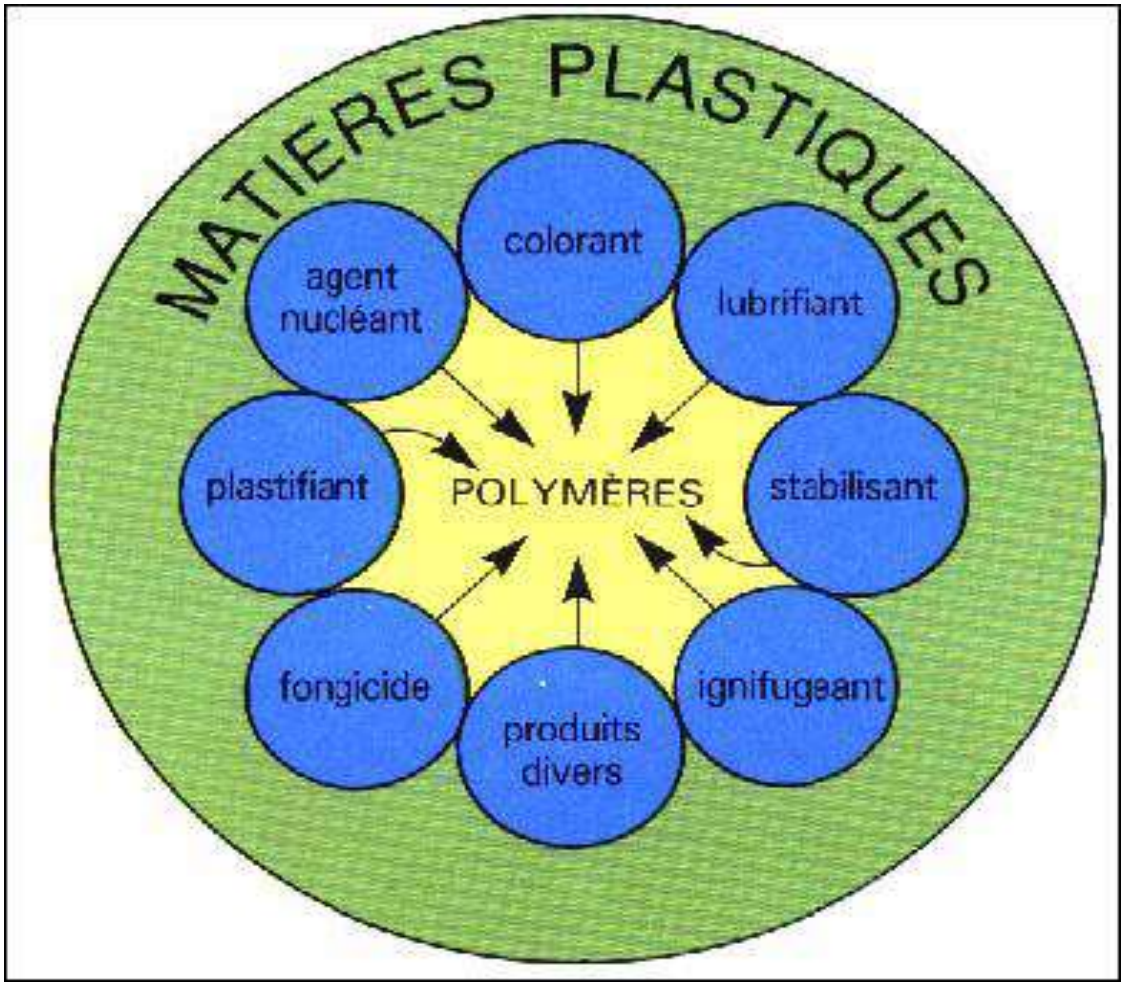


Figure I.7 : Déférent composition des matières plastiques **[10]**.

I.2.1.3 Types de matière plastique

Il existe trois grandes familles de matière plastiques: Les **thermoplastiques**, les **thermodurcissables** et **Les élastomères.**

A .Les thermoplastiques

Les thermoplastiques sont constitués de macromolécules linéaires qui peuvent glisser les unes par rapport aux autres sous l'effet de la chaleur, ou de fortes contraintes.

Les thermoplastiques ramollissent sous l'effet de la chaleur.

Ils deviennent souples, malléables et durcissent à nouveau quand on les refroidit. Comme cette transformation est réversible, ces matériaux conservent leurs propriétés et ils sont facilement recyclables.

Leurs polymères de base sont constitués par des macromolécules linéaires, reliées par des liaisons faibles qui peuvent être rompues sous lœffet de la chaleur ou de fortes contraintes. Elles peuvent alors glisser les unes par rapport aux autres pour prendre une forme différente et quand la matière refroidit, les liaisons se reforment et les thermoplastiques gardent leur nouvelle forme.

Ils représentent 80% des matières plastiques consommées en Europe en 2000 soit plus de 35 millions de tonnes ! Avant transformation, ils sont sous forme de granulés ou de poudres dans un état chimique stable et définitif car il nôy a pas de modification chimique lors de la mise en forme. Les granulés sont chauffés puis moulés par injection et le matériau broyé est réutilisable **[11]**.

Les thermoplastiques, sous l'action de la chaleur, fondent et reprennent leur rigidité en refroidissant. Cette propriété permet de les recycler sous forme de matière première **[11]**.

Il existe différents types dont 5 seulement sont particulièrement utilisés dans la fabrication des emballages :

A/ 1-Le polychlorure de vinyle (PVC)

Il est obtenu par la polymérisation des monomères de chlorure de vinyle *CH=CH*ī *Cl*2. Ce polymère de formule ī (*CH* ī *CH* ī *Cl*) ī 2*n* est issu dôune réaction chimique entre de l'éthylène et de l'acide chlorhydrique, en présence d'oxygène, Il peut être soit rigide soit souple



Figure I.8 : le PVC

selon les ingrédients qu'on lui incorpore. Le PVC rigide qui a un aspect lisse et dur est utilisé pour les tuyaux de canalisation.

Le PVC souple qui recouvre certaines pièces comme les manches de pinces a un aspect brillant. C'est après le PE, le plastique le plus utilisé au monde. Il est largement employé dans lândustrie de l'ameublement et dans le bâtiment ou le génie civil **[11]**.

A/ 2-le polyéthylène (PEhd et PEbd)

Cette matière plastique représente à elle seule environ un tiers de la production totale des matières synthétiques et constitue la moitié des emballages plastiques. Plusieurs millions de tonnes de polyéthylènesont produites chaque année car cêst un matériauextrêmement polyvalent et important sur le plan économique et écologique. Grâce à sa structure chimique simple, le polyéthylène prime sur la plupart des autres matériaux car il peut être réutilisé. Au cours de ces dernières années, le recyclage des produits usés en PE a pris de plus en plus d'importance : 50% du PE Constituant les sacs poubelle est recyclé.

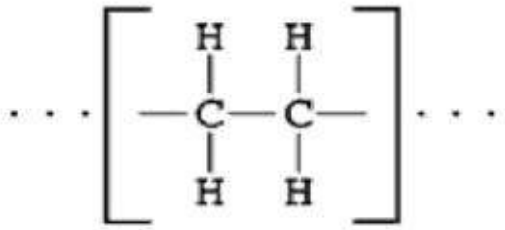


Figure I.9 : composition chimique de Polyéthylène

Le polyéthylène est translucide, inerte, facile à manier et résistant au froid.

Il existe différents polyéthylènes classés en fonction de leur densité. Celle-ci dépend du nombre et de la longueur des ramifications présentes dans le matériau.

On distingue deux familles:

Le PEBD ou polyéthylène basse densité et le PEHD polyéthylène haute densité.



Figure I.10 : les déchets des sacs plastiques

Le PEBD est utilisé dans les domaines les plus divers. Sa densité est inférieure à celle de l'eau. Il présente une bonne résistance chimique, il est olfactivement, gustative ment et chimiquement neutre pour les denrées alimentaires **[11]**.



Figure I.11 Les citerne en (PEBD)

A/ 3-le polypropylène (PP)

Cœst aussi un polymère très polyvalent qui sert à la fois comme thermoplastique et comme fibre. Il est très facile à colorer et n'absorbe pas l'eau. On en trouve beaucoup sous for de pièces moulées dans les équipements automobiles (pare-cl tableaux de bord, habillage de l'habitacle) et dans le mobilier de jardin. Ce matériau sert à fabriquer des boîtes à aliments qui résistent au lave-vaisselle parce qu'il ne fond pas en dessous de 160°C. Le polypropylène est aussi utilisé dans la fabrication de fibres synthétiques (tapis, moquettes, cordes, ficelles) mais aussi pour les emballages alimentaires en raison de son aspect brillant et de sa résistance (flacons, films, pots). Cependant, le PP film est un des plastiques usuels les plus difficiles à recycler surtout s'il est imprimé. Le contrôle de la polymérisation par catalyse permet de jouer sur la structure enfin de produire du polypropylène élastomère **[11].**

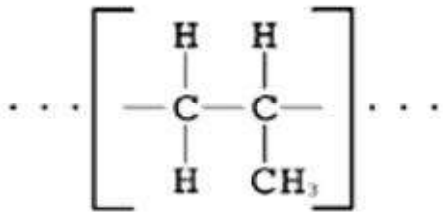


Figure I.12 composition chimique de polypropylène



Figure I.13 : La corde plastiques

A /4-le polystyrène (PS)

Le polystyrène est un plastique dur, cassant et transparent. C'est un produit industriel courant largement diffusé, offrait de très nombreux usages. On le reconnaît facilement à un blanchissement sur les zones de contraintes avant la rupture ou à sa fumée noire et à son odeur caractéristique lors de sa combustion. On lôutilise pour fabriquer du mobilier, des emballages, des grilles de ventilation, des jouets, des verres plastiqueé **[11]** .

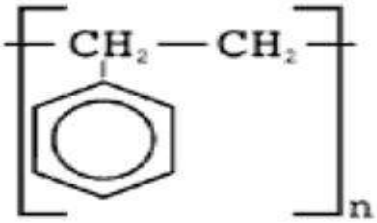


Figure I.14 composition chimique de polystyrène.

A /5-le polyéthylène téréphtalate (PET)

C'est un polymère obtenu par la polycondensation de deux composants : le diméthyle téréphtalate et l'éthylène glycol. Les chaînes vont s'ranger et former des fibres résistantes. Le PET est surtout employé pour la fabrication de fils textiles, de films et de bouteilles.

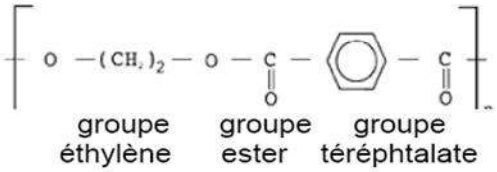


Figure I.15 composition chimique de PET

L'inventeur des bouteilles en PET, Nathaniel Wyeth voulait faire une bouteille incassable.

Cependant, ce plastique devient mou à moyenne température.

Cette propriété empêche de consigner les bouteilles en PET car il faut les laver à une température trop haute. Pour cette même raison, on ne peut pas lôutiliser pour les confitures qui sont coulées chaudes dans les pots. Il existe aujourdôhui un nouveau type de polyester plus résistant à la chaleur qui correspond à ce que l'on recherche pour les pots de confiture et les bouteilles consignées. C'est le polyéthylène naphtalate ou PEN.



Figure I.16 bouteilles en plastique.

Pour conclure disons que 80% des déchets plastiques sont issus des emballages et qu'ils appartiennent à la famille des thermoplastiques, ce qui leur confère une très bonne recyclabilité **[11]**.

B .Les thermodurcissables

Les thermodurcissables sont constitués de réseaux macromoléculaires tridimensionnels, où des pontages entre chaînes empêchent tout glissement.

Sous l'effet de la chaleur, le réseau renforce ses liaisons et se rigidifie. Sous de trop fortes températures, le thermodurcissable se dégrade (carbonisation).



Figure I.17 : thermodurcissables

La transformation d'un thermodurcissable est **irréversible**.

La solidification ou durcissement s'effectue

- par la chaleur,
- par les durcisseurs (résine).

Les thermodurcissables représentent 10 % du tonnage des déchets plastique **[11]**.

C. Les élastomères

Définition

Polymère synthétique possédant les propriétés du caoutchouc naturel, telles qu'une grande capacité d'extensibilité et de reprise élastique.

Exemples d'élastomères

- Le polychloropène (néoprène).
- Le caoutchouc.
- Pneumatique.



Figure I.18 Pneumatique

I.2.1.4 Processus de fabrication des matières plastiques

La matière première généralement utilisée est le **pétrole** duquel sont extraites des molécules d'hydrocarbure. Elles sont ensuite unies entre elles pour former des molécules de masse plus importante : c'est les **polymères.** 4% du pétrole est utilisé pour fabriquer des matières plastiques. En sus de la résine, les additifs et adjuvants sont là pour améliorer les propriétés chimiques et physiques du matériau, notamment la résistance aux chocs, la couleur, la plasticité, la résistance au vieillissement, etc. **[12]**.

Le schéma suivant illustre l'importance et la structure sommaire de la filière des matières plastiques:

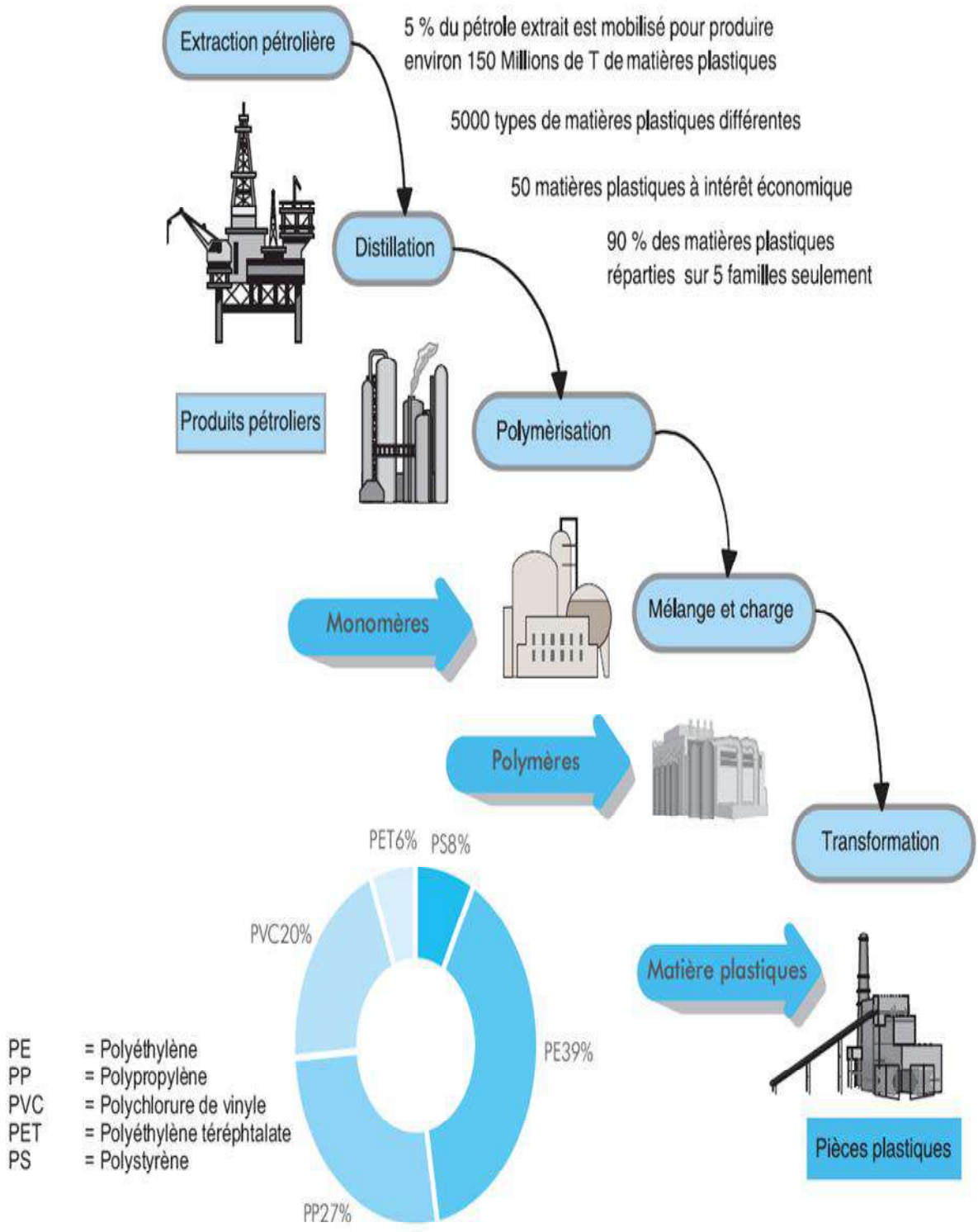


Figure I.19: Le cycle de production des matières plastiques **[12]**.

A-Du pétrole au monomère

Le pétrole est préalablement chauffé dans un four à environ 400°C. A cette température, la plupart des fractions constituant le pétrole sont sous forme de gaz. Lorsqu'elles pénètrent dans la colonne, elles s'élèvent à l'intérieur en se refroidissant au fur et à mesure de leur ascension **[12]**.

Chacune des fractions obtenues lors de la Distillation fractionnée ne peut être utilisée directement car il ne sôagit pas de produits purs

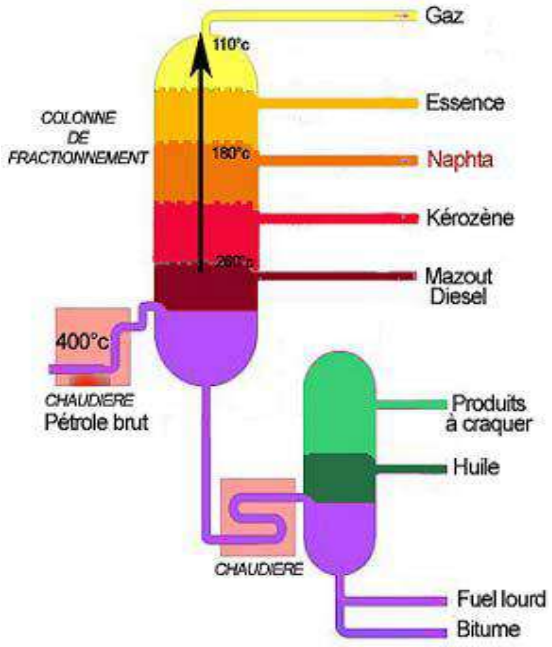


Figure I.20 : la transformation du pétrole vers monomère.

Ce sont encore des mélanges qu'il faudra traiter pour obtenir les hydrocarbures utilisés dans différents secteurs (gas-oil, essence, produits de base de la pétrochimie).

En particulier, l'une des coupes obtenue est le naphta qui va être à la base de plusieurs polymères. Nous allons examiner le traitement réalisé sur cette coupe naphta qui est le plus souvent le vapo-craquage.

En sortie de raffinage, le naphta va donc subir plusieurs transformations jusqu'à l'obtention de **monomères [12].**

B-Du monomère au polymère

A partir de petites molécules appelées ***monomères,*** on obtient de grosses molécules appelées ***polymères*** ou ***macromolécules***, par assemblage de ces monomères sous forme de chaînes.

L'opération qui permet de passer du monomère au polymère est **la polymérisation**. Cette opération peut être considérée comme l'assemblage de particules de monomères pour former une chaîne qui constituera le polymère : Cette opération n'est possible que grâce à la structure

particulière des monomères et sous certaines conditions: Pression - Température ï catalyseurs **[12]**.

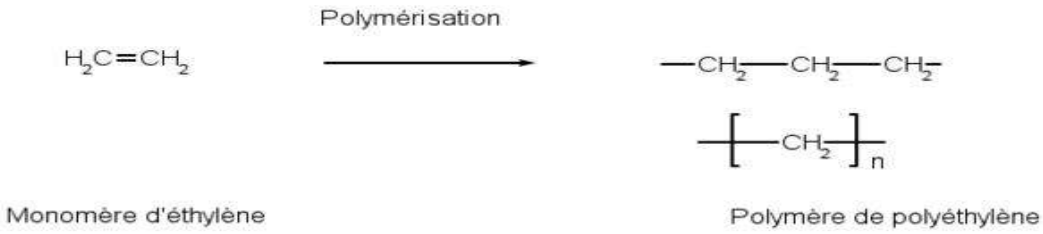


Figure I.21: La polymérisation

C- Du polymère à la matière plastique

De manière à améliorer les propriétés physiques (mécaniques, thermiques...), les propriétés chimiques et la mise en î uvre, on introduit des additifs dans les polymères.

I.2.1.5 Propriétés des matières plastiques [13]

Les propriétés spécifiques des matières plastiques vont varier dûne matière à lôautre. Les principales propriétés sont :

A- Masse spécifique

L'emploi des (matières) plastiques comme matériaux de construction est relativement récent. Leurs propriétés sont très différentes de celles des matériaux traditionnels comme le béton et les métaux. Il est donc nécessaire que les projeteurs et les utilisateurs comprennent leurs caractéristiques afin d'assurer leur performance adéquate dans des nouvelles applications. Le présent digest traite de leurs propriétés générales et de leur comportement mécanique.

B. La Légèreté

- La densité de la plupart des matières plastiques est comprise entre 0,9 et 1,8. Le plus souvent 1.

C. La résistance mécanique

- Elle est variable suivant la composition chimique.

- Les pièces plastiques sont souvent plus résistantes et plus légères que les pièces métalliques assurant les mêmes fonctions.

La résistance à la traction varie en moyenné entre 10 et 80 N/mm2 pour un plastique à lœtat massique et entre 200 et 800 N/mm2 pour un plastique renforcé. A noter que les fils ont une résistance à la traction supérieure aux produits moulés).

La résistance à la compression est de 50 à 100 % supérieure à la résistance en traction.

La résistance élastique des plastiques est voisine de 300 N/mm2, ce qui les situe entre le bois et les caoutchoucs.

D. La transparence

- Certains plastiques ont un coefficient de transmission de la lumière voisin de celle du verre, et bon nombre sont transparent ou translucides.

E. L'inaltérabilité

- Ils résistent aux agressions extérieures et à de nombreux produits chimiques.
- Certains demandent une protection contre les ultra-violets.

F. L'esthétique

Les couleurs sont variées et les possibilités de mise en î uvre nombreuses. L'aspect lisse et fini du matériau confère à l'objet une impression "design".

G. L'isolation

- Ce sont de bons isolants électriques, thermiques et acoustiques.

H.L'imperméabilité

- Ils assurent une bonne barrière aux gaz et à l'eau.

I. La glisse

- Ils possèdent le plus souvent un faible coefficient de frottement.

G.L'entretien

- Ils sont d'un entretien facile.

-Ils ne nécessitent aucun traitement de surface. - Ils résistent à la corrosion.

K.L'asepsie naturelle

- Les matières plastiques transformées à des températures supérieures à 150' C apportent l'asepsie aux emballages qu'elles permettent de fabriquer.

L. Propriété chimiques

- Possède une très bonne stabilité chimique. A des températures inférieures à 60"C, elle est pratiquement insoluble.
- Elle est insoluble dans l'eau, même sous forme de film (emballage).
- Reconnue utilisable pour des applications alimentaires.
- Les polyoléfines (polypropylène) sont à l'état naturel très sensibles à l'action des rayons ultra-violets 'UV) en présence d'oxygène (air) et pour pallier à cet inconvénient, on les charge souvent à 2 ou 3 % de poudre de carbone (carbone black), le colorant inévitablement en noir.

M. Propriété électriques

Les polypropylènes (PP) sont dœexcellents isolants électriques pour des conditions variées d'ambiance. Ils ont une faible résistance et une rigidité diélectrique élevée **.**

N. Propriété thermiques

Les polypropylènes (PP) brûlent même en l'absence de la flamme bleutée et ils gouttent.

O. Lœallongement

Il est voisin de 150 % en général. Il peut atteindre 400 à 800 % avant rupture pour certains produits.

P. La dilatation

Elle peut être dix fois supérieure à celle des métaux (cas des thermoplastiques).

Q. Le retrait

Caractéristique importante pour les moulistes, il est supérieur à celui de lœacier.

R . Écoulement visqueux

- Si le taux d'application des forces est très lent, la déformation peut être permanente, dénotant ainsi que le matériau s'est déformé en partie comme un liquide visqueux plutôt qu'un solide. L'écoulement visqueux provient du déplacement lent de chaînes entières de polymères par rapport aux chaînes voisines. Les polymères réticulés ne subissent pas l'écoulement visqueux, en raison des liaisons chimiques entre les chaînes.

Le comportement des polymères cristallins à la déformation est beaucoup plus complexe que celui des polymères amorphes. La plupart des polymères cristallins renferment des parties amorphes (CBD 154) qui ont un comportement viscoélastique. La mobilité moléculaire du polymère cristallin disparaît bien au-dessous de Tv. Le matériau adoptera alors le comportement d'un solide élastique dur. Au-dessus du point de fusion (Tf), le polymère n'est plus cristallin et se comporte comme un liquide viscoélastique amorphe. Entre Tv et Tf et un peu au-dessous de Tv, c'est-à-dire à la température d'utilisation des matériaux, le comportement sous l'effet d'une contrainte est complexe.

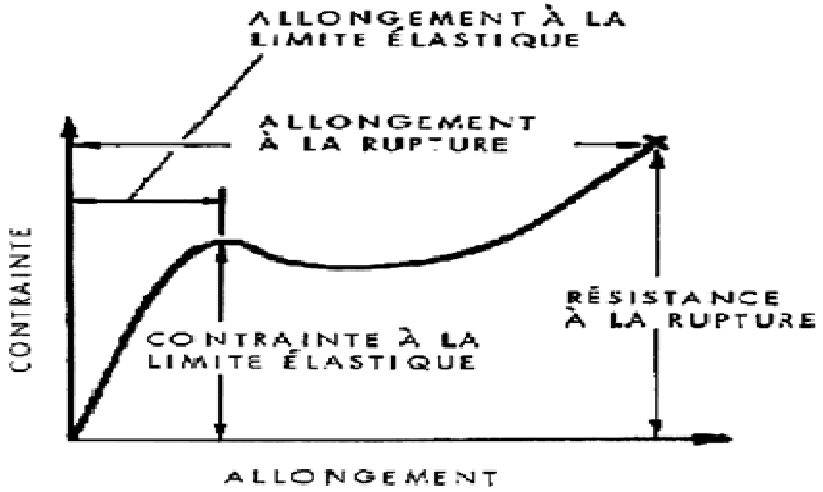


Figure I.22 : Courbe générale traction-allongement des matériaux polymères.

S. La densité

Les plastiques ont tous une densité différente ce qui permet aussi de les identifier partiellement. Pour pouvoir faire lœexpérience, découpez des fragments dœemballage dans des parties pleines (les poches dœair fausseraient la densité) et disposez-les dans un verre transparent rempli dœeau. Les plastiques qui flottent sont le PP et le PE car ils ont une densité inférieure à 1.

Le PS expansé flotte également grâce aux nombreuses bulles dœair qui y sont incluses.

Lorsquœon ajoute du sel à lœeau, on remarque que les autres bouts de plastique sœélèvent progressivement : dans lœordre on a le polystyrène (non expansé), le PVC et le PET.

I.2.1.6 Avantages et inconvénient des matières plastiques [13]

A. Les avantages

La liberté des formes

La mise en î uvre des métaux passe par l'emboutissage, alors que la mise en î uvre des plastiques passe par le moulage. Il est facile de comprendre que la seconde technique autorise des formes infiniment plus complexes.

Le fait que des stylistes trouvent une nouvelle liberté de créer, est déjà un résultat appréciable. Mais lors du choix d'un profil de voiture, ce peut être un avantage déterminant dans la recherche du meilleur Cx qui entraînera lui même une économie de consommation en carburant.

Des prototypes peu coûteux

Certains plastiques ont acquis depuis longtemps la réputation de matériaux peu coûteux dans les petites séries et les prototypes. C'est même une place que les plus sceptiques à leur égard leur ont toujours reconnue.

Une large gamme d'utilisation

La multiplicité des matières mises en î uvre conduit à l'obtention de matériaux fort différents en aspect, caractéristiques et usage final. C'est ce qui explique qu'on les retrouve en

carrosserie mais aussi pour les pièces sous capot, l'aménagement intérieur et les pièces de structure.

La protection contre la corrosion

Les plastiques ne rouillent pas, c'est bien connu ! Leur grande inertie chimique les rend précieux à plus d'un titre : en effet l'environnement est agressif, certaines voitures sont soumises 24h sur 24 aux attaques climatiques, à la pollution atmosphérique, à lœmploi du sel sur les routes enneigées...

La réduction du nombre de pièces

Deux facteurs interviennent en ce domaine : d'une part, les méthodes de moulage qui autorisent l'obtention en une seule opération de formes compliquées ; d'autre part, la multifonctionnalité qui permet à une seule pièce en composite de jouer plusieurs rôles à la fois. Dans ces conditions, le nombre de pièces à assembler est beaucoup plus faible qu'avec les matériaux traditionnels, ce qui entraîne une simplification au montage et au démontage. Par conséquent, ces gains de temps entraînent des économies.

La lutte contre le bruit

Le silence est un élément important du confort d'une voiture. Les matériaux plastiques ne sont pas source de ces vibrations qui, à certains régimes moteurs, viennent perturber l'ouïe du conducteur et des passagers. Au contraire ils atténuent ces bruits.

De plus, moins d'assemblages sont autant d'occasions supprimées pour ces bruits divers auxquels on parvient peut-être à s'habituer, mais qui n'en sont pas moins désagréables. Ces bruits augmentent également la fatigue et le stress, ce qui au volant est pour le moins gênant.

Des coûts compétitifs

Les coûts des matières plastiques sont devenus compétitifs sous l'influence de plusieurs facteurs :

- le perfectionnement des matières et des procédés, allié à l'augmentation des séries a fait baisser le prix du produit fini ;

- la multifonctionnalité et le moulage de formes complexes entraînent de sérieuses économies d'assemblage ;

- la dérive des prix est plus faible dans le cas des matières plastiques que dans celui des métaux. En prenant l'indice 100 pour le prix de 1970, on relève les indices suivants en 1979 : polyamides renforcées 180, tôle d'aluminium 235, tôle d'acier 305.

B. Les inconvénients

Avant de faire le choix de telle ou telle matière plastique, il faut tout de même connaître certaines de leurs limites.

Toxicité des gaz de combustion

Il est à noter que les produits de la combustion (opacité des fumées, corrosivité et toxicité) doivent faire l'objet de nombreux essais.

Résistance à la chaleur

Chaque matière est caractérisée par une plage de température d'utilisation. Mais on aura seulement une approximation qui devra être vérifiée sur pièces en utilisation réelle.

Résistance aux produits chimiques

Certains matériaux plastiques sont sensibles aux produits chimiques. Ils sont caractérisés par des échelons d'appréciation : Résistant - Résistance limitée - Non résistant.

Vieillissement

Il est influencé par de nombreux facteurs que l'on classe en deux catégories :

- les conditions de service : contraintes mécaniques, thermiques et chimiques,
- les conditions atmosphériques : oxygène, ozone, intempéries, rayons ultraviolets.

Tous ces facteurs n'agissent pas séparément mais se combinent pour entraîner la dégradation de la matière.

I.2.2 Les déchets plastiques

Les déchets plastiques, on l'a vu, peuvent être de différentes compositions et il n'est pas évident de rattacher une famille de déchets à un type de matière. Pourtant le recyclage nécessite souvent qu'un tri soit fait de telle sorte que la réinjection des matériaux recyclés dans la filière de production soit possible.

Les thermoplastiques représentent 80 % des déchets plastiques en existe différents types

Les thermodurcissables représentent 10 % du tonnage des déchets plastique **[14]**.

Lœlastomère représente 10 % des déchets plastiques.



Figure I.23 : Différent types des déchets plastiques.

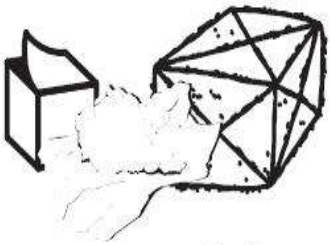
Le schéma suivant tente une représentation sommaire de la composition des déchets plastiques les plus fréquents :



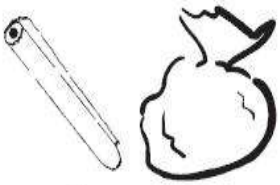
PVC : polychlorure de vinyle
Bouteilles (eaux minérales, vinaigre, vin, huiles comestibles, ...)
Gobelets, barquettes, boîtes alimentaires, films alimentaires, tuyaux



PEhd : polyéthylène haute densité
Bouteilles, flacons (lait, lessive..)
bidons (huiles moteurs, phytosanitaires...)
fûts et conteneurs, caisses et casiers, films pour routage



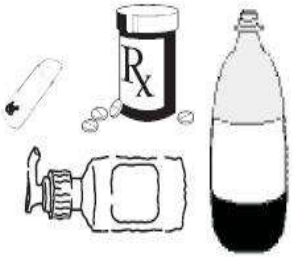
PEbd : polyéthylène basse densité
Films rétractables ou étirables, palettisation,
sacs, sachets, boîtages



PP : polypropylène
Films et sachets transparents



PS : polystyrène
Feuilles pour thermoformage (pots de yaourts et autres produits laitiers)



PET : polyéthylènetéréphtalate
Bouteilles (boissons gazeuses, eaux minérales, huiles comestibles...)
pots et flacons cosmétiques

Figure I.24 : Différent déchets plastiques recyclé.

Lôélimination des matières plastiques pose aux pays industrialisés, gros consommateurs, des problèmes qui ne peuvent être résolus ni par la mise en décharge, ni par lôincinération. Le recyclage de ces composés, le plus souvent liés aux déchets ménagers, est coûteux et aléatoire. Il nécessite le plus souvent le tri avant le renvoi des masses vers le re-broyage et une éventuelle remise à forme.

La complexité du recyclage des matières plastiques est dôabord la conséquence dôune grande diversité au niveau des applications et des marchés (**Fig. I.25**).

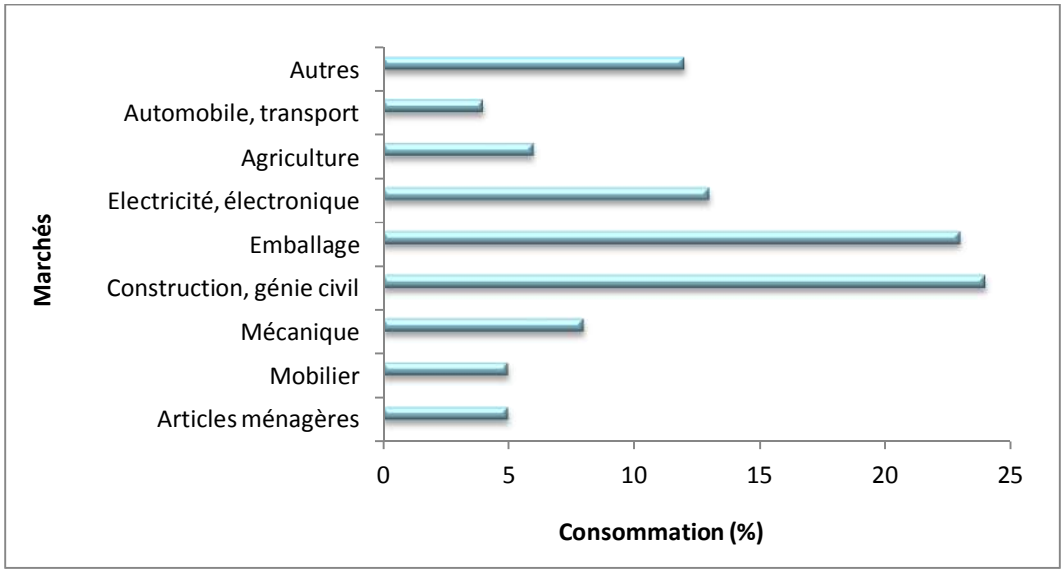


Figure I.25: Secteurs utilisateurs de déchets plastiques en Europe **[2].**

Actuellement, lôidée maîtresse est dôutiliser dôavantage les déchets plastiques dans des travaux géotechniques, de construction de routes et de voies ferrées.

Lôutilisation des déchets plastiques a été envisagée en particulier comme constituant des bétons bitumineux. La première voie explorée dès 1972 [**14**] a été celle dôun mélange intime avec le bitume ; les différents enrobés spéciaux, utilisant des plastiques neufs ou de récupération existant sur le marché européen, montrent que cette technique est plus quôopérationnelle. La seconde voie consiste en lôincorporation de plastiques dans les enrobés en vue dôaugmenter leurs caractéristiques notamment leur résistance à lôorniérage, cette technique est opérationnelle en France.

I.2.2.1 Le recyclage des déchets plastiques

I.2.2.1.1 Introduction

Les plastiques sont omniprésents dans notre vie.

Au-delà de leurs atouts, une fois consommés, ils génèrent des déchets volumineux par rapport à leur poids.

Ces déchets occupent un volume important dans les points de collecte et autres installations de gestion de déchets dont les centres d'enfouissements techniques.

Leur dissémination dans la nature est durable et inesthétique car leur biodégradabilité est dans la plupart des cas faible, Il y a donc lieu d'encourager leur recyclage.



Figure I.26 : déchet plastiques en volume

Malheureusement, la multiplicité des types de matière plastique et de composition d'une même matière plastique, l'incompatibilité de certains polymères entre eux et la difficulté de reconnaître et de séparer les différents polymères induisent de nombreux problèmes au niveau, notamment, du tri sélectif, en particulier pour les déchets plastiques de post-consommation.



Figure I.27 : Impacts de déchets plastiques sur l'écosystème terrestres.

Par ailleurs, le faible coût des produits pétroliers de base ne favorise pas l'émergence d'un grand marché des matériaux plastiques recyclés.

A ce jour le recyclage des plastiques, et plus précisément celui des thermoplastiques issus des emballages, participe essentiellement de la grande filière du recyclage matière,



Figure I.28 : Impacts de déchets plastiques sur l'écosystème marin.

c'est à dire que les déchets triés, lavés, broyés et granulés retournent dans la filière de production au stade du mélange ou de la fabrication. Les déchets plastiques sont valorisables par récupération d'une partie importante de la matière (recyclage et régénération) ou par utilisation de leur pouvoir calorifique.

I.2.2.1.2 Les modes de traitement des déchets plastiques

La diversité des plastiques (on compte une centaine de familles de polymères, chacune déclinée en de nombreux grades de propriétés et représentant au total mille produits commerciaux) entraîne souvent des difficultés techniques dans les opérations de recyclage ou de régénération, on distingue trois mode de recyclage ou traitement des déchets plastiques :

A- Le recyclage mécanique

Le recyclage mécanique des plastiques consiste en une réduction dimensionnelle des produits suivie d'une refusions directe et d'un remoulage comme nouvelle matière, éventuellement après addition de produit vierge et / ou additifs permettant de restaurer (en partie) les propriétés initiales.

Le produit ainsi obtenu est qualifié de régénéré **[14].** L'inconvénient de cette méthode est que toute contamination ou tout mélange peut diminuer la chance de recycler le déchet d'une manière valorisante.

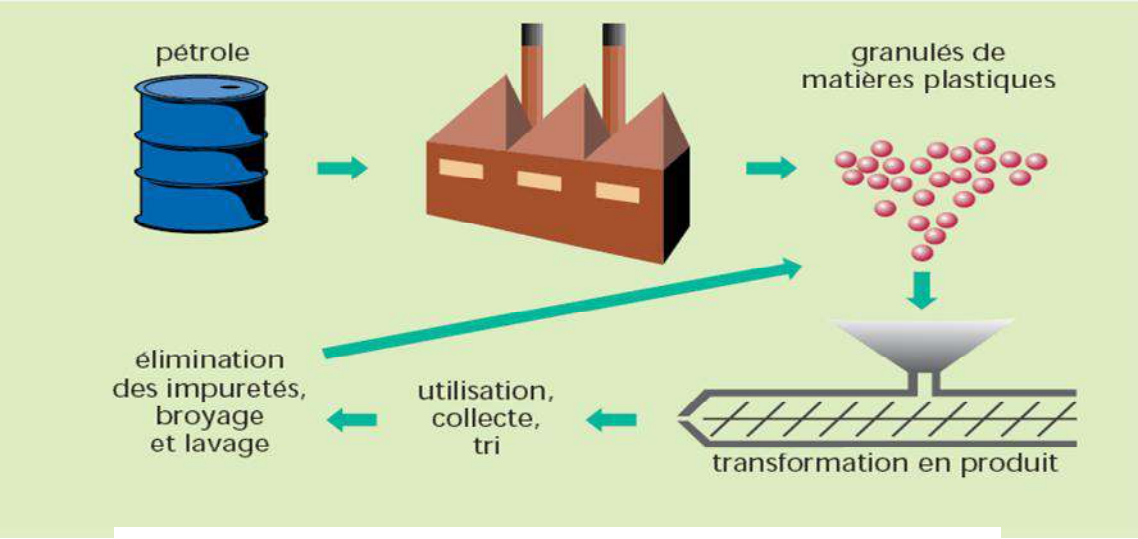


Figure I.29 : Le recyclage mécanique

B- Le recyclage chimique

Le recyclage chimique consiste à décomposer les macromolécules constitutives des polymères en matières premières réutilisables.

Les matières plastiques sont dépolymérisées sous l'effet de la chaleur et/ou d'un composé chimique. Selon le procédé utilisé, la valorisation permet de revenir au monomère de départ ou aux produits pétrochimiques de base.

Les techniques de dissolution présentent l'avantage de s'appliquer, à priori, à tous les types de plastiques et même aux mélanges. Les conditions technico-économiques sont meilleures que celles régissant les procédés thermiques et on obtient des produits de meilleure qualité que ceux issus du recyclage mécanique **[14]**.

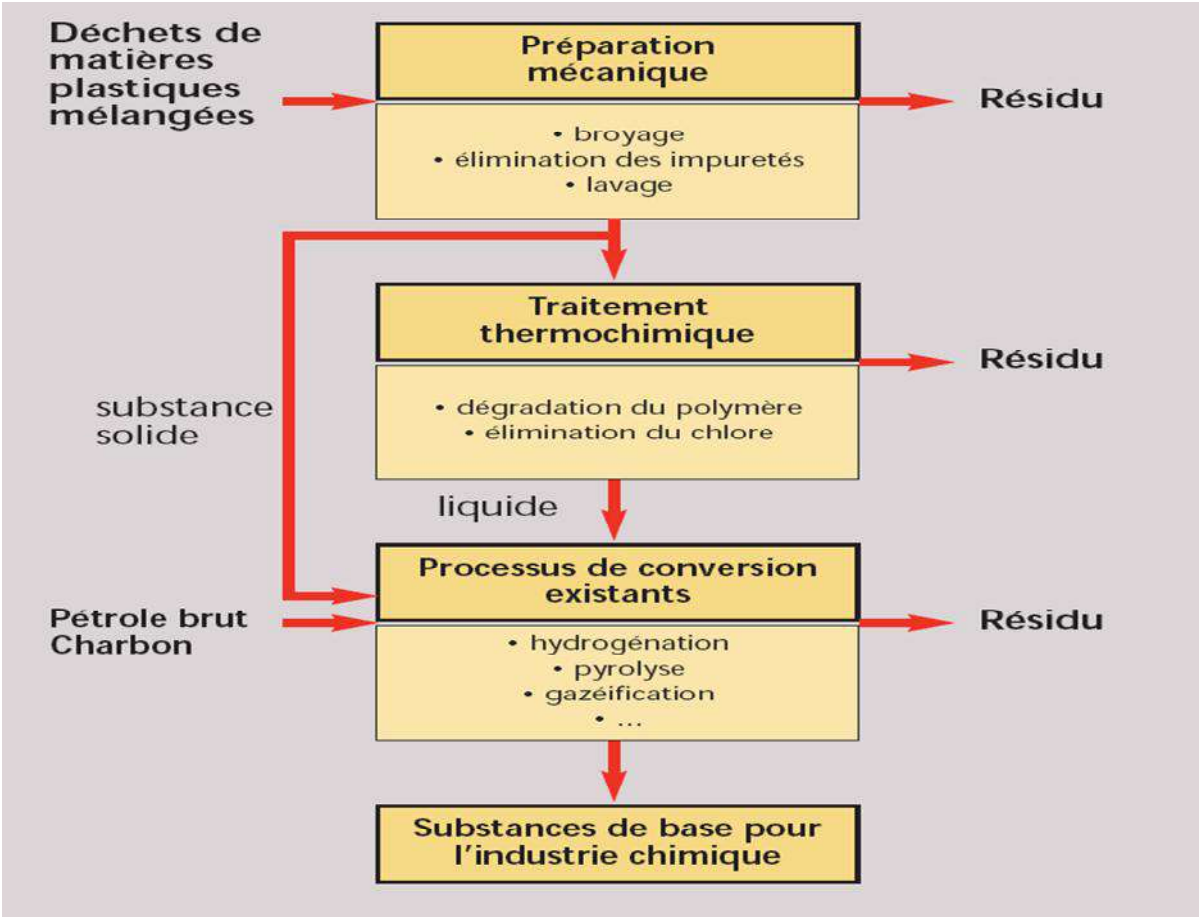


Figure I.30 : Le recyclage chimique.

C- Le Retraitement thermique

Le retraitement thermique consiste de chauffer un thermoplastique à températures très élevées, de ce fait faisant l'écoulement plastique. Le plastique est alors converti dans un nouveau produit comme il se refroidit **[15]**.

Le recyclage matière d'un kg d'emballages plastiques mélangés réduit la production de gaz à effet de serre de 0,95 kg . La valorisation énergétique par incinération d'un kg d'emballages plastiques mélangés émet 1,13 kg .

L'enfouissement d'1 kg d'emballages plastiques mélangés émet 0,13 kg .Le recyclage matière est donc sans conteste la solution la plus efficace en termes de plus value environnementale **[15]**.

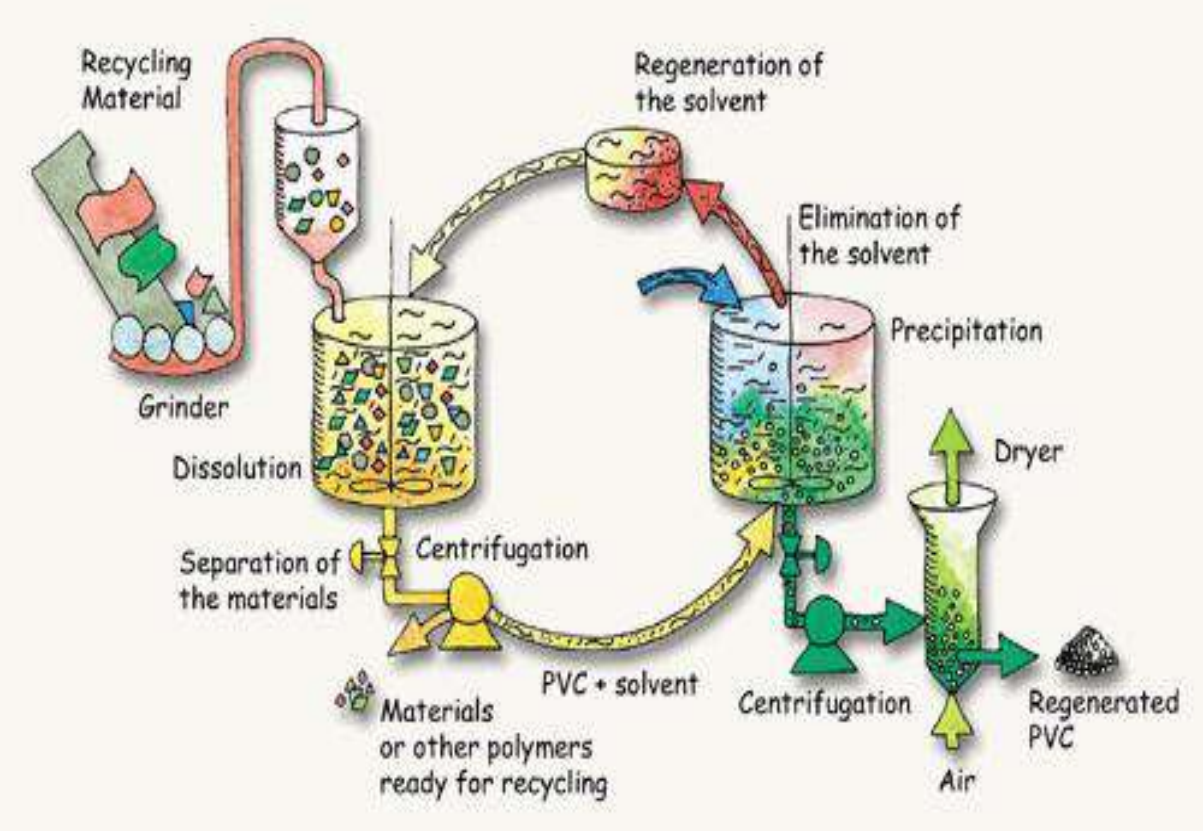


Figure I.31: Procédure de recyclage des déchets plastique **[15].**

I.2.2.1.3 Processus de recyclage [15]

En générale la valorisation matière des plastiques implique une chaîne d'opérations et de professionnels spécialisés dans :

- la collecte (récupérateurs, négociants).
- la préparation (lavage, tri, broyage).
- la transformation (régénération).
- le recyclage (fabrication de nouveaux produits).



Récupération



Tri et conditionnement



Fabrication de nouveaux produits





Régénération



Broyage, lavage

Figure I.32 : Processus de recyclage de déchets plastique.

I.2.2.1.4 Le recyclage du plastique en chiffres

- 89 milliards de bouteilles en plastiques utilisées en France chaque année **[14].**
- En 2008, seulement 6,2 milliards de bouteilles ont été recyclée **[14].**
- En 2000, la consommation nationale de matières plastiques a été estimée à 5,4 millions de tonnes, dont :

  * 2 millions de tonnes pour le secteur de l'emballage.

  * 1,3 million de tonne pour le secteur du bâtiment.

  * 0,7 million tonne pour le secteur de l'automobile.

Seulement 545 000 tonnes de déchets plastique ont été traitées, Le taux d'utilisation est donc de 3,6% **[15].**

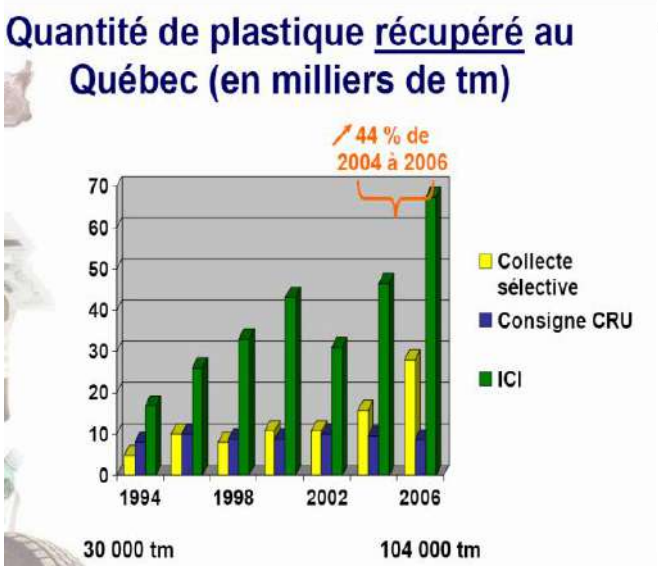


Figure I.33 : lôévolution du recyclage plastique en Québec **[14].**

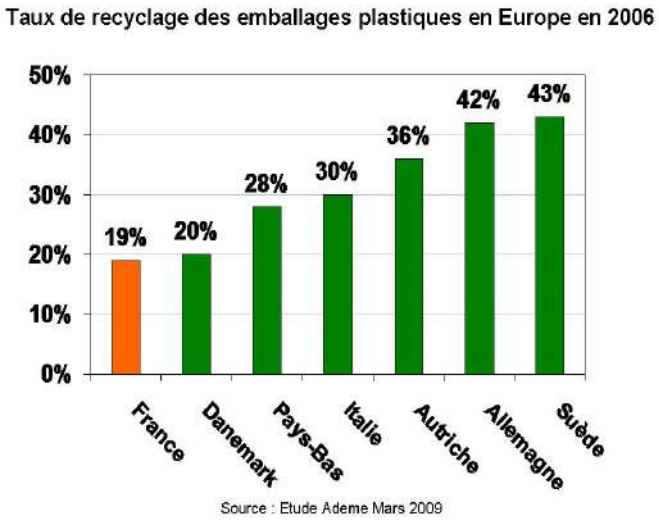


Figure I.34 : lôévolution du recyclage plastique en Europe **[14].**

I.3 Le béton de déchets

I.3.1 Matériau béton

L'histoire du béton remonte à 2000 ans avant J.C. Ce sont les romains, qui les premiers ont inventes une pate « dure comme la pierre », a base de chaux vive. Plus tard (19eme siècle),les véritables recherches approfondies sur les propriétés de la chaux furent entrepris par SMEATON, VICAT et ASPDIN qui montrèrent dans un premier temps que le clinker issu de la calcination du mélange « calcaire + argile » (particules anhydres) fournissait une meilleure hydraulicité au liant. En 1855, du gypse (SO3) en petite quantité ajoutée au clinker, permit d'obtenir au contact de l'eau, une étrangéité (mélange formant une étreinte des constituants par une réaction chimique), homogène et maniable pendant un laps de temps.

Ce mélange original « gypse + clinker » fut brevète et possède encore aujourd'hui l'appellation Ciment Portland Artificiel. Puis rapidement les mortiers et les bétons furent mis en œuvre en introduisant dans la pate de ciment respectivement du sable ou des granulats. En parallèle à de nombreuses recherches sur leur composition et leur comportement ces « nouveaux matériaux composites » furent rapidement employés dans la construction.

Les résultats d'analyse des différentes phases (ciment + granulat + eau) précisent L'influence de chacun des constituants. Classiquement, le ciment Portland se compose d'environ 50% de silicate tri calcique (C_3S), 20% de silicate bi calcique (C_2S), 5% d'alumino- ferrite tetra calcique (C_4AF) et 15% d'aluminate tri calcique (C_3A). [C = CaO ; S = SiO_2 ;A = Al_2 ; F = FeO_2].

Lors de l'hydratation du ciment, une forte teneur du compose C3S contribue a l'augmentation rapide de la résistance au jeune âge avec un fort dégagement de chaleur.

Cette réaction exothermique est accentuée par la présence de C_3A qui constitue un élément chimique essentiel dans la fabrication du ciment et pour l'obtention d'une etringite homogène en combinaison avec le compose C_4AF **[16]**.

Cependant ces gradients thermiques sont la source de fissuration au sein de l'élément de béton car la température peut atteindre 70°C. Le pourcentage de C_3A doit alors être le plus faible possible car il est également plus vulnérable aux sulfates et sa forte teneur implique un dosage plus important en gypse.

Même si lâaction du gypse peut entrainer un fluage plus important du béton a court terme (du a la finesse du liant), il ne possède aucune influence a long terme. Seul le compose C2S agit sur le comportement à long terme du béton car sa réaction est plus lente.

Lâhydratation du ciment nâest jamais complète (60 a 70% des particules sont hydratées). Isolées de tout contact avec lâextérieur, les particules anhydres peuvent attendre des années avant dâêtre enfin en contact avec un compose permettant lâhydratation.

Le béton généralement caractérise par des essais à 28 jours, présente en vieillissant une configuration thermo dynamiquement instable compte tenu des réactions encore possibles a long terme **[16]**. Au-delà dâune consistance plastique initiale au moment de la mise en î uvre (viscosité importante), le béton développe tout au long de sa vie, une fragilité accrue caractérisée par une rupture plus brutale **[17]**.

Les propriétés des bétons tentent dâêtre améliorées en fonction de leur utilisation (structures, réparation). Câest pourquoi, de plus amples recherches sâattachent à déterminer lâeffet dâajouts cimentaires (cendres volantes, laitiers, fumée de silice..) qui apportent des propriétés intéressantes au béton (ouvrabilité, résistance, porosité, facilite de mise en î uvre) et celui dâadditifs chimiques tels que les plastifiants qui agissent sur lâouvrabilité des bétons.

Cependant leurs effets nécessitent des études approfondies sur le comportement diffère a court et a long terme des bétons.

A cette étape on peut définir alors la notion des bétons spéciaux, donc quelles sont les bétons spéciaux, et quelles sont leurs propriétés.

I.3.2 Bétons spéciaux

I.3.2.1 Béton a haute performance (BHP)

Les bétons de hautes performances BHP ont dâabord été appelés bétons de hautes résistances , car câest cette caractéristique facilement mesurable qui a fait des progrès spectaculaires. Elle est passée de 30 a 35 MPa il y a quelques années, a plus de 100 MPa pour les bétons a très hautes performances (BTHP), voire plus de 200 pour des bétons de laboratoire.

Les gains de résistance ne sont pas les seuls avantages de ces bétons qui tirent leurs propriétés dûne forte réduction de leur porosité. Ils sont également plus résistants aux agents agressifs, aux phénomènes de gel-dégel et, de façon générale, présentent une durabilité accrue.

Les bétons HP permettent de réaliser des structures soumises a des contraintes élevées ou des ouvrages subissant un environnement sévère (climat, agressions marines, effets du gel). Ils apportent aussi des résistances précoces élevées au béton, ce qui permet dûaccélérer les cadences de fabrication en usine ou sur chantier.

I.3.2.2 Bétons auto-plaçant (BAP)

Les maitres dûouvrages, architectes, ingénieurs, entreprises, fabricants de béton et prefabricants ont toujours recherche un béton ayant :

Åune mise en place aisée,

Åun bon remplissage des coffrages,

Åun parfait enrobage des armatures,

Åune forte compacité.

Les bétons sont devenus de plus en plus fluides, malgré la réduction de la quantité dûeau de gâchage, à tel point que la vibration nûest plus devenue nécessaire. Le béton auto-plaçant était ne...

Cette hyper fluidité du béton a été rendue possible par lûarrivée sur le marche des dernières générations dûadjuvants superplastifiants . La base de ces adjuvants est une molécule complexe qui retarde lûhydratation du ciment et augmente considérablement la dispersion des grains de ciment.

I.3.2.3 Bétons de fibres

Le béton de fibre est obtenu en incorporant dans la masse de béton des éléments résistants à la traction : les fibres composants de forme et de nature diverses.

Les bétons renforcés de fibre ont fait lûobjet depuis maintenant une quarantaine dûannées dûefforts de recherche importants. Le développement depuis une dizaine dûannées de matrices cimentaires performantes a relancé lûintérêt pour lûutilisation des composites

cimentaires renforcés de déchets **[18].** On obtient des produits plus ductiles, multi fissurant, capables de limiter la propagation de l'endommagement tout en assurant une durabilité accrue.

Ces matériaux sont très récents pour un secteur comme le génie civil, ou innover est difficile.

Les composites « ciment ï fibres » et « bétons ï fibres » sont une avancée technologique importante dans de nombreux domaines du bâtiment et des travaux publics : panneaux minces, panneaux décoratifs, encadrements, dallages, voûtes de galeries, isolation, réparation, mobilier urbain. Grâce à leurs propriétés, les déchets permettent de mieux mobiliser la résistance intrinsèque du béton avec comme conséquence une réduction des sections.

Le comportement particulier du béton de fibres permet de :

Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer la structure en sôopposant au développement des fissures et à leur propagation. Selon le type, le dosage et les éléments en béton dans lesquels elles sont insérées, les fibres permettent :

- lôamélioration de la cohésion du béton frais ; par exemple, les fibres rigides changent la structure du squelette granulaire,
- lôaugmentation de la ductilité et le comportement post-fissuration,
- la réduction de la microfissuration due aux variations dimensionnelles notamment au jeune âge,
- la réduction de la fissuration dôorigine mécanique (chargement extérieur),
- lôaugmentation de la résistance à la traction par flexion,
- lôamélioration de la tenue au feu et de la résistance aux chocs, à la fatigue, à lôusure, et à lôabrasion.

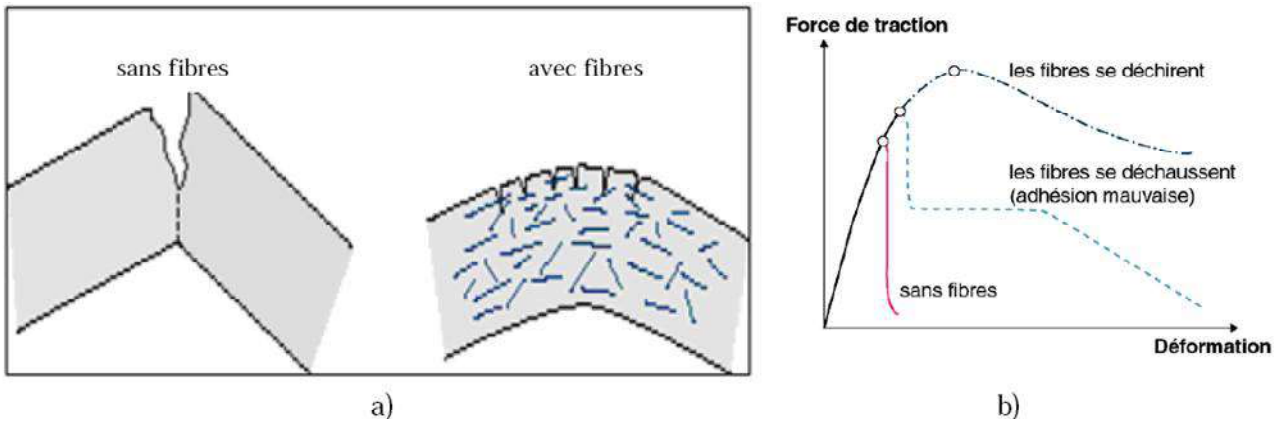
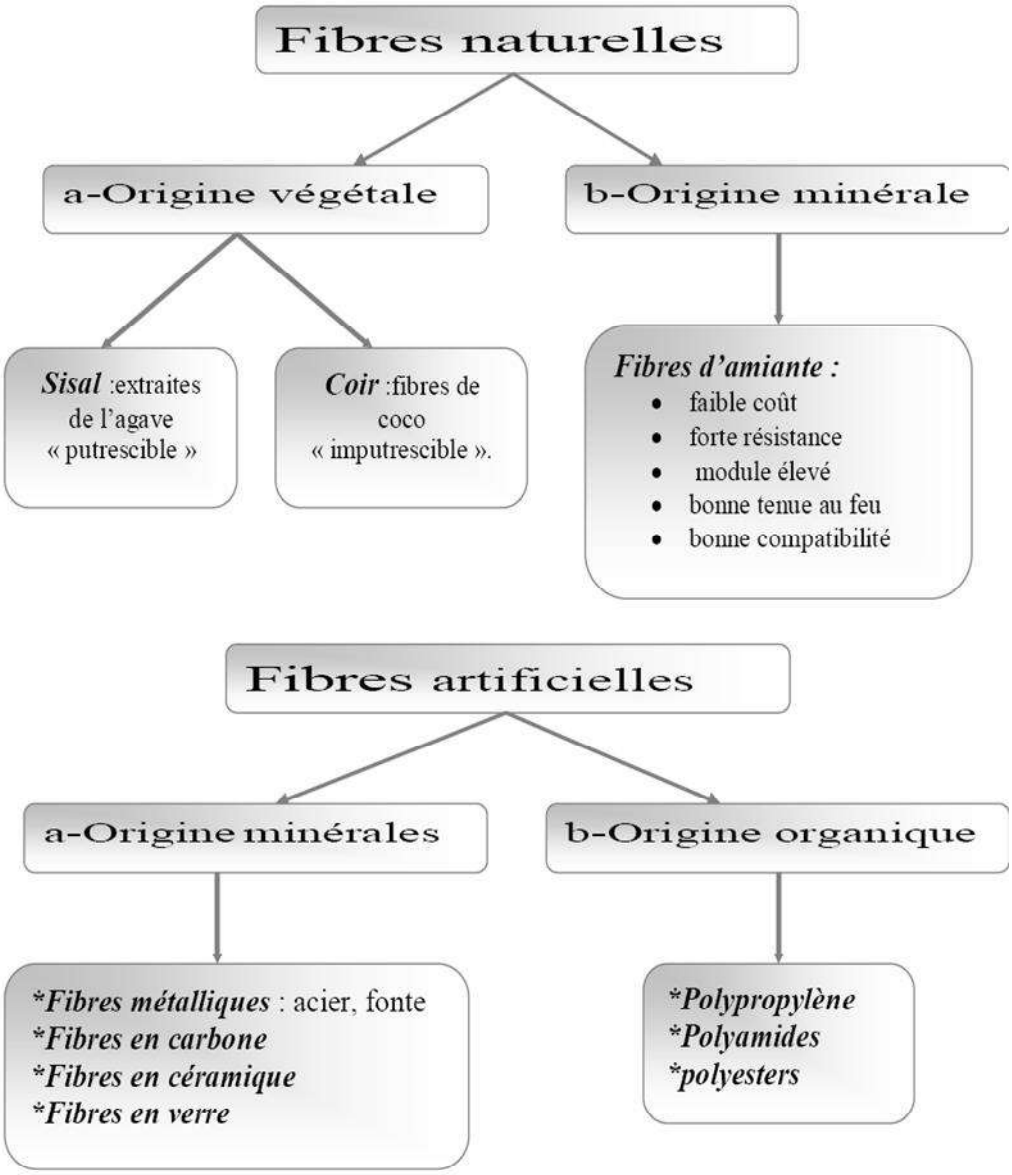


Figure I.35 : Illustration de lôapport du renfort par des fibres **[18].**

I.3.2.3.1 Nature de fibre

Des fibres de déchets diverses ont été utilisées comme renfort dans le béton, et comme les armatures traditionnelles les fibres ne sauraient être efficaces sans une bonne adhérence à la matrice, aussi, il importe d'utiliser des fibres dégraissées présentant une certaine rugosité qui peut être obtenue chimiquement (en les trempant dans une solution de soude, par exemple), ou par une géométrie particulière qui favorise l'adhérence mécanique (fibres ondulées ou avec crochets)



Les fibres peuvent se classer en deux catégories : les fibres naturelles et les fibres artificielles.

A -Fibres naturelles

Elles ont surtout 2 origines :

A-1 Végétale

On peut citer le Sisal (fibres extraites de lôagave) et le coir (fibres de Coco).ils ont été utilisées sur les chantiers expérimentaux dans certains pays en voie de développement. Le Sisal est très résistant mais putrescible, par contre le coir est imputrescible.

A-2 Minérale

Ce sont surtout les fibres dôamiante, ce matériau connu depuis de nombreuses années possèdent beaucoup dôavantages :

- faible coût ;
- forte résistance,
- module élevé ;
- bonne tenue au feu et bonne compatibilité avec ciment.

Toute fois, ces fibres ne conviennent pas pour les mortiers et les bétons à cause de leur longueur trop faible et de la quantité dôeau importante exigée. Elles ne sont donc utilisées quôavec de la pâte pure.

B- Fibres artificielles

On distingue deux types: les fibres minérales et organiques.

Parmi la première catégorie, on trouve les fibres métalliques (acier, fonte) les fibres en carbone, en céramique et en verre. Parmi les fibres organiques les plus courantes ce sont les polypropylènes et plus rarement les polyamides et les polyesters, acryle, polyester **[19]**.

Tableau I.1 : Principales caractéristiques physiques et mécaniques des fibres les plus utilisées **[20]**.

Fibres	Diamètre (µm)	Long (mm)	densité	Rt (Mpa)	E (10^3 Mpa)	Allongement à La rupture en %	Coeff. De Dilatation (µ/ m)	R_{feu} Temp. Max °C
Acier	5 – 500	20 – 80	7.8	1000-3000	200	3-4	11	1500
Fonte (ruban)	36 x2600 de section	50 – 60	7.8	2500	140	1		1500
Verre	5 – 20	40 – 70	2.6	1500-3000	80	2-3.5	9	800
Polypropylène	10 – 200	25 – 75	0.9	400-750	5-10	15-25	90	150
Polyester			1.4	700-850	8	11-13		
Amiante	0.02 – 20	5	2.5 – 3.4	3000	8-15	2-3	1	1500
Carbone	5 – 9	Variable	1.7 – 2	2000-3000	250-400	0.5-1.5		400-1500
sisal	10 - 50	1.50	1.5		130	3		

Parmi les fibres les plus utilisées dans le domaine du béton, nous citons :

B. 1 les fibres minérales

B.1.1 Fibres métalliques

Les fibres métalliques caractérisées par un module dœlasticité élève, par conséquent, offre au béton une meilleure résistance a la traction, au choc et améliore sa ductilité en augmentant son pouvoir de résister aux déformations dues a la rupture, de même donne une ténacité appréciable, leurs formes



Figure I.37 : Fibre métallique.

et leurs dimensions améliorent leur ancrage et leur adhérence (fibres, copeaux, fibres tréfilées, ondulées, déformées aux extrémités, en tête de clou).

B.1.2 Fibres de fonte amorphe

Ces types de fibres sont obtenus par refroidissement brusque, dûn alliage métallique a base de fer, sont constituées de petits rubans de 1 a 3 mm de largeur, contribuent a la limitation des fissures sous chocs.

B.1.3 Fibres de verre

Sous leur forme habituelle, sont caractérisées par une très grande fragilité aux chocs, attribuée a une sensibilité élevée a la fissuration, sous la forme de fibres de faible diamètre, le verre perd ce caractère, acquière de bonnes caractéristiques mécaniques, et sont utilisées pour fabriquer des éléments de faibles épaisseurs, avec des matrices de pate ou mortier ou de micro béton.

B.2 les fibres organiques

Fibres de polypropylènes (Les fibres synthétiques) [21].

LB Fibres Synthétiques est un béton renforcé de fibres polypropylène qui permet de maîtriser le retrait au jeune âge.



Figure I.38 : déférent fibre polypropylènes.

Les polypropylènes, sont des produits dôorigine pétrolifère, découverts en 1954, ce matériau de synthèse a connu une extension croissante dans lôindustrie de textile ou ils apportent les avantages suivants :

- Disponibilité a prix relativement faible.
- Resistance aux attaques en milieux alcalins et corrosifs.
- Augmentation notable de la résistance de la résistance aux chocs.
- Limite lôouverture des fissures.

I.3.2.3.2 Effet de lôorientation et de la distribution des fibres

Lôutilisation de deux grandes familles de fibres plastiques a permis de distinguer un fonctionnement mécanique différent :

- les fibres qui fonctionnent par adhérence. Elles sont généralement droites et ont une surface spécifiques très importante. Leur intérêt est de limiter fortement les ouvertures des fissures.
- Les fibres qui fonctionnent par ancrage. Elles ont une surface spécifique peu importante. Leur ancrage est réalise soit par des crochets ou des tètes placées aux extrémités de la fibre, soit par des ondulations disposées tout au long de la fibre.

Les fibres utilisées pour notre étude travaillent par ancrage de par leur forme et du fait dôune surface spécifiques importante. Il est primordial dôoptimiser le choix de la fibre (caractéristiques géométriques et mécaniques) en fonction de la compacité de la matrice. Il ne faut pas oublier dans le choix de la fibre que celle ci doit avoir une longueur deux à trois fois supérieure au diamètre du plus gros granulat et quôelle peut avoir un très bon fonctionnement mécanique quand elle est positionnée manuellement au sein de la matrice cimentaire.

Il existe une orientation préférentielle des fibres qui a un effet sur le comportement mécanique des bétons renforces de fibres plastiques.

Ainsi, dans une structure et un chargement mécanique donne, les fissures apparaissent, généralement perpendiculairement aux contraintes maximales de traction. En suivant lôorientation préférentielle des fibres vis-à-vis des fissures créées, on pourra aller du très efficace (fibres perpendiculaires aux fissures) a la pire situation (fibres parallèles aux fissures).

Il est donc impératif dôoptimiser la mise en î uvre dôun béton renforce de fibres plastiques, ainsi que la façon dont il sôécoule, car cela intervient dans lôorientation préférentielle des renforts vis-à-vis du fonctionnement de la structure.

Dans le cas ou le mélange peut sôécouler a lôintérieur du coffrage soit par gravite, soit sous lôeffet dôune vibration, les fibres ont tendance à sôorienter parallèlement aux lignes de courant de

lœécoulement du fluide visqueux que constitue le béton. Cette tendance augmente lorsque le rapport distance dœécoulement sur longueur de la fibre augmente.

Pour la distribution des fibres, on est dans le cas dœune mise en î uvre de bétons en laboratoire, donc on sœintéresse a la manière dont le béton est mélange et aussi sa mise en place dans les moules. Comme les corps dœépreuves sont relativement petits par rapport aux éléments de structure, ils excluent un écoulement important et les fibres sont orientées Perpendiculairement a la surface des moules ou le mélange est introduit **[21]**.

I.3.2.3.3 Propriété de béton de fibre

A. Propriétés mécaniques

A.1 Résistance a la compression

Les résultats mis en évidence par différents chercheurs sur lœeffet des fibres sur la résistance a la compression du béton renforce de fibres montrent quelques divergences.

Cependant ils sont dœaccord pour dire que les fibres nœapportent pas dœamélioration appréciable en compression. Dans certains cas, on a une légère augmentation de la contrainte ultime, dans dœautres une légère diminution. Dans la matrice, la fibre peut avoir deux effets contradictoires : celui en premier de maintenir les fissures ce qui favorable pour la phase post pic, et celui en second de créer des défauts supplémentaires a lœinterface fibres - mortier ce qui peut contribuer a lœendommagement et donc limiter la charge maximale **[22]**.

A.2 Resistance a la traction par flexion

Lœaugmentation de la résistance en flexion du béton de fibre est beaucoup plus importante, elle peut atteindre 200 % et plus. Elle est due à la déformabilité du matériau. Il y a un déplacement de lœaxe neutre durant la flexion. La flexion varie avec la géométrie de la fibre, son orientation et son adhérence à la matrice **[22]**.

Avec les fibres de polypropylène, Dardare **[23]** a obtenu des augmentations de résistance en flexion beaucoup plus faible est même des diminutions lorsque le pourcentage dépassait 1%,

Il explique ces diminutions par des mauvaises homogénéités du béton, dues à, des valeurs E/C trop élevées. Ainsi, le pourcentage de 1 % en volume doit être un maximum à ne pas dépasser. Résistance en flexion de lôéprouvette non renforcée résistance en flexion de lôéprouvette renforcée.

A. 3 Résistance au choc

Sous lôaction de sollicitation dynamique, les structures en béton de fibres présentent souvent un très bon comportement, en augmentant les charges de rupture, en modifiant parfois les schémas de fissuration. Certains auteurs (Dardare et autre **[23]**) vont jusquôà comparer le renforcement par des fibres au renforcement par armatures traditionnelles.

A. 4 Résistance à lôusure

La résistance à lôabrasion du béton de fibres nôest pas sensiblement augmentée.

Dôautre auteurs affirment quôaprès élimination de la laitance superficielle et mise à jour des fibres, la résistance est améliorée dôenviron 15 % **[24]**.

A. 5 Résistance aux agents extérieurs

La résistance du béton renforcé de fibres aux attaques du milieu ambiant, par exemple à l'action du gel, dépend de la qualité de la matrice et ne devrait pas être très différente de celle d'un béton ordinaire. Les fibres peuvent cependant réduire les dommages dus au gel car elles empêchent la fissuration. Pour obtenir une bonne résistance au gel et à la corrosion par le sel,

Il faut aussi s'assurer qu'il y a suffisamment d'air entraîné dans le mélange **[24]**.

A. 6 Retrait

Les paramètres dôun béton subissent constamment des modifications au cours de sa durée de vie. Lôhydratation du ciment se poursuit pendant longtemps, augmentant les résistances

mécaniques et les modules de déformation. Suivant lœétat de conservation, le milieu extérieur, la température, les charges appliquées, le béton sera le siège de transformations diverses :

- variations dimensionnelles (retrait, gonflement)
- fluage sous charge instantanée.

Ces variations peuvent avoir lieu simultanément ou successivement et combiner leurs effets. On peut dire que :

- les bétons de fibres se stabilisent plus rapidement que les bétons sans fibres.
- les déformations du retrait sont généralement plus petites pour les bétons de fibres comparées à celles du béton normal.
- la forme et la quantité des fibres semblent être les facteurs les plus importants qui gouvernent le retrait. **[22-24]**. Les fibres courtes sont plus efficaces contre le retrait **[24]**.
- le béton de fibres aurait une structure de matrice contenant plus de capillaires saturés en eau, et par contre des pores contenant moins dœeau.

Ceci serait la cause principale du retrait différentiel observé entre témoin et composite.

- Lœaction mécanique des fibres sur le retrait est faible
- Les capillaires saturés se positionnent à lœinterface fibre ï matrice, la surface développée des fibres intervient et fait que plus elle est importante plus le retrait augmente.
- Les fibres accélèrent un peu le départ de lœeau, le retrait des mortiers est diminué, cela est vérifié pour le retrait après 24 heures.
- Le retrait du béton de fibres diminue en fonction du temps **[25][26]**.

I.3.2.3.4 Domaines dœapplication

Par ses propres caractéristiques (renforcement homogène du béton, économie de la main dœî uvre, simplicité de mise en î uvre, comportement lors de la fissuration, sa ductilité), les bétons de fibres trouvent leur application dans plusieurs domaines **[27]**. Parmi ces domaines on cite :

- Bâtiment.
- Travaux publics.
- Génie-civil autre que le bâtiment et travaux publics.
- En dehors du génie-civil.
- Cas particulier des bétons à ultra-hautes performances fibrés.

On a cite ces bétons a titre dœexemple, mais il ya plus que ces derniers qui sont par exemple:

ÅLe béton fibre a ultra hautes performances (**BFUHP**).

Åbéton caverneux drainant (**BCD**).

Åbéton a base des déchets (métalliques, plastiques).

Parmi ces bétons on sœintéresse au béton de déchets plastiques, **donc quelle est le béton de déchets plastiques et quelles sont leurs caractéristiques ?**

I .3.2.4 béton de déchets plastiques

I .3.2.4.1 Définition

Le béton de déchets plastique est obtenu en incorporant dans la masse de béton des éléments qui sont les déchets plastiques composante de forme et de nature diverses **[28].**

I.3.2.4.2 Propriétés des bétons de déchets plastiques

A. Béton frais

A.1 Lœouvrabilité

Manaseer Al.et al **[29]** ont montré que lœouvrabilité des bétons à base des déchets plastiques est en mesure de diminuer brusquement avec l'augmentation du rapport de déchets plastiques. Cette réduction peut être attribuée au fait que quelques particules sont angulaires et d'autres ont des formes non-uniformes ayant pour résultat moins de fluidité.

A.2 La densité

L'utilisation de déchets plastique pour chaque âge mène à une réduction de la densité sèche de tous les mélanges avec l'augmentation du rapport en déchets plastique parce que la densité du plastique est inférieure à celle du sable **[29]**.

A.3 L'air occlus

Les études qui sont réalisées sur les bétons à base des déchets plastiques montrent que le contenu d'air a diminué avec l'inclusion des déchets plastiques,

Ochi T, Okubo S, Fukui K **[30]** montrent que le béton contenus des déchets plastiques est moins poreux et bien compacte par rapport au béton normal.

B. Béton durci

B.1 Resistance à la compression

Jo et autres **[31]** montre que la résistance à la compression du béton de déchets plastique (PET) est plus élevé par rapport a un béton sans déchets plastique.

Mahdi et autres **[32]** étudier également l'utilisation de déchets plastiques de PET, pour produire une résine de polyester se référant que l'utilisation de déchets de PET a un effet positif sur la résistance à la compression du béton de polymère.

DARDARE **[23]** a trouvé que l'incorporation de fibres de polypropylène dans le béton apporte une légère amélioration lorsque le pourcentage de fibres est faible et une diminution pour de forts pourcentages.

B.2 Résistance à la traction par flexion

Jo et autres **[31]** mentionné que le béton de polymère fait avec déchets de PET de forme de résine de polyester peut réaliser une hausse dans la résistance à la traction.

Ochi et autres **[30]** mentionné que l'utilisation de fibres PET peut mener à une augmentation de résistance à la traction pour des remplacements de volume jusqu'à 1.5%.

B.3 Module d'élasticité

Jo et autres **[31]** ont étudié l'effet des bouteilles de téréphtalate de polyéthylène (PET) agrégat léger (WPLA) sur le module d'élasticité de béton. Mélange des proportions de béton ont été projetées de sorte que les rapports d'eau-ciment aient été 45%, 49%, et 53%, et les rapports de remplacement de WPLA étaient 0%, 25%, 50%, et 75% par le volume des granulats fins. Il

est clair que module d'élasticité des mélanges béton diminue avec l'augmentation du pourcentage des agrégats.

Marzouk et autres (2007) **[28]** ont également observé que les valeurs de module diminuent comme quantité de déchets plastique de PET augmenté. Par exemple, à un taux de substitution de 50%, une réduction de 50% du module d'élasticité a été notée.

Les résultats mis en évidence par différents chercheurs sur lœffet des déchets plastique sur la valeur de module d'élasticité montrent que le module dœélasticité va diminuer avec l'augmentation du contenu global en plastique dans le béton.

B.4 Résistance aux chocs

Cœst lœune des propriétés les plus importantes des bétons de déchets plastiques. Les chocs dits de corps mou, comme le choc dœun sac de sable sur une poutre se caractérisent par lœénergie quœils mettent en jeu. Cette énergie doit pouvoir être absorbée par lœélément soumis au choc. Les béton de déchets plastiques absorbent beaucoup dœénergie, donc résistent bien à ce genre de sollicitation **[31]**.

B.5 La dureté

Silva et autres **[34]** mentionné que la fibre recyclée de PET augmente les index de dureté des composés de ciment.

En outre Hannawi et autres **[35]** mentionné que ces déchets de PET et polycarbonate les composés de pertes ont un comportement absorbant d'énergie élevée même avec un contenu de déchets élevé. Les autre **[36]** types de relief utilisés d'auteurs (CHOYER) la fibre rapportant que le béton de fibre permet un débattement d'mi-envergure c'est 4 fois plus haut une fois comparée au béton sans fibre. Toujours les investigations qui clarifient qui est le traitement avec les plus bas incidences sur l'environnement qui maximisent les caractéristiques de dureté de béton a base de déchets de PET sont le besoin.

B.6 Retrait

Le phénomène de retrait est un facteur très important dans la pratique. Il correspond à des variations dimensionnelles mettant en jeu des phénomènes physiques avant, pendant et après la prise des bétons. Lorsquôelles ne sont pas maîtrisées par le ferraillage ou la présence de joints, ces variations dimensionnelles entraînent souvent lôapparition de fissures précoces, dôouverture conséquente ce qui peut nuire à la durabilité du béton.

Nous nôallons pas nous étendre sur le retrait des matériaux à base cimentaire, un phénomène largement documenté par ailleurs, mais plutôt sur lôincidence des inclusions en déchets plastiques sur son amplitude et les conséquences qui en découlent.

Certains auteurs ont étudié lôinfluence des déchets plastiques sur le retrait du béton et leurs résultats montrent que le retrait du béton de déchets plastique est plus élevé que celui du béton de référence **[32]**.

B.7 Perméabilité

Dôaprès les auteurs, le coefficient de perméabilité à lôair diminue avec lôaugmentation du taux des déchets plastique, alors que la porosité augmente. Ils justifient ces constatations a priori contradictoires par le fait que le réseau poreux du composite incorporant des déchets plastique est plus discontinu. Cette conclusion de Marzouk, O.Y **[28]** peut être rapprochée des observations dôOchi T, Okubo S, Fukui K **[32]** qui, en étudiant des bétons constituent des déchets plastiques, ils ont aussi constaté que malgré une porosité élevée, le réseau des pores plus discontinu entraîne une perméabilité à lôair nettement plus faible **[31]**.

B. 8 Absorption d'eau

Sôagissant de lôabsorption dôeau, on trouve une convergence entre les résultats de Mahdi F **[32]** et Marzouk, O.Y **[28]**, mais avec des explications partiellement communes.

Dans les deux cas la capacité dôabsorption dôeau diminue avec le taux dôincorporation des déchets plastique ce que les premiers auteurs expliquent par le fait que les déchets plastique nôabsorbe pas lôeau et quôelle doit par ailleurs contourner un réseau poreux plus dense symbolisant ainsi une plus grande difficulté à se propager à lôintérieur du composite cimentaire.

Quand à Al-Manaseer , il évoque aussi la nature hydrophobe du déchet plastique et la dimension de l'auréole de transition qui n'est pas de taille à favoriser l'ascension capillaire.

B.9 Résistance au gel et dégel

La résistance au gel et dégel est aussi souvent utilisée comme un indicateur de durabilité des matériaux à base cimentaire. Quand la température descend sous le point de congélation, l'eau dans les pores et les capillaires, en se cristallisant, tend à occuper un volume plus important.

Cette expansion peut générer des contraintes telles qu'une fissuration peut se développer dans le composite.

En ce qui concerne la résistance au gel et dégel du béton traditionnel, le peut d'études réalisées semblent démontrer que la présence des déchets plastique directement ou indirectement par le biais du réseau poreux induit, limite les effets préjudiciables généralement observés.

Al-Manaseer rapporte les résultats de Marzouk, O.Y., Dheilly, R.M., Queneudec et al. **[28]** Jo B **[31]**selon lesquels les bétons contenant 10% et 15% en masse de déchets plastique dont la dimension est de 2 à 6 mm ont un facteur de durabilité 60% plus élevé que celui du béton normal après 300 cycles de gel-dégel.

B.10 Résistance au feu

Peu d'études réalisées sur cette propriété laisse penser que l'incorporation de déchets en plastiques est favorable à la résistance au feu du composite incorporant des plastiques.

Les observations montrent que les déchets plastiques fondent lorsque les températures atteignent 140 à 170 °C. Elles créent ainsi en fondant un réseau tridimensionnel constitué d'une multitude de petits capillaires connectés (réseaux de drains) susceptibles de permettre à la vapeur d'eau de s'échapper évitant ainsi les surpressions. Ce phénomène constitue un moyen efficace pour limiter l'écaillage de surface d'un béton soumis à une élévation de température excessive **[33]**.

I .3.2.4.3 Domaine dôapplication

Le béton de déchets plastiques est utilisé dans différent domaine on peut city :

- Prévention de lôapparition de fissures dans le béton suite aux contractions plastiques et de séchage, (spécialement pour sols industriels et béton routière) par suite de l'augmentation de la résistance à la traction du béton vert.
- Augmentation de la ductilité du béton.
- Amélioration de la résistance à lôimpact, prévient les dégâts aux bords et coins.
- Diminution de dégâts pendant le transport du béton préfabriqué.
· Permet un décoffrage plus rapide suite à une cohésion améliorée.
- Augmentation de la densité de liquide et par conséquent une résistance améliorée au gel et dégel. La pénétration de sel de salage est entravée.
- Amélioration des caractéristiques anti-feu du béton; pas de giclement des parcelles du béton.
- Réduction d'une éventuelle dissociation prématurée du béton et, par voie de conséquence, de son dégorgement.
- Pieux de fondation.
- pieux précontraints.
-panneaux de revêtement, éléments flottants de débarcadères et amarres pour les marinas.
- matériaux de réparation des routes, couches de lest pour les tuyaux sous-marins.

I.4 Conclusion

Les déchets constituent un réel problème, inhérent à toute vie biologique et à toute activité industrielle, agricole ou urbaine, et à ce titre, la recherche de solutions est une vraie nécessité pour les collectivités. Le déchet est par définition «matière» et à ce titre la bio physicochimie, la mécanique et la thermique sont au premier chef sollicitées pour le traiter.

Cette matière nôest pas banale. Elle à une vie, elle a souvent muté au cours de son existence pour se retrouver dans les poubelles et les décharges. Avec une telle diversité moléculaire, quôil est nécessaire de trouver les moyens pour en extraire les fractions valorisables ou pour atténuer les capacités de nuisances.

Plusieurs types de déchets et de sous-produits peuvent être utilisés comme granulats. Le laitier de haut fourneau et les cendres volantes sont déjà exploités commercialement.

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.

Suivre les conclusions peut être fait baser sur les études effectuées par divers chercheurs :

1- les déchets plastiques peuvent être employés pour remplacer certaine quantité de sable dans un béton. Ceci contribue à réduire le poids spécifique du béton. Côest utile dans les applications exigeant le béton léger non roulement, tel que les panneaux utilisés dans les façades.
2. Les déchets plastiques présentent une meilleure résistance au cycle gel dégel, et au feu.
3. l'effet du rapport d'eau-ciment du développement de résistance n'est pas en avant dans le cas du béton en plastique. C'est en raison du fait que les déchets en plastique réduisent le lien force de béton. Par conséquent, l'échec du béton se produit en raison de l'échec du lien entre la pâte de ciment et les déchets de plastique.
4-utilisation de déchets en plastique aidés en gardant le refroidisseur intérieur, quand l'extérieur. la température est augmentée, par rapport au béton correspondant de commande.

Chapitre III

MATÉRIAUX ET ESSAIS

II.1 Introduction

Dans ce chapitre on présente les matériaux de construction utilisés pour la confection des bétons avec leurs caractéristiques et les essais faites au laboratoire, comme pour tous les bétons, la formulation doit être définie avec le plus grand soin et les grandeurs caractéristiques sont classiques et bien connues à savoir :

- la granularité ou le fuseau granulaire du squelette.
- les dosages en sable, gravier, ciment, eau.

La caractérisation des bétons de déchets plastiques (BDP), à l'état frais et à l'état durci, nécessite de définir les corps d'épreuve sur lesquels seront mesurées les grandeurs spécifiques du matériau et les techniques d'essai. Les différents essais faits au cours de ce travail sont :

Sur béton frais

- Ouvrabilité NF EN 12350-2 **[33], NA 431 [34]**, ASTM C 143-78 **[35].**
- Maniabilité NF P 15-452 **[36].**
- Air occlus NF EN 12350-7 **[37].**
- Densité NF EN 12350-6 **[38] , NA 436 [39].**

Sur béton durci

- Essai ultrasonique NF EN 12504-4 **[40]** , NA 5027 **[41]**.
- Compression sur éprouvettes cubiques 15x15x15 cm. NF EN 2390-3 **[42],** NA427 **[43]**.
- Traction par flexion sur éprouvette prismatique 7×7×28 NF P 18-407 **[44]**, NA428 **[45].** ASTM C293 **[46]**.
- Absorption d'eau par capillarité NF 13057 **[47]**.
- Retrait NF P 15-404 **[48].**

II. 2 Caractérisation des matériaux utilisés

Pour la confection des bétons, des matériaux locaux de la wilaya de Médéa sont utilisés et caractérisés expérimentalement au laboratoire de génie civil du Hall de Technologie de l'université de Médéa et suivant les normes en vigueur. Le choix des matériaux s'est porté, tout d'abord, sur leur disponibilité dans la région (Médéa) et surtout pour fabriquer un béton comparable à celui utilisé dans les chantiers.

II.2.1. Ciment

Un seul type de ciment est utilisé au cours de cette étude expérimentale **[49]**. Il s'agit d'un ciment portland composé CPJ-CEM II/A 42.5, produit par la cimenterie d'Oggaz (Mascara) dont l'ajout est le calcaire qui est conforme à la norme NA 442 **[50]**.

A-Définition

MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile. Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'aluminium (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 °C et 1500°C.

En présence d'eau à lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la norme NA 442 **[50]**, et à la norme NF P 15-301 **[51]**.

B-Analyse et caractérisation

- **Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker**

Le tableau **II.1** résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, selon la fiche technique du ciment (Annexes).

Tableau II.1 : L'Analyse chimique du ciment et composition du clinker.

Analyse chimique du ciment	Perte au feu (%)	7.00-9.50
	Résidus insolubles (%) (NA 5042)	1.50-3.00
	Teneur en sulfates SO_3 (%) (NA 5042)	2.00-2.50
	Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.90-2.30
	Teneur en chlorures (%) (NA 5042)	0.01-0.03
Composition hypothétique du clinker	Silicates tricalciques C_3S (%)	58.00-64.00
	Aluminates tricalciques C_3A (%)	6.00-8.00

- **Essais physiques**
  - **La finesse**

La finesse du ciment influe d'une façon considérable sur la résistance mécanique, la consistance normale et le temps de prise. La finesse est déterminée par la surface spécifique de Blaine. Elle est calculée en fonction du temps à l'aide du perméabilimètre de Blaine d'après la norme [NF P 15-476] **[52]**.

- **La consistance normale**

C'est la quantité d'eau de gâchage qu'il faut ajouter à une quantité de ciment préalablement pesée pour obtenir une pâte dite normale, elle est mesurée à l'aide de l'appareil de Vicat d'après la norme [NF P 15-431] **[53]**.

- **Le temps de prise**

Le début et la fin de prise sont déterminés à l'aide de l'aiguille de Vicat sur une pâte de consistance normale placée dans un moule tronconique d'après la norme NF P 15-473 **[54]**.

Le tableau **II.2** résume les résultats des essais physiques sur le ciment utilisé.

Tableau II.2 : Essai physiques sur ciment

Essais	Norme
Consistance normale de la pâte de ciment (%)	25.50-28.00
Retrait à 28 jours (mm/m)	< 1000
Expansion (mm)	0.50 – 2.50
Début de prise (min)	120 – 180
Fin de prise (min)	210-280

- **Essais mécaniques sur le ciment**

Selon la fiche technique les essais mécaniques sur le ciment ont été effectués conformément à la norme NF P 15-471 **[55]** sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm^3 à raison de trois éprouvettes rapportées à la moyenne par âge. Le mortier utilisé est un mortier normalisé: 450 g de ciment, 1350 g de sable naturel et 225 g d'eau. Les résultats obtenus par cet essai sont acceptables pour la confection d'un béton et sont résumés dans le tableau **II.3**.

Tableau II.3 : Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge

Ages (jour)	Résistance à la compression (MPa)
2	>20
28	≥ 42.5 et 62.5



Figure II.1 : Le ciment utilisé

II.2.2 Granulats

II.2.2.1 Sable

Un sable corrigé a été utilisé par la combinaison de sable: fin de Hassi Bahbah (37%) et grossier de Mont Guorno (63%) dont les propriétés physiques d'identification sont présentées au tableau **II.4**. Les figures **II.2** et **II.3** suivantes donne un aperçu sur la nature des sables utilisés.



Figure II.2: Sable fin de Hassi Bahbah.



Figure II.3 : Sable grossier de Mont Guorno.

Tableau II.4: Propriétés physiques d'identification des sables utilisés.

caractéristiques	Type de sable		Normes
	Roulé	concassé	
Provenance	Hassi Bahbah	Mont Guorno	
Classe granulaire	0/3	0/5	NF EN 933-1 [56]
Module de finesse	1.01	3.37	
Masse volumique absolue (g/cm3)	2.58	2.59	NF EN 1097-6 [57]
Masse volumique apparente (g/cm3)	1.42	1.48	NF EN 1097-3 [58]
Equivalent de sable (%)	61,13	41,31	NF EN 933-8 [59]
Taux d'absorption d'eau (%)	0.01	0.02	NF EN 1097-6 [57]

L'analyse granulométrique des deux sables utilisés et leur mélange est présenté sur la figure **II.4** suivante :

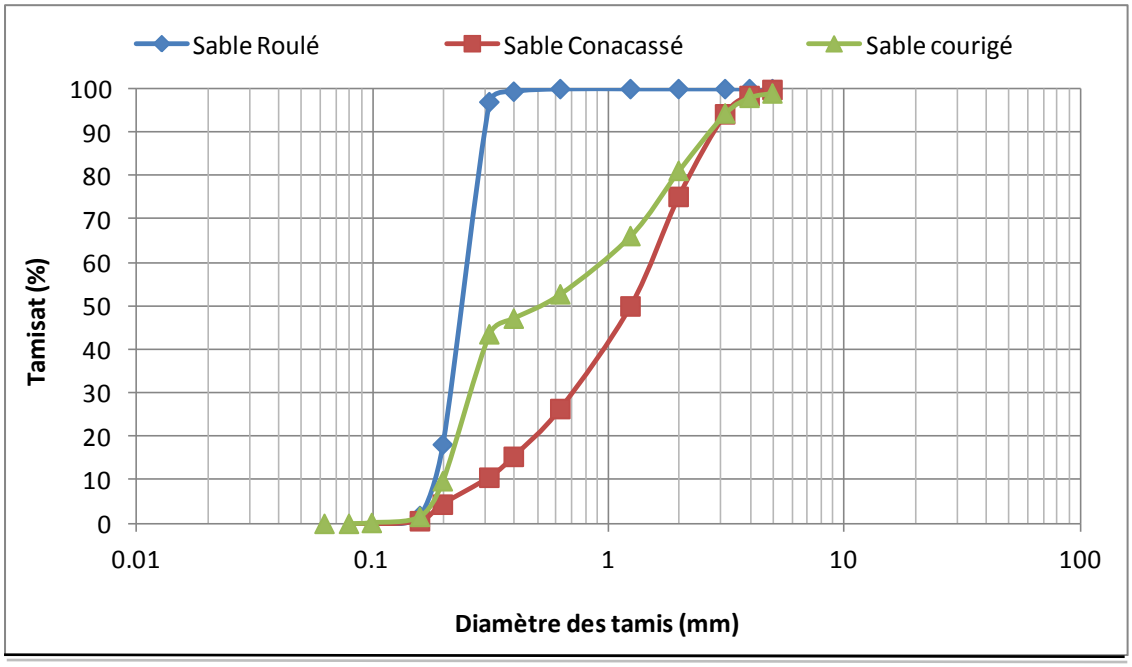


Figure II.4: Courbe granulométrique des sables utilisées et leur mélange.

II.2.2.2 Gravier

Le gravier utilisé est un gravier concassé à deux classes granulaires (3/8 & 8/15) (Fig. **II.5** et **II.6**) provenant de la carrière de Mont Guorno de la région de Berouaguia (Médéa) dont les propriétés physiques et mécaniques sont présentées au tableau **II.5** et l'analyse granulométrique est présentée dans la figure **II.7**.



Figure II.5: Gravier de Mont Guorno 3/8.



Figure II.6: Gravier de Mont Guorno 8/15.

Tableau II.5 : Propriétés physiques et mécaniques des graviers utilisés.

caractéristiques	Fraction 3/8	Fraction 8/15	Normes
Masse volumique absolue (g/cm3)	**2.5**	**2.53**	NF EN 1097-6 **[57]**
Masse volumique apparente (g/cm3)	**1.29**	**1.27**	NF EN 1097-3 **[58]**
Taux d'absorption d'eau (%)	**0.598**	**0.795**	NF EN 1097-6 **[57]**
Résistance aux chocs (Los-Angeles)	**24.10**	**26.18**	NF EN 1097-2 **[60]**

D'après les résultats du tableau **II.5**, il parait que les gros granulats sont de bonne qualité et peuvent être utilisés pour un béton.

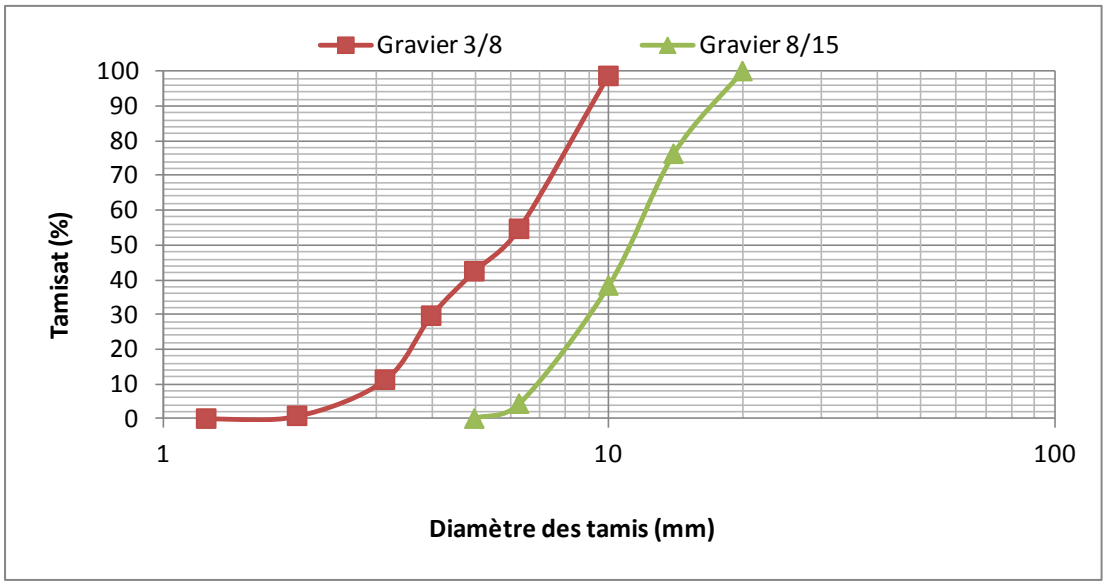


Figure II.7: Analyse granulométrie du gravier 3/8 et 8/15.

II.2. 3 Déchets plastiques

Dans la bibliographie, il existe une grande variété de déchets pour le renforcement des bétons. Dans ce travail on a utilisé trois types de déchets plastiques.

A.1 Déchets plastiques en forme de grain

Ce sont des déchets de forme grains (Fig. **II.8)**, obtenus par le recyclage des PEBD (polyéthylène bas densité).La densité est inférieure à celle de l'eau, et ils présentent une bonne résistance chimique.

Nous avons incorporé ces déchets dans le béton par substitution par rapport à la mase du sable avec des pourcentages. de 5 % ,10%,15% et 20% et on pose :



Figures II.8 Les déchets de grain plastique utilisés.

DGP : déchets de grain plastiques.

A.2 Déchets plastiques en forme des fibres (ondulées et rectilignes)

Ce sont des déchets en forme de fibres ondulés et rectilignes, ils sont obtenus par le recyclage des bouteilles plastiques **polyéthylène téréphtalate (PET).**

Les deux types de fibre ont des dimensions de 4 cm de longueur, et de diamètre de 0.5 mm que nous avons déterminé par l'appareille de pied à coulis.



Figure II.9 : Les fibres plastiques ondulées.

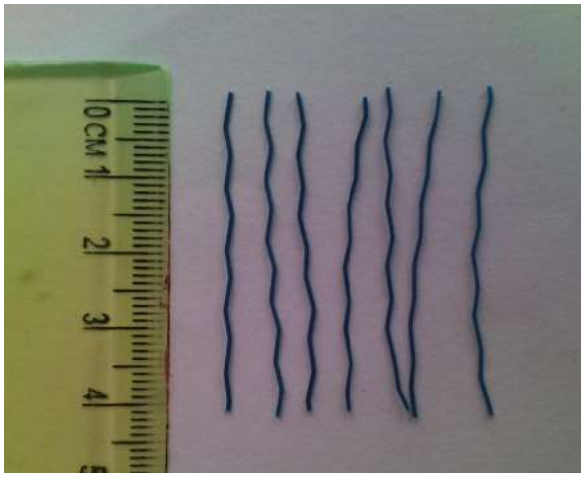


Figure II.10 : Les dimension des fibres plastiques ondulées.



Figures II.11: Les fibres plastiques rectilignes.



Figure II.12 : Les dimension des fibres plastiques rectiligne.

Nous avons incorporé ces déchets dans le béton par ajout par rapport a la masse du ciment avec des pourcentages de 0.5 %, 1%, 1.5% et 2% et on appel :

DFPO: Déchets Fibre plastiques ondulé**.**

DFPR : Déchets Fibre plastique rectiligne.

II.2. 4 Eau de gâchage

L'eau utilisée pour la fabrication du béton est celle du robinet considérée comme potable, exempte de toute impureté nuisible au béton et conforme à la norme NF EN 1008 **[61]**.

II.3 Formulation du béton

La méthode utilisée pour formuler notre béton est celle de Dreux – Gorisse, qui se base sur l'utilisation de courbes granulaires de référence (Fig. **II.13) [62]**.cette méthode est retenue pour sa simplicité à déterminer les différents composants du béton.

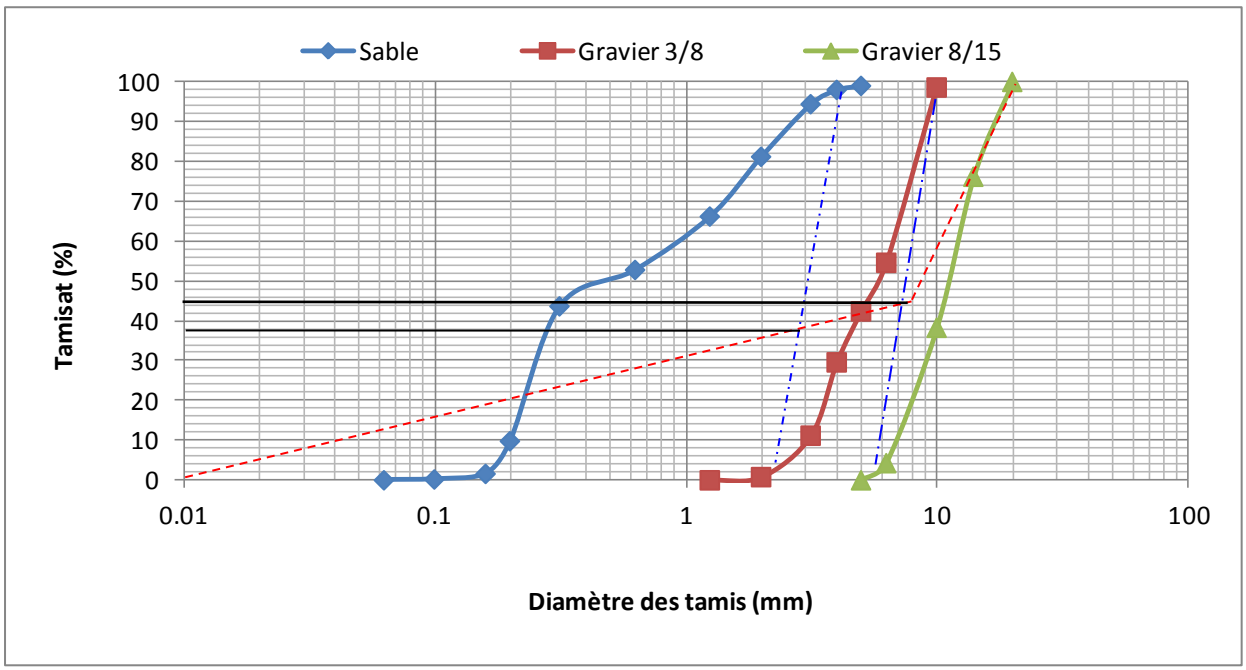


Figure II.13 : courbe de référence.

Le tableau suivant résume les différant compositions pour 1 m³ de chaque béton :

Tableau II.6: composition des bétons (pour 1 m³).

	B T	BDGP				BFPO				BFPR			
		5%	10%	15%	20%	0.5%	1%	1.5%	2%	0.5%	1%	1.5%	2%
Ciment (kg)	350												
Sable fins (kg)	241.5	231.4	218	206.71	194.43	241.5				241.5			
Sable gros (Kg)	409.6	391.5	370	349.88	329	409.65				409.65			
Gravier 3/8(Kg)	142.24												
Gravier 8/15(Kg)	990.36												
Eau (kg)	190												
E/C	0.5												
Déchets (kg)	0	11.68	23.48	35.17	70.34	6.88	13.77	20.7	27.54	6.68	13.3	20	26.6

Avec :

BDGP : Béton de grains plastiques.

BFPO : Béton de fibres plastiques ondulées.

BFPR : Béton de fibres plastiques rectilignes.

II.4 Techniques expérimentales

Nous allons exposer la méthodologie des expériences menées sur les différents échantillons confectionnés. Ces techniques expérimentales seront menées conformément aux normes en vigueur.

II.4.1 Mise en œuvre

Trois étapes constituent le mode de fabrication de béton de déchets plastiques.

- l'homogénéisation du mélange à sec (ciment et sable) pendant deux minutes environ à vitesse lente.
- introduction de l'eau de gâchage au cours du malaxage, ce qui a pour but de mouiller le mélange et de faciliter la mise en place, ceci pendant deux minutes à vitesse rapide.

- Les déchets plastiques progressivement en pluie au mélange lors de la première phase de malaxage à grande vitesse. Cette étape prendra deux minutes aussi.

L'homogénéisation est réalisée à l'aide d'un malaxeur à axe vertical d'une capacité de 40 litres, pour les essais de formulation et de caractérisation (Fig. **II.14**).



Fig. II.14: Malaxage du béton.

II.4.2 Béton frais

Les essais de caractérisation sur béton frais sont résumes dans le tableau **II.7** Suivant :

Tableau II.7 : Essais de caractérisation sur bétons frais.

Réf.	Mélanges	Essais	Appareil	Nombre de gâchées
1	BT	Ouvrabilité	Cône d'abrams	13
2	BDGP			
3	BFPO			
4	BFPR			
5	BT	Maniabilité	Maniabilimètre	13
6	BDGP			
7	BFPO			
8	BFPR			
9	BT	Air occlus	Aéromètre	13
10	BDGP			
11	BFPO			
12	BFPR			
13	BT	Densité	-	13
14	BDGP			
15	BFPO			
16	BFPR			
17	BT			

A. L'Ouvrabilité

• L'ouvrabilité a été mesurée selon la norme NF EN 12350-2 **[33],** NA 431 **[34]** ASTM C 143-78 **[35]** en utilisant le cône d'Abrams (Fig. **II.15**).



Figure II.15: Essai d'affaissement au cône d'Abrams.

B. La maniabilité

Il s'agit de déterminer le temps d'écoulement des mélanges, c'est à-dire de définir la maniabilité des bétons. Il s'agit donc de mesurer le temps d'écoulement du béton soumis à une vibration. La conduite de l'essai est la suivante : on introduit le béton dans la partie la plus grande délimitée par la cloison. Le béton est mis en place en 4 couches, chaque couche étant soumise à 6 coups au moyen de la tige de piquage. Quatre minutes après la fin du malaxage, la cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibrateur et déclenchement du chronomètre. Sous l'effet de la vibration, le béton s'écoule.

Le chronomètre est arrêté quand le béton atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier.

Le temps **t** mis par le béton pour s'écouler caractérise sa consistance. Ce temps sera d'autant plus court que le béton sera plus fluide et plus maniable.

Dans notre cas, nous avons utilisé un maniabilimètre LCPC (Fig. **II.16**) pouvant contenir une capacité de trente litres pour avoir une information plus représentative du comportement rhéologique du béton frais, surtout dans le cas de l'utilisation de fibres industrialisées. L'essai de mesure du temps d'écoulement a été mené conformément à la norme NF P 15-452 **[36]** (Norme utilisée pour le cas béton).

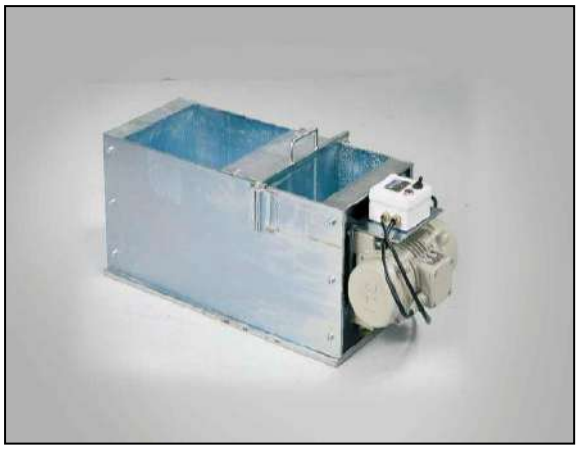


Figure II.16 : Maniabilimètre à béton.



Figure II.17 : Mesure du temps d'écoulement.

C. L'air occlus NF EN 12350-7 **[37]**

L'air occlus est le volume d'air relatif qui restera piégé dans le béton, même après la mise en œuvre. Pour réaliser un béton le plus compact possible, il faut diminuer le volume d'eau sans augmenter le volume d'air occlus et par conséquent sans diminuer la maniabilité du mélange. Il est possible d'évaluer la quantité d'air enfermée lors de remplissage d'un volume en exploitant un volume de référence cylindrique.



Figure II.18: Aéromètre à béton.

Nous avons utilisé pour cela un aéromètre de huit litres modèle« CONTROLS » (Fig. **II. 18**).

On commence par remplir la chambre inférieure de l'appareil, sur trois couches égales tout en vibrant à chaque fois. On fixe ensuite la chambre supérieure, on injecte de l'eau à l'aide d'un tube dans le premier robinet.

Le deuxième est ouvert. Quand l'eau commence à sortir par ce dernier, on ferme les deux robinets et on applique une pression en actionnant la pompe manuelle intégrée jusqu'à ce que l'aiguille du manomètre de l'appareil indique la valeur de référence 0 ٪ On ouvre la valve qui sépare les volumes des deux chambres (supérieure et inférieure), le mélange est alors comprimé et le pourcentage d'air occlus est directement indiqué par l'aiguille du manomètre.

D. La densité

• La masse volumique du béton a été mesurée selon la norme NF EN 12350-6 **[38],** NA436 **[39],** (Fig. **II.19**).



Figure II.19: Mesure de la densité du béton.

E. Coulage et vibration

Les différents types de bétons sont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire.

Le béton a été coulé dans des moules métalliques de forme cubique de 15 cm d'arête conformément à la norme NF EN 12390-2 **[63]**.

Le serrage des éprouvettes a été réalisé par piquage ensuite par une légère vibration manuelle comme présenté sur la figure **II.20** suivante.



Figure II.20 : Fabrication des éprouvettes.

F. Mode de conservation

Nous avons conservé les éprouvettes dans leurs moules pendant les premières 24 heures dans une ambiance à 20°C {2 de température pour une hygrométrie de 55%}.

Après démoulage, elles sont conservées dans la même chambre de conservation jusqu'au moment de la réalisation des essais. Ces derniers se font à 7 jours et à 28 jours.

Juste après la confection, toutes les éprouvettes ont été couvertes afin d'éviter le risque d'évaporation excessive et le retrait plastique. Après 24 heures de la confection, les éprouvettes ont été démoulées et conservées selon deux modes différents :

à l'air libre d'un climat moyen (laboratoire) (Fig. **II.21**) et dans l'eau à 20°C ± 2°C (Fig. **II.22**).



Figure II.21 : Conservation des éprouvettes à l'air libre.



Figure II.22: Conservation des éprouvettes dans l'eau à 20°C ± 2°C.

Les échantillons conservés dans l'eau ont été séchés à l'atmosphère de laboratoire pendant environ 24 heures avant l'âge d'essai et jusqu'à poids constant.

II.4.3. Béton durcis

Les essais de caractérisation sur béton durci sont résumes dans le tableau **II.8** suivant :

Tableau II.8 : Essais de caractérisation sur bétons durcis.

Réf.	Mélanges	Nombre d'éprouvette	Dimension (m^3)	Age	Types d'essai
1	BT	36	15x15x15	3, 7et 28 Jours	Compression
2	BGP				
3	BFPO				
4	BFPR				
5	BT	48	7x7x28		Traction + Retrait
5	BGP				
6	BFPO				
7	BFPR				

A. Essai ultrasonique

Avant de procéder aux essais à l'ultrason, on a pris le soin de vérifier le bon fonctionnement par étalonnage de l'appareil en utilisant le barreau de calibrage (Fig. **II.23**).

Pour chaque éprouvette, les essais à l'ultrason ont été effectués en deux sens selon la méthode par transmission directe de telle façon que le sens de mesure du temps de transit soit perpendiculaire au sens de confection. Sur les faces opposées de l'éprouvette on a placé les deux transducteurs en interposant entre eux une couche mince de vaseline (Fig **II.24**), puis l'enregistrement du temps de transit en micro seconde est réalisé (Fig. **II.25**).



Figure II.23 : Étalonnage de l'ultrason à l'aide du barreau de calibrage.



Figure II.24: Graissage des faces d'éprouvette avec la vaseline.



Figure II.25: Mesure du temps de parcours des ondes ultrasonores.

Le résultat d'essai à l'ultrason correspondant à chaque éprouvette est la valeur médiane de deux mesures effectuées selon les deux sens, et par conséquent la vitesse des ultrasons calculée est exprimée à 0,01 km/s prés, selon la norme NF EN 12504-4 **[40]**, NA 5027 **[41].**

B. Résistance a la compression

L'essai de compression est mené sur des éprouvettes de forme cubique normalisées de 15 cm d'arrête (norme NF EN 12390-3 **[42]**, NA 427**[43]**) ASTM C39/C39M.

La vitesse de chargement est constante. La machine d'essai est une presse de force de classe « B » et d'une capacité maximale de 2000 KN conforme à la norme



Figure II.26 : Presse hydraulique (2000 kN).

NF P 18-412**[64]** (Fig. **II.25**).

Les éprouvettes sont conservées sans être déplacée pendant 24 heures. Après démoulage, les éprouvettes sont conservées jusqu'à réalisation des essais dans le même milieu ambiant. L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression. L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture. La conduite de l'essai est la suivante :

L'éprouvette, une fois rectifiée doit être centrée sur la presse d'essai avec une erreur inférieure à 1% de son diamètre. La mise en charge doit être effectuée à raison de 0.5 MPa avec une tolérance de {0.2 MPa. Pour des éprouvettes de 15x15x15 cm, cela signifie une montée en charge de 10 KN /s} 4 KN / s. La charge de rupture est la charge maximale enregistrée au cours de l'essai. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette.



L'éprouvette avant l'écrasement



L'éprouvette après l'écrasement

Figure II.27 : Essai de compression.

C. Résistance à la traction par flexion

Des éprouvettes prismatiques normalisées, de dimensions 7x7x28 cm ont été utilisés pour la détermination de la résistance à la traction. Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes NF P 18-411 **[44]** munie d'un banc de flexion 3 points (Fig. **II.27**).

Cet essai est homologué de norme NF P 18-407 **[50], (**NA 428) **[45],** ASTM C293 **[46]**, et permet de déterminer la résistance à la traction par flexion du béton étudié. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique de côté a et de longueur 4a (7 x 7 x 28). Pour une charge totale P, le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est :

M = Pa /3 et la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure est f_{tj} = 3,6M / a



a/ L'éprouvette avant l'essai.



b/ L'éprouvette après l'essai.

Figure II.28 : Essai de traction par flexion.

D. Absorption d'eau

Dans cet essai de mesure d'absorption de l'eau de béton, on prend un morceau d'éprouvette de béton déjà sécher et on le pesé (m_0), après on introduire le dans un bac remplir de 1 cm d'eau (Fig. **II.28**), pendant chaque intervalle de temps (15 min, 30 min ,1 h, 2 h ,4h ,24h, on remesure les morceaux (m_i), le différent de poids c'est le poids de l'eau absorbé (m_i- m_0) (NE 13057) **[47]**.

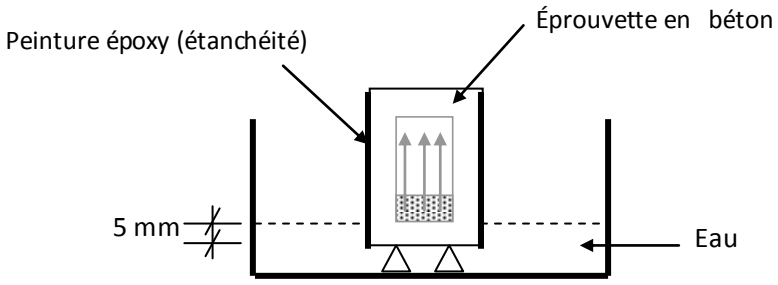


Figure II.29 : Absorption d'eau par succion capillaire.

E. Retrait



Figure II.30:Réctractomètre.

En l'absence de toute charge, le béton se déforme instantanément. Ces déformations sont dues essentiellement à une perte d'eau de gâchage par évaporation, qui se traduit par un rétrécissement des éléments en béton.

Le retrait dépend non seulement des conditions de conservation (humidité, température) mais dépend aussi des constituants du béton. Les mesures du retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques (7x7x28cm) conformément à la norme NF P 15-404 **[48].**

Ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24 h, placées dans un réctractomètre (Fig. **II.29**) munis d'un comparateur qui permet la mesurer du retrait à tout moment à cours terme et moyenne terme (du 1j jusqu'a 28 jours) La conservation des éprouvettes est faite à l'air libre dans le laboratoire à une température de 25 à 30°C.

E.1 Mesure des variations de longueur



Figure II.31 : Etalonnage de l'appareil.

La mesure a lieu, l'axe longitudinal de l'éprouvette étant vertical. Si, d'une mesure à l'autre, la variation de longueur d'une des 3 éprouvettes dépasse de plus de 0.03mm celle de l'éprouvette ayant la variation la plus voisine, il y a lieu d'en rechercher la cause (poussière, mauvais contact de scellement des plots, etc.).Et si elle ne peut être éliminée, l'éprouvette doit être rebutée.

Avant chaque sérié de mesures, l'appareil est étalonné avec une tige de métal de 280 mm de longueur et dont les extrémités reproduisent la forme des plots de l'éprouvette (la tige est réalisée en métal Invar ou protégée contre les variations de température qu'elle est appelée à subir au cours des manipulations).même métal que l'appareil (Fig. **II.30**).

E.2 Mesure des variations de masse

Si, en plus de retrait, on désire mesurer la variation de masse, pesé à 0.1g prés l'éprouvette à chacun des temps ou est effectuée une mesure de longueur.

E.3 Expression des résultats

Pour chaque éprouvette ; sont calculés les rapports:

ΔL : Variation de longueur par apport à la longueur origine,

L_0 : Longueur de base, prise égale à 280mm.

ΔM : Variation de masse par apport à la masse au moment du démoulage,

M : Masse de l'éprouvette au moment du démoulage.

Le compte rendu donne les valeurs de ces rapports pour les différents âges et pour les différentes éprouvettes mesurées. Les moyennes arithmétiques de ces 3 valeurs à un âge déterminé caractérisent la valeur du retrait et celle du gonflement à cet âge de l'échantillon (éventuellement, de la variation de masse).

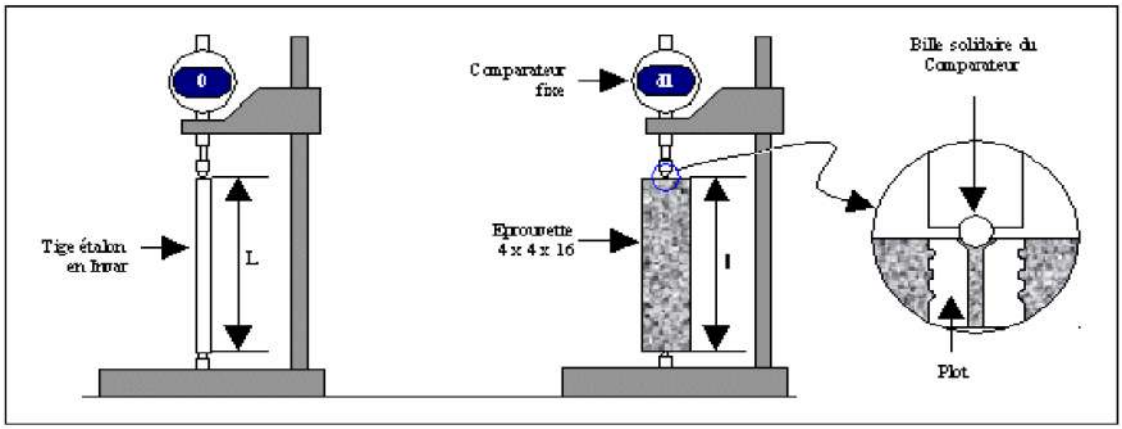


Figure II.32 : Appareillage pour la mesure du retrait.

E.4 Conduite de l'essai

Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en Invar de longueur L = 280 mm. Soit dl(t) la valeur lue sur le comparateur au temps t; l'éprouvette a une longueur au temps considéré:

$$l = L + dl(t)$$

Soit l (t_0) la longueur de l'éprouvette au temps t_0 choisi d'origine. En général, cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps t sera:

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0)$$

La variation relative de longueur est généralement désignée par ε et a pour expression:

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L}$$

Δ L (t) est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même moule.

Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air ΔL (t) est généralement négatif et l'on parle alors de retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau, Δl(t) peut être positif: il y a alors gonflement).

II.4.4 Variables étudiées

Les variables d'étude utilisés au cours de ce travail sont résumés dans la figure **II.32** suivante :

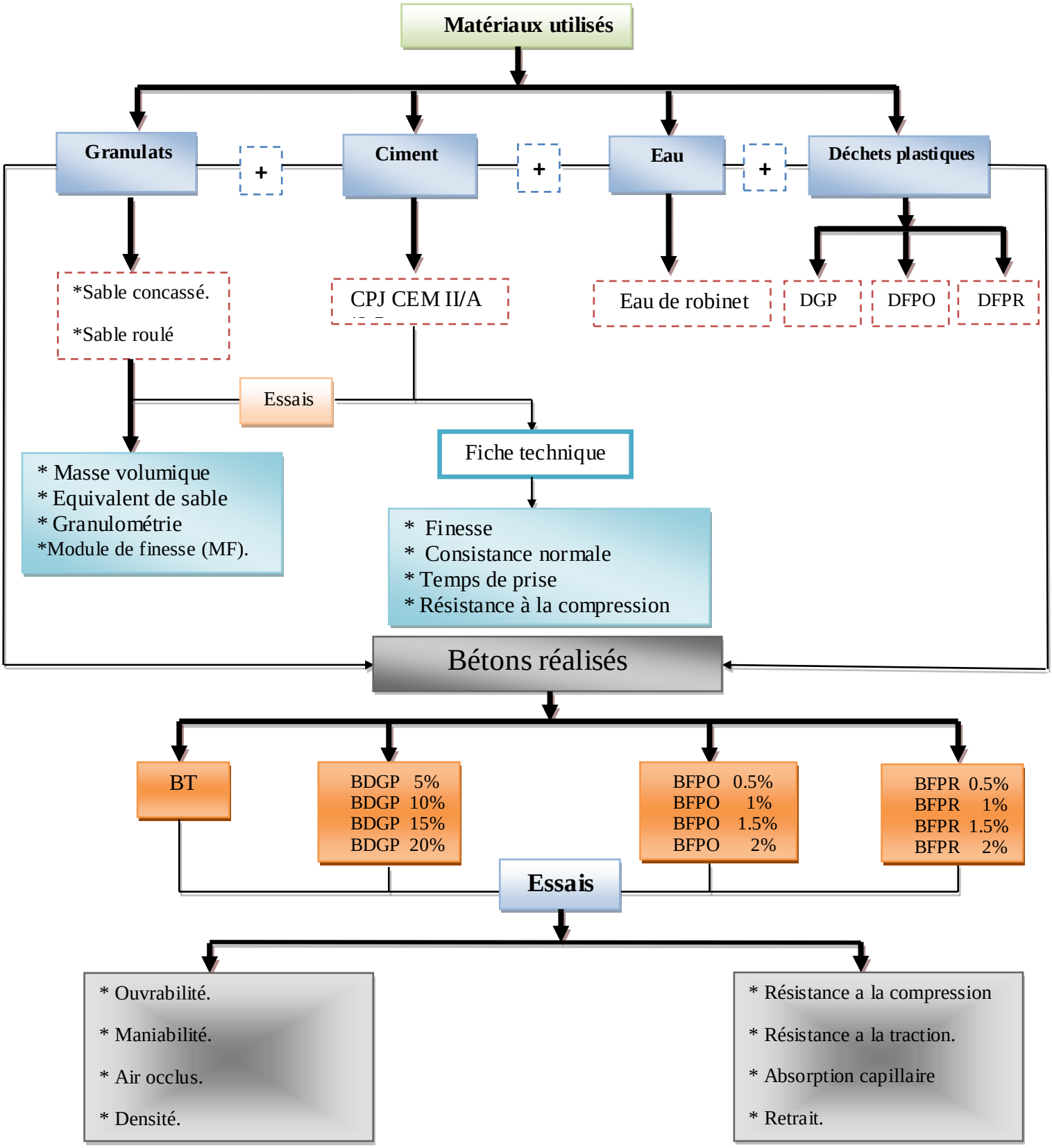


Figure II.33 : Variables étudiées.

Chapitre III

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

III.1 Introduction

Les résultats des différents essais faits sur béton frais et durci sont rassemblés ci-après et les valeurs données sont les moyennes arithmétiques des trois résultats d'essais.

III.2 Béton frais

III.2.1 Ouvrabilité

Les résultats sont présentés sur un histogramme **(**Fig. **III.1** et **III.2)** qui permettent de comparer les valeurs d'une catégorie à l'autre.

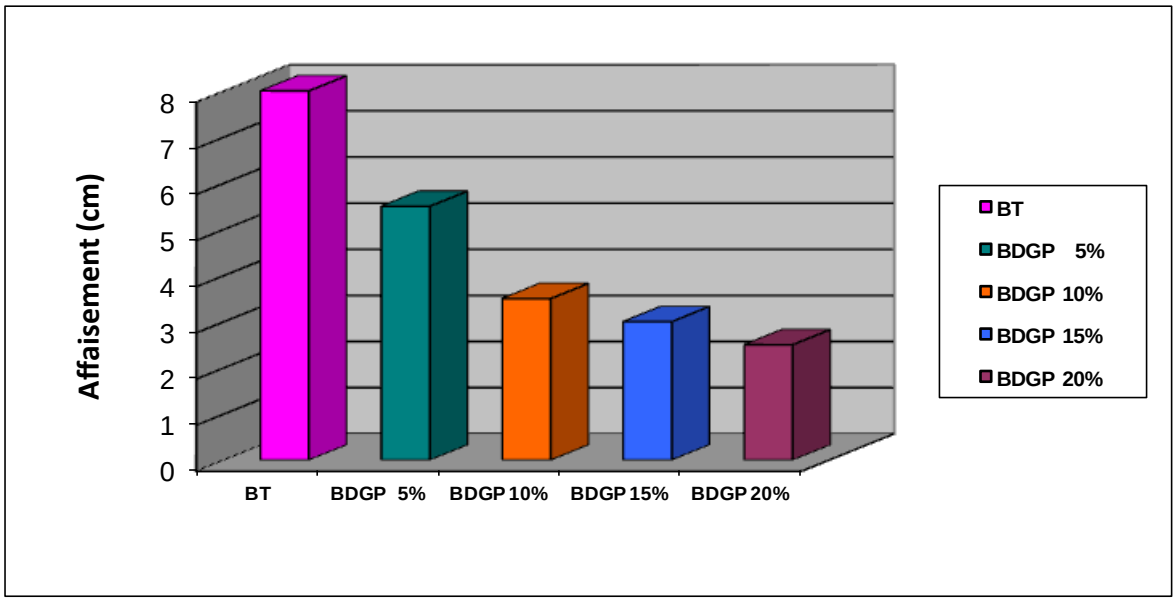


Figure III.1 : L'affaissement de béton à base des déchets de grains plastiques.

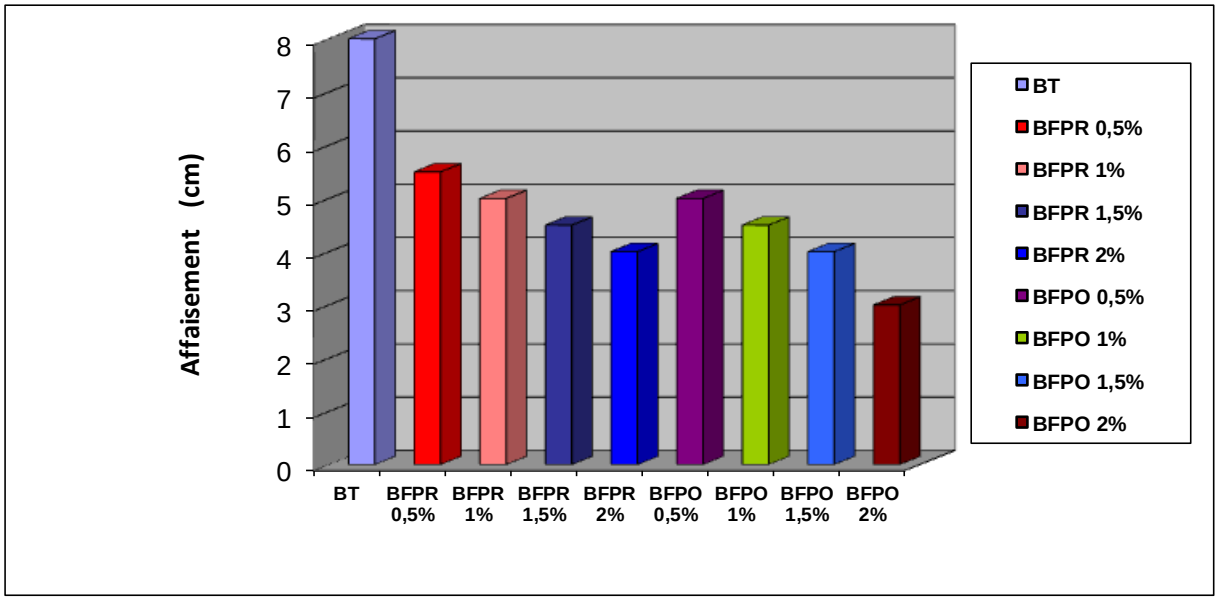


Figure III.2 : L'affaissement de béton réalisé avec des déchets de fibres plastiques.

D'après les figures (**III.1** et **III.2)** suivants on constate que l'affaissement du béton à base de déchets plastiques, quelque soit la forme de déchets, est plus petit que celle du béton témoin et qu'elle diminue en fonction du pourcentage d'ajout en déchets et cela pour les trois types de forme utilisés. La dégression est estimée à (37 à 75%) pour le cas du béton à base de déchets de grains et de (37 à 62%) pour le béton à base de déchets fibres. Cette chute en affaissement est semble être due à l'augmentation de la compacité du squelette granulaire du béton suit à la forme et les déchets utilisés.

III.2.2 Maniabilité

De la même façon, la maniabilité des déférents bétons est illustrée dans les figures (**III.3** et **III.4**) suivantes :

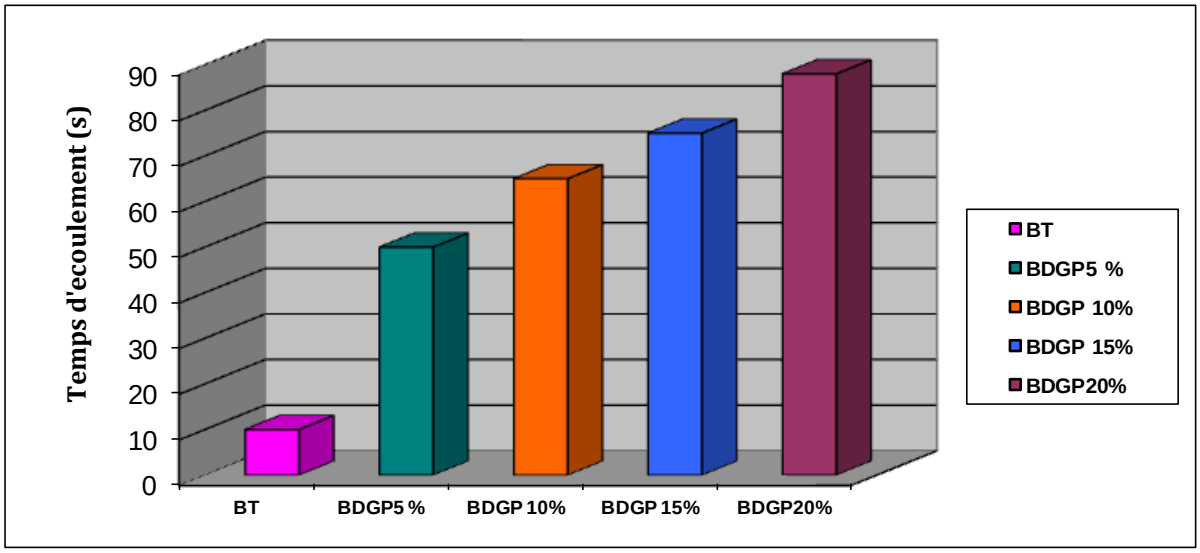


Figure III.3 : Temps d'écoulement de béton réalisé avec des déchets de grains plastiques.

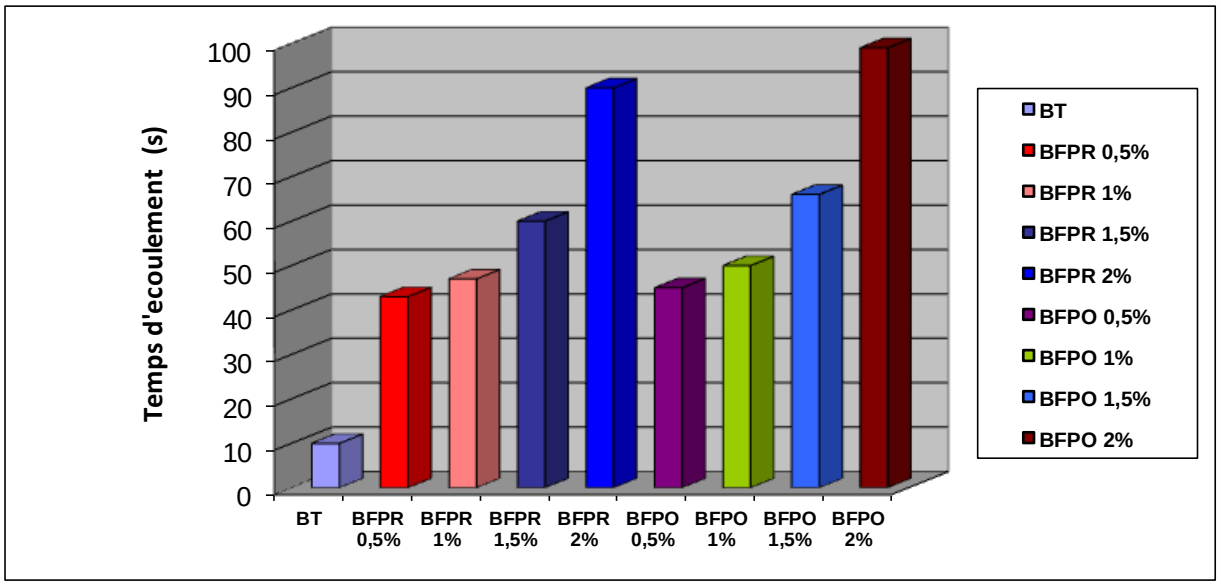


Figure III.4 : Temps d'écoulement de béton réalisé avec des déchets de fibres plastiques.

A partir de ces deux figures et comparativement à l'affaissement on peut dire que les deux types de fibre plastiques influent négativement sur l'ouvrabilité du béton, et on remarque que plus le pourcentage des déchets augmente, le temps d'écoulement du béton augment, ceci confirme la difficulté d'ouvrabilité du béton on présente des déchets plastiques.

III.2.3 Air occlus

Dans cet essai on a mesuré l'air occlus (en (%)) pour chaque gâché de béton réalisé, et les résultats obtenus sont résumés dans la figure **III.5** suivante. Ces résultats sont représentés sur un histogramme qui permet de comparer des valeurs d'une catégorie à l'autre.

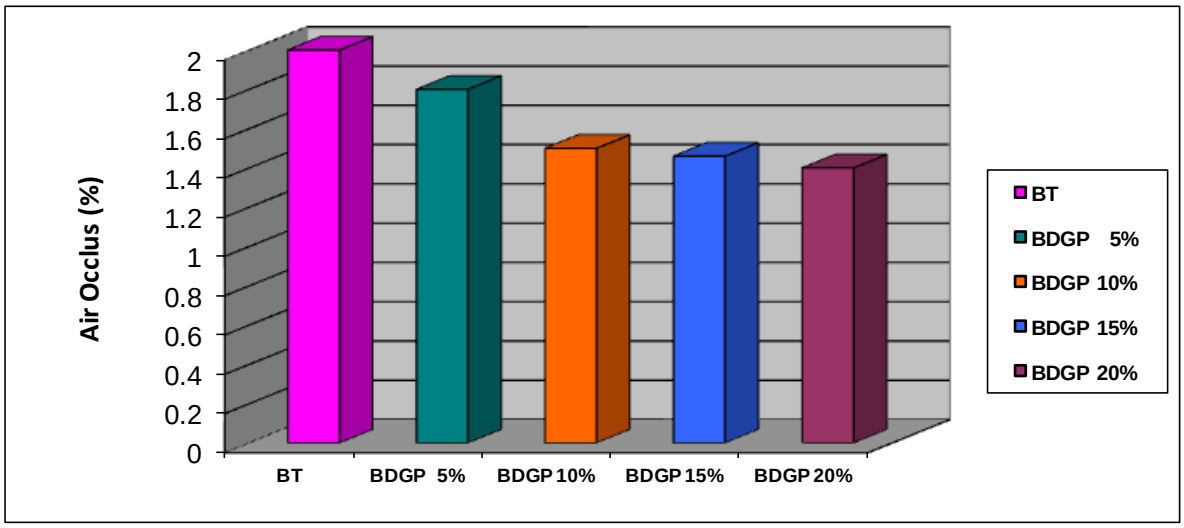


Figure III.5: Air occlus de béton à base de déchets de grains plastiques.

Selon la figure **III.5** les résultats obtenus montrent que les déchets de grains plastiques causent moins d'air occlus dans le béton. Cela explique que le béton à base de déchets de grains plastiques est bien compacté et par conséquence moins poreux par rapport au béton témoin. Ceci confirme encore une fois la difficulté d'ouvrabilité de ce type de béton.

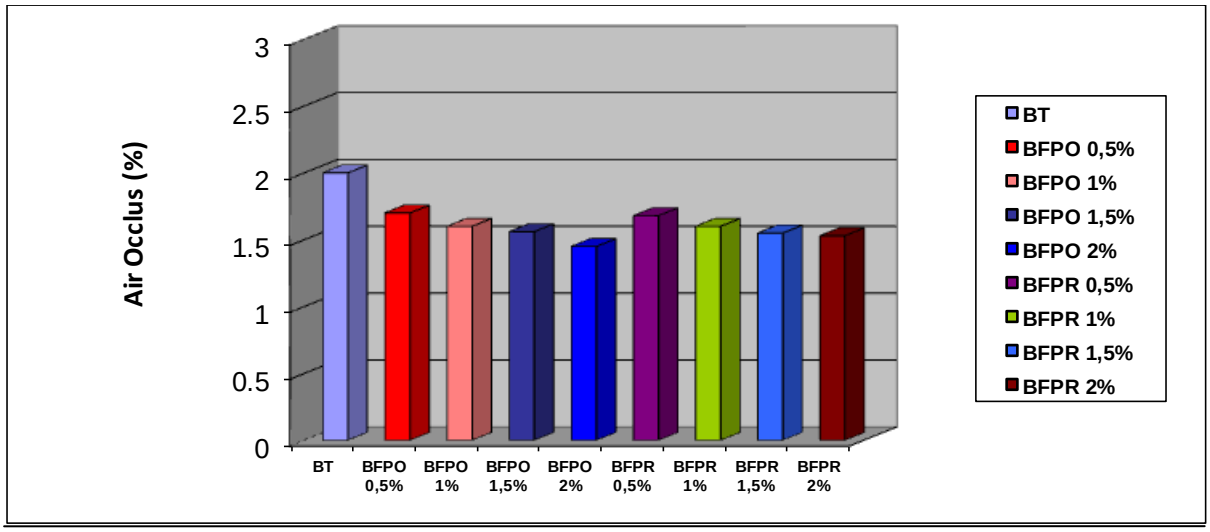


Figure.III.6: Air occlus des différents types de bétons de fibres plastiques.

D'après cette figure (**III. 6**) on remarque que les fibres plastiques de forme rectiligne causent plus d'air occlus dans le béton par rapport à l'autre type de fibre ondulé. Cela explique que le béton à base de ce type de fibre est moins compacté par rapport à l'autre, et par conséquence moins poreux. Aussi, la forme la fibre (du rectiligne à l'ondulé) influe sur l'ouvrabilité béton et ceci pour un même pourcentage de fibre utilisé.

III.2.4 Densité

La densité des différents bétons réalisés est résumée dans les deux figures suivantes **III.7 et III.8**

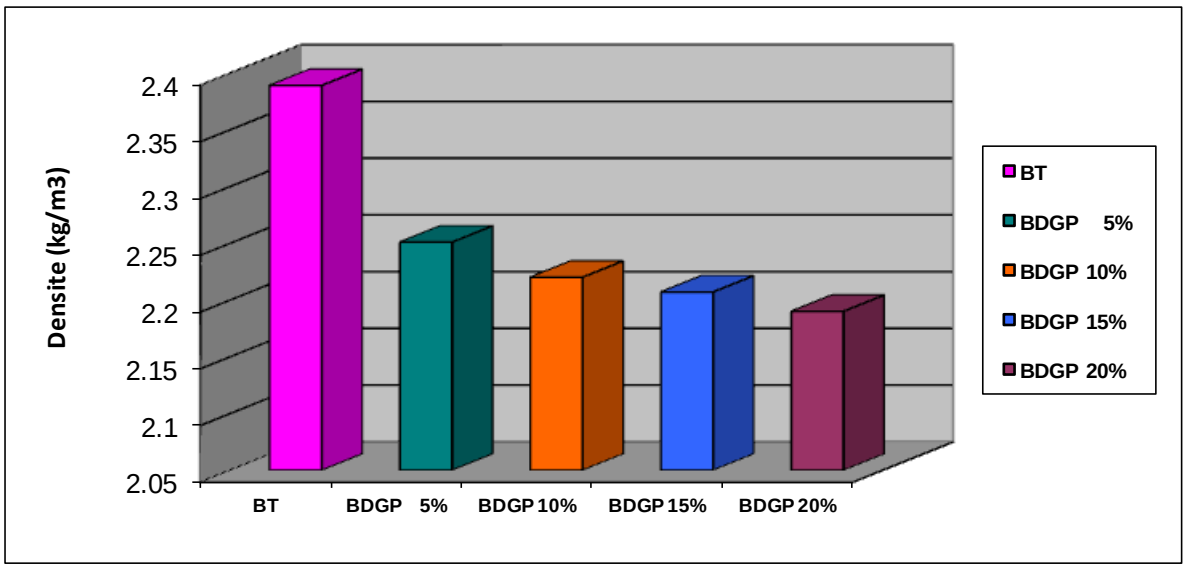


Figure III.7: Densité de béton réalisé avec des déchets de grains plastiques.

D'après la figure précédente **III.7** on remarque que la densité de béton à base des déchets de grains plastiques est plus faible que le béton témoin, ce résultat est logique et est attendu, puisque la densité du plastique est plus faible que celle du béton.

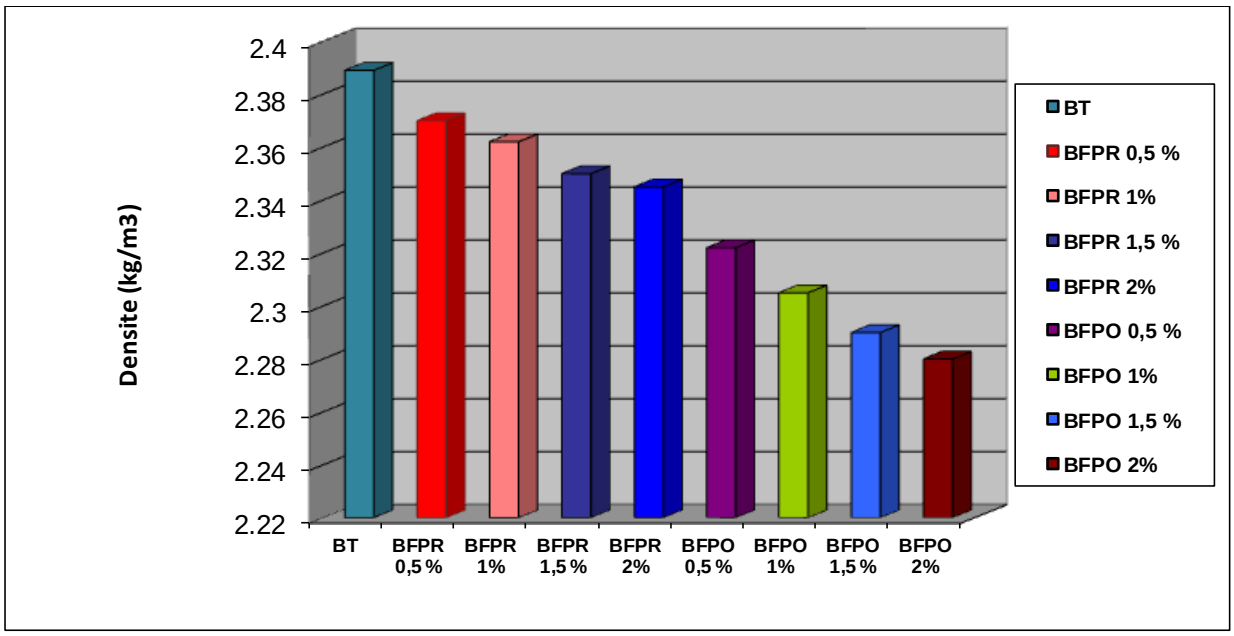


Figure III.8: Densité des différents bétons de fibres plastiques.

Selon cette figure **III.8,** on constate que la forme de la fibre (rectiligne ou ondulé) influe négativement sur la densité du béton. Le béton est plus léger à base des fibres plastiques de forme ondulé. Ceci est du son doute a la porosité successive induite par la forme de la fibre utilisé ce qui rend encore plus léger le béton.

III.3 Béton durci

De la même façon que le béton frais, les résultats des différents essais réalisés sur béton durci sont résumés comme suit :

III.3.1 Essais ultra sonique

Afin de gagner un essai en plus et de permettre aux utilisateurs du béton d'estimer les résistances avant écrasement on a réalisé sur les différents bétons un essai non destructive de type ultrasonique. Les résultats obtenus sont récapitulés dans les figures **III.9 et III.10.**

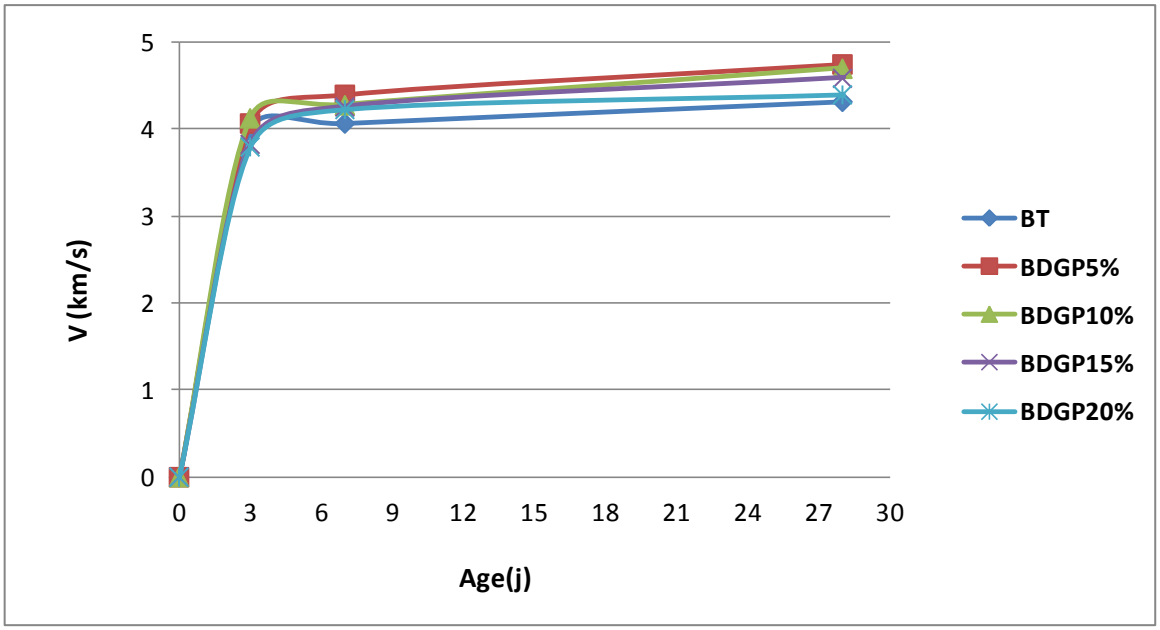


Figure III.9: Vitesse ultrasonique de béton réalisé avec des déchets de grains plastiques.

D'après les résultats obtenus dans la figure ci-dessus, on remarque que les bétons à base des déchets de grain plastiques ont des qualités meilleures par rapport au béton témoin, et par conséquence moins poreux

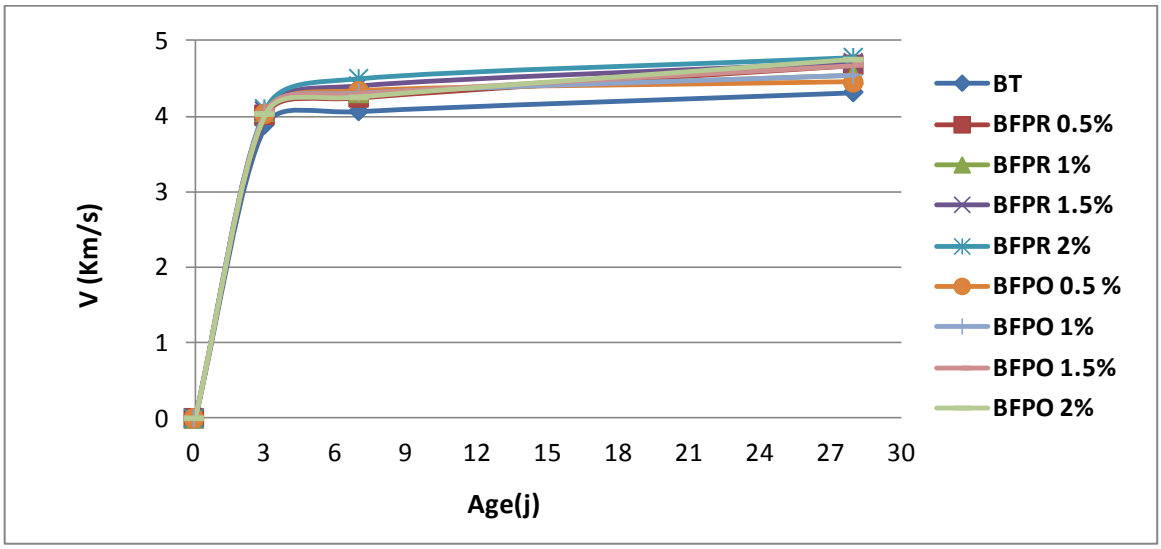


Figure III.10 : Vitesse ultrasonique de béton réalisé avec de fibres plastiques .

De la même façon que pour les déchets plastique de forme grain, les résultats obtenus montrent que touts les bétons de fibres plastiques (ondulé et rectiligne) sont des bétons de bonnes qualités par rapport au béton témoin, et ceci malgré la petite déférence enregistré estimé à 10 %.

III.3.2 Résistance à la compression

Pour chaque essai, les résultats est la moyenne de 3 mesures prisent sur 36 éprouvette à l'âge de 3,7et 28j avec des dosages en déchets de 5% ,10% ,15 % ,20% pour des bétons réalisé avec des déchets de grains plastiques, et de 0.5% ,1% ,1.5% ,2% pour des bétons avec des fibres plastiques (ondulé et rectiligne), les résultats sont illustrés dans les figures suivants :

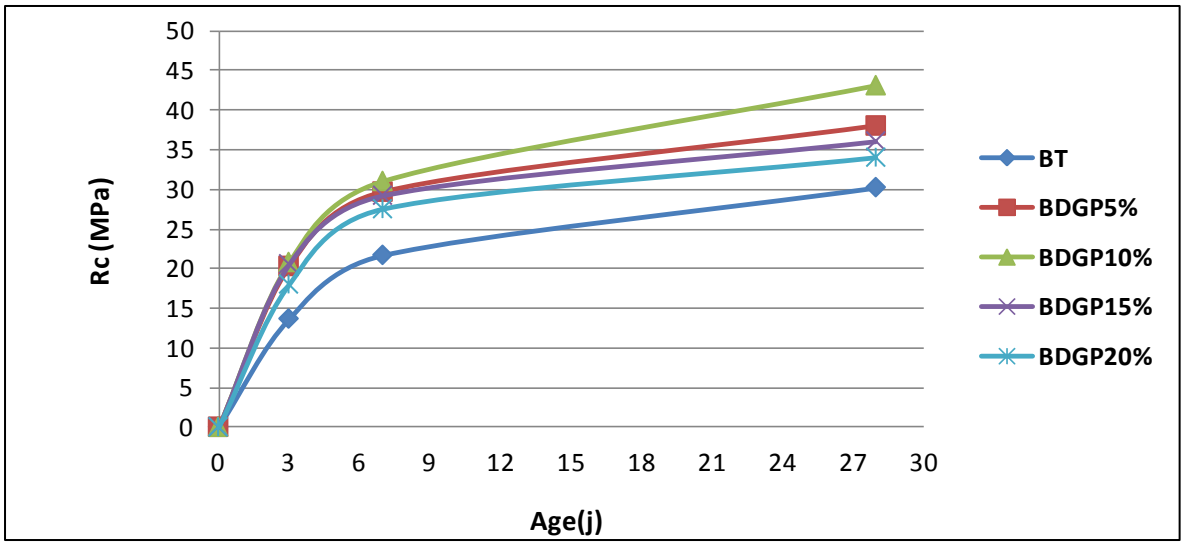


Figure III.11: Résistance à la compression des bétons à base des déchets de grains plastiques.

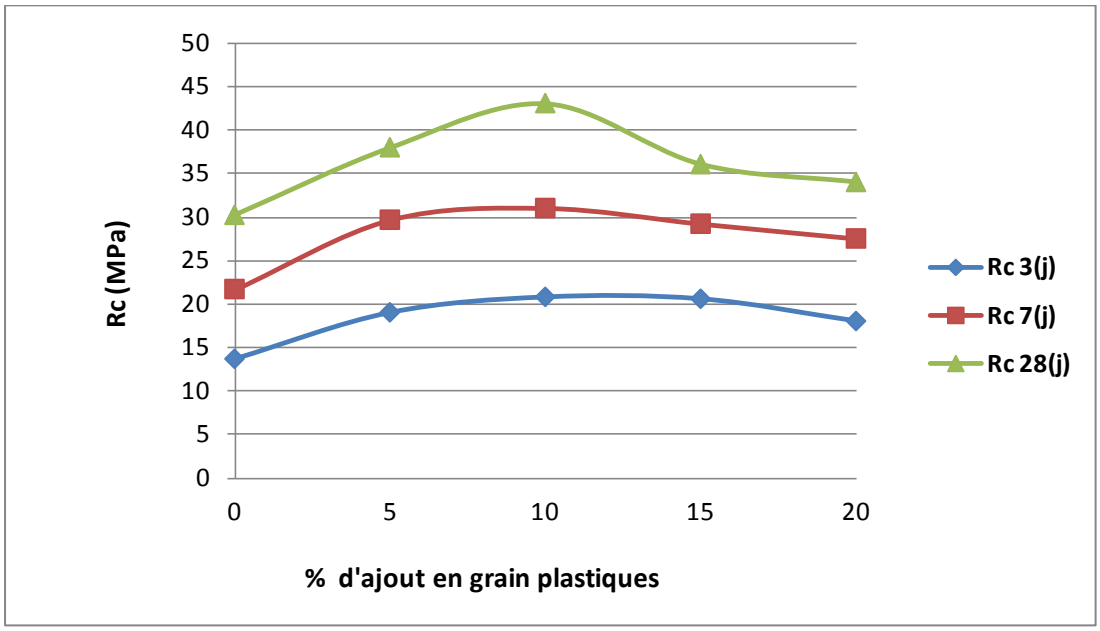


Figure III.12: Résistance à la compression en fonction du pourcentage d'ajout en grains plastiques.

D'après les deux figures **III.11**et **III.12** ci-dessus, on remarque que la cinétique de résistance du béton de grain plastiques est la même que celle de béton témoin et que le béton gagne en résistance en fonction du pourcentage d'ajout en grain plastiques mais passe par un optimum qui est de 10%.Le gain en résistance est estimé de 30 à 11% respectivement pour les pourcentage d'ajout en grains plastiques de 10 à 20%.Cette chute de résistance peut être est due à la porosité en plus apportée par le pourcentage élevé en grains plastiques.

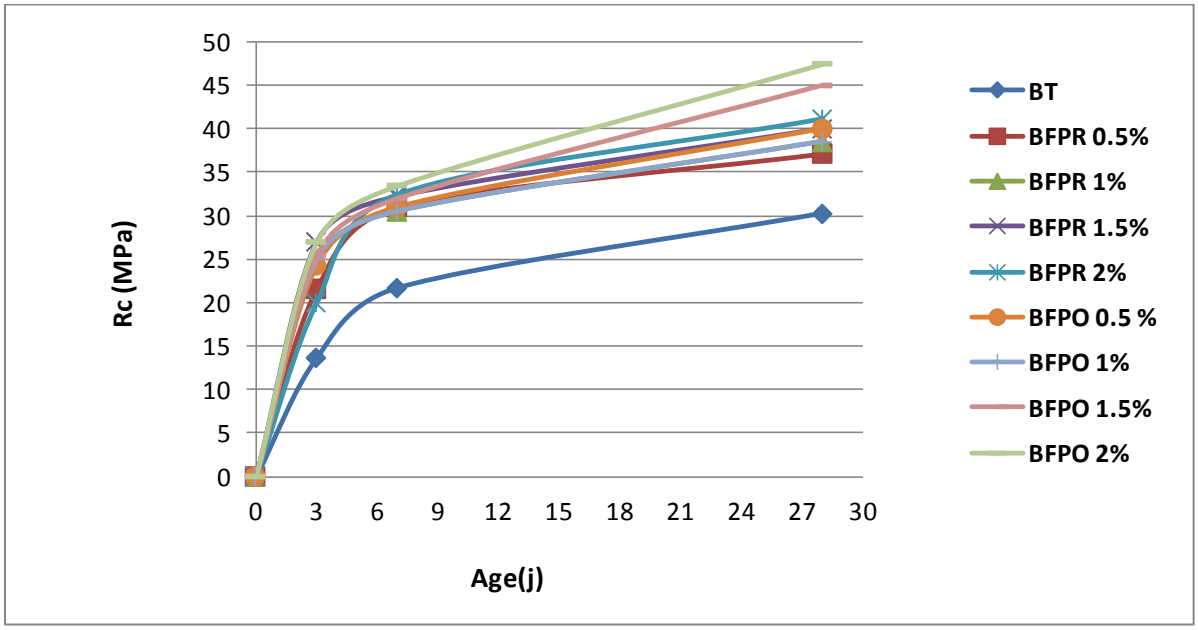


Figure III.13 : Résistance à la compression des bétons à base de fibres plastiques .

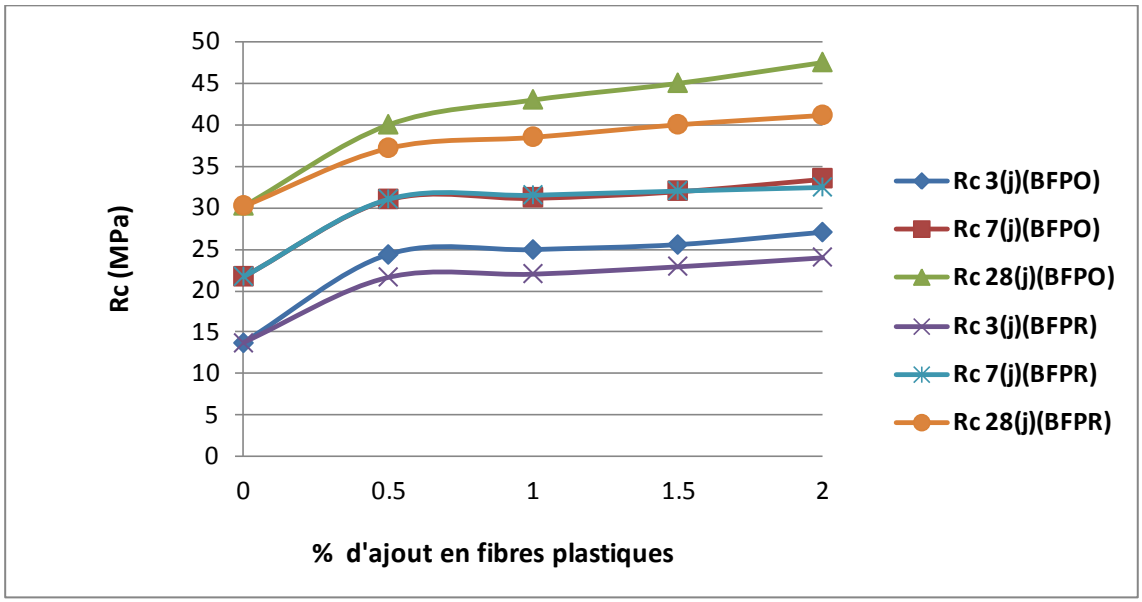


Figure III.14: Résistance à la compression en fonction du pourcentage d'ajout en fibres plastiques.

De la même façon que par le béton à base de grains plastiques, on remarque ici (Fig. **III.13** et **III.14)** que les fibres plastiques améliorent la résistance à la compression (60% de gain à 28 jours) et que la forme ondulée améliore plus que la forme rectiligne (40% de gain à 28 jours).

III.3.3 Résistance à la traction par flexion

La mesure de la résistance à la traction est importante surtout pour identifier l'adhérence ciment / grains. L'analyse des résultats est faite de la même façon que la résistance à la compression.

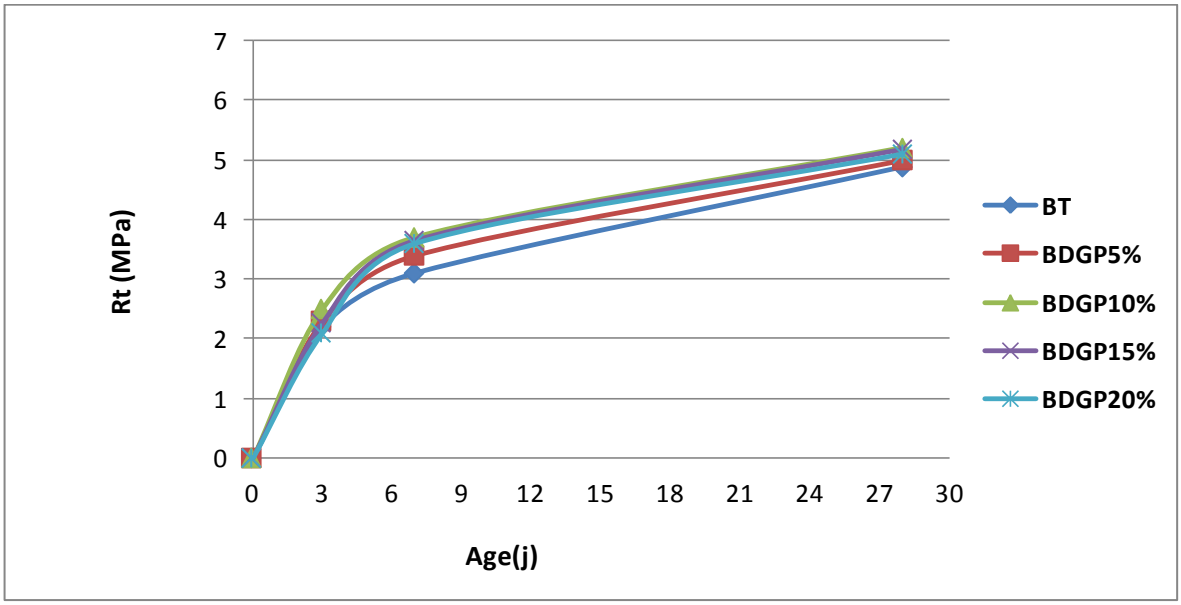


Figure III.15: Résistance à la traction de béton de grains plastiques.

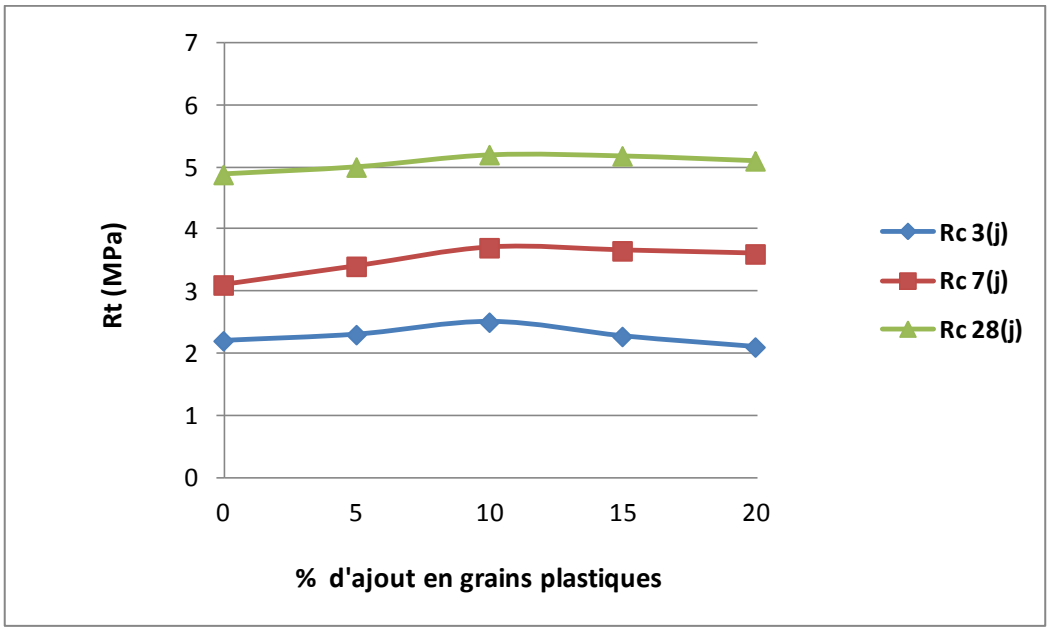


Figure III.16: Résistance a la traction en fonction du pourcentage d'ajout en grains plastiques.

De la même façon que pour la résistance à la compression, les figures **III.15** et **III.16** montrent que la résistance à la traction est améliorée pour le béton à base de grains plastiques (12% de gain à 28 jours),ce gain en résistance à la traction passe par un optimum de 10 % d'ajout en grains plastiques.

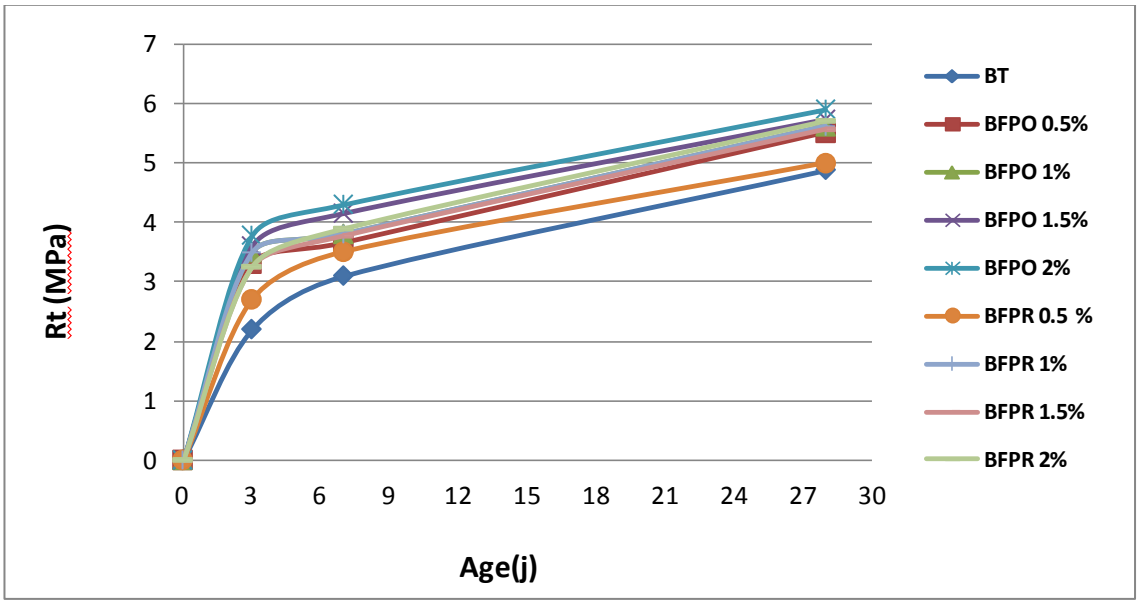


Figure III.17 Résistance à la traction de béton à base de fibres plastiques.

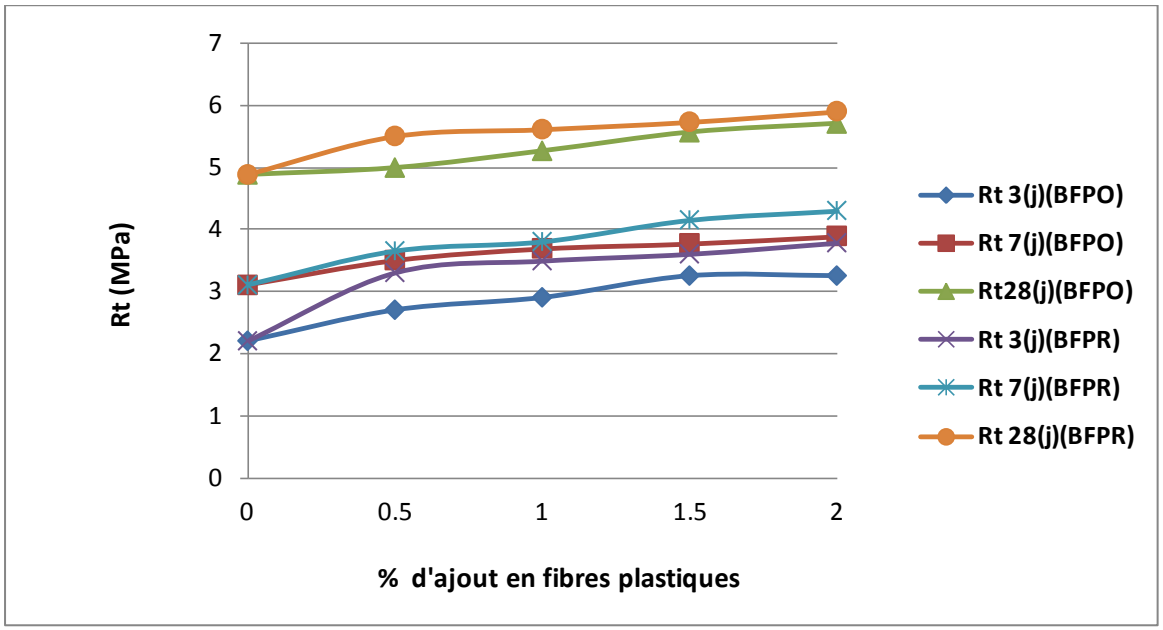


Figure III.18: Résistance à la traction en fonction du pourcentage d'ajout en fibres plastiques.

A partir des résultats précédents on constate que la résistance à la traction est améliorée d'une façon remarquable pour les bétons de fibres plastiques (ondulées et rectilignes) par rapport au béton témoin. Les fibres plastiques ondulées améliorent plus la résistance que les fibres plastiques rectiligne. On a observé aussi que plus le rapport des fibres augmentent dans le béton plus la résistance augmente aussi. Le gain en résistance à la traction est estimé à 25 % à 28 jours.

III.4 Approche de durabilité

III.4.1 Absorption d'eau

Les résultats de l'essai d'absorption d'eau des différents bétons réalisés sont illustrés dans les figures suivantes :

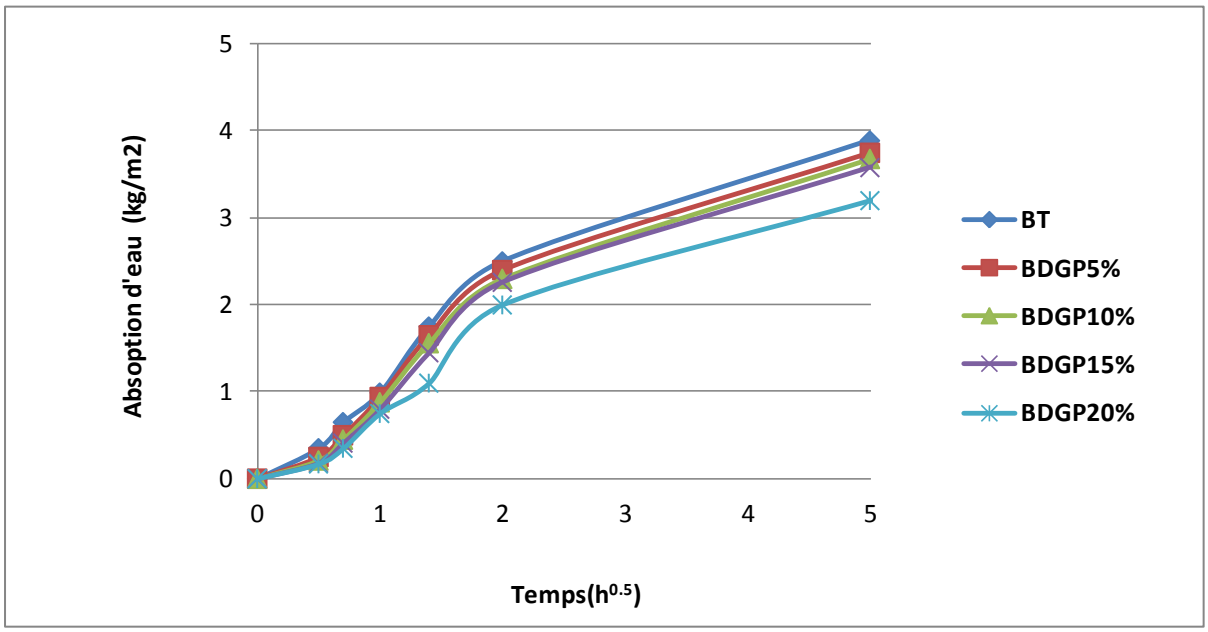


Figure III.19 : Absorption d'eau pour béton de déchets de grains plastiques.

La figure **III.19** montre que le béton à base des déchets de grain plastiques absorbe moins d'eau par rapport au béton témoin. Ceci semble logique du fait qu'un bonne partie de grain est recyclés par du plastique qui n'absorbe pratiquement pas d'eau ce qui diminue la capacité d'absorption du béton de déchets plastiques.

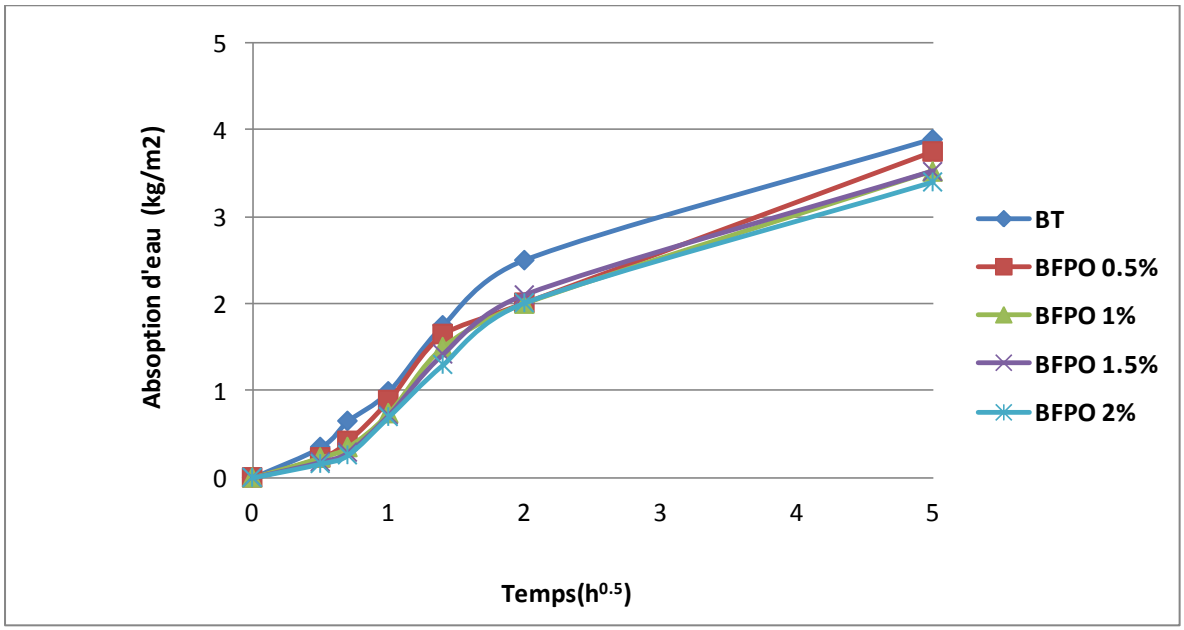


Figure III.20 : Absorption d'eau pour béton de fibre plastique ondulé**.**

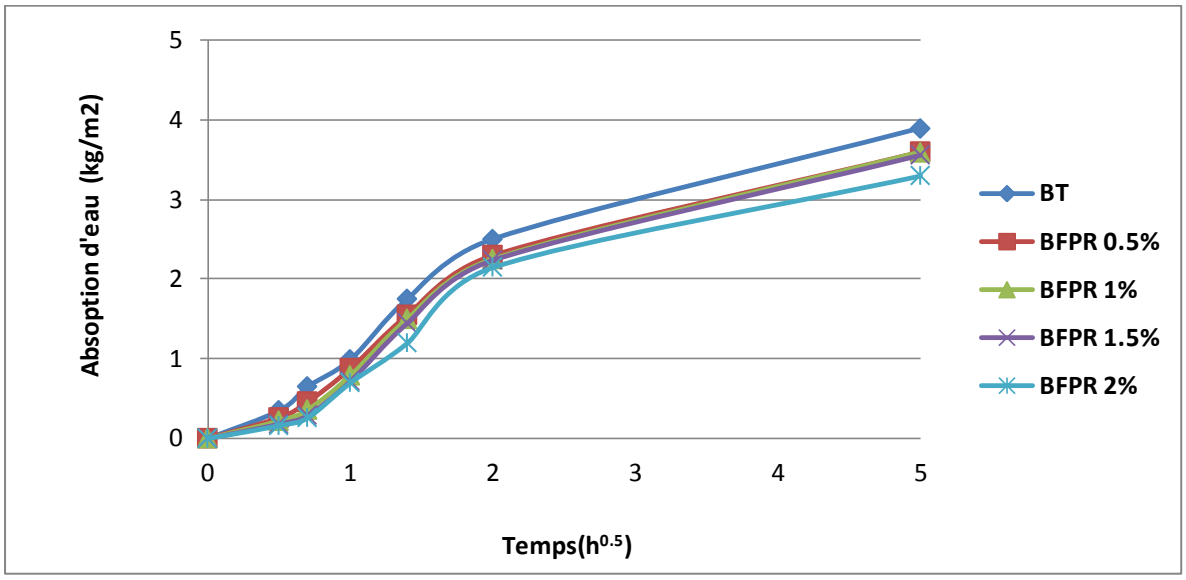


Figure III.21 : Absorption d'eau pour béton de fibres plastiques rectilignes.

Les résultats montrés sur les figures (**III.20- III.21**) montrent que l'absorption d'eau dans les deux bétons de fibres plastiques est plus faible par rapport au béton témoin. Ceci explique de la même façon que celle du béton de grains plastiques.

On constate aussi que ces résultat est conforme au résultat d'air occlus. Cela explique bien que le béton de plastique par rapport au témoin, et moins poreux.

III.4.2 Retrait

Les figures suivantes (figures **III.22**, **III.23** et **III.24**) présentent les résultats de l'essai de retrait en air libre :

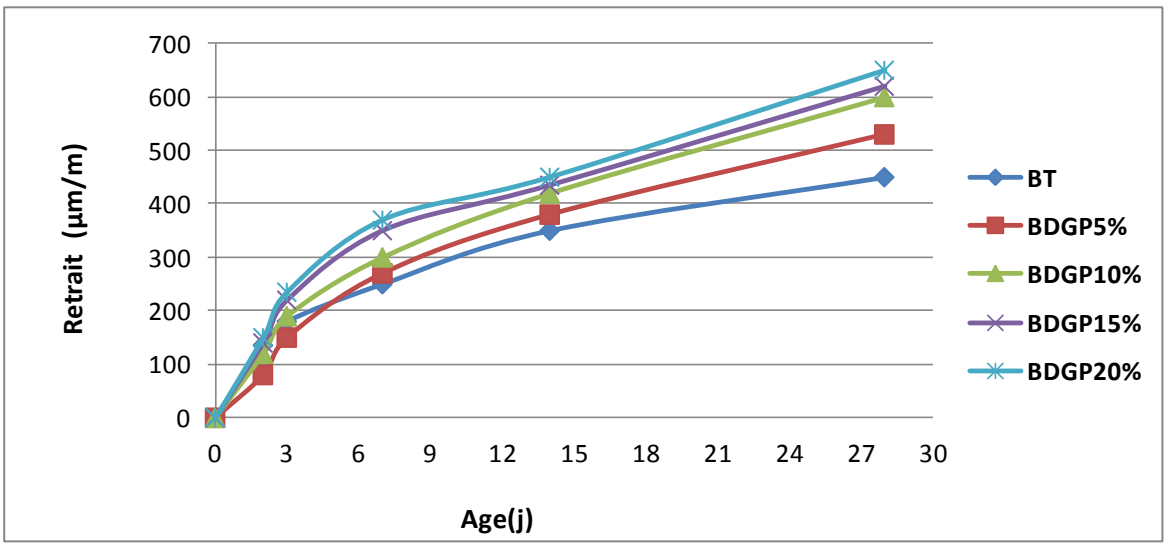


Figure III.22 : Retrait des bétons de grains plastiques.

Contrairement aux résultats précédents, les résultats obtenus ici montrent que les déchets de grain plastiques causent un retrait très important, La figure **III.22** montre que tout les types de béton ont des retrait très important par rapport au béton témoin, et on remarque que plus le pourcentage augmente plus le retrait augmente. Ceci est confirme aux d'autres chercheurs qui ont souligné en gros cette augmentation **[32]**.A notre avis, ce phénomène lié aux variations dimensionnelles est augmenté ici à cause de la compacité élevé du béton apportée par l'addition des déchets plastiques.

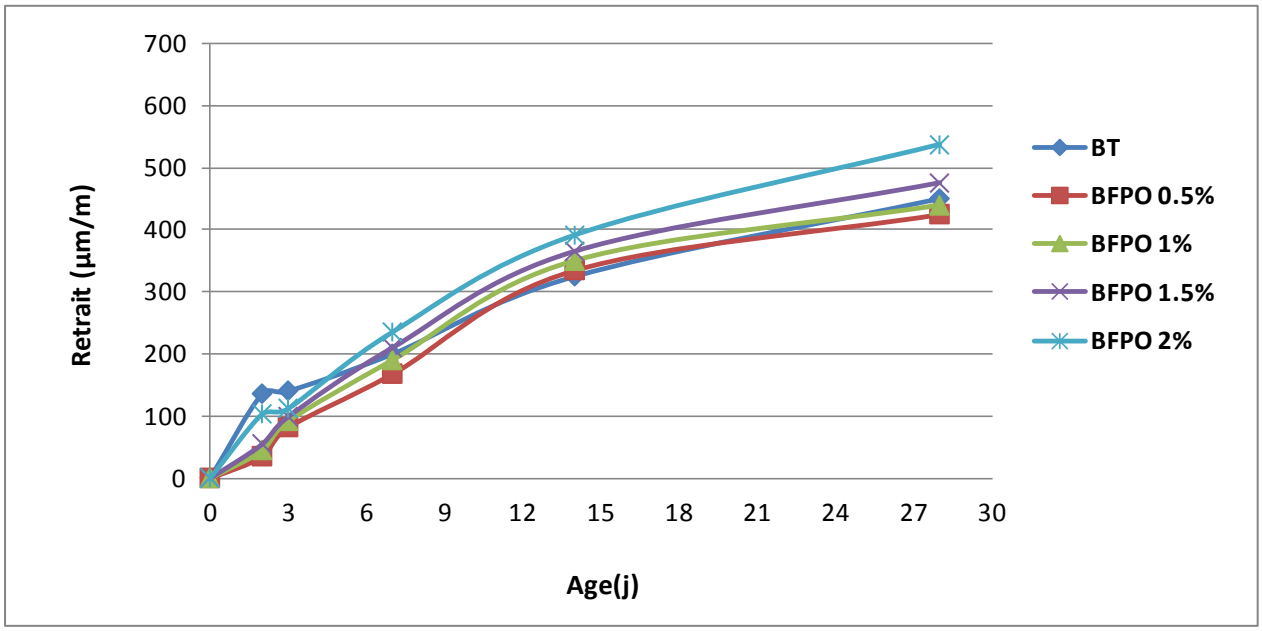


Figure III.23 : Retrait des bétons de fibres plastiques ondulés.

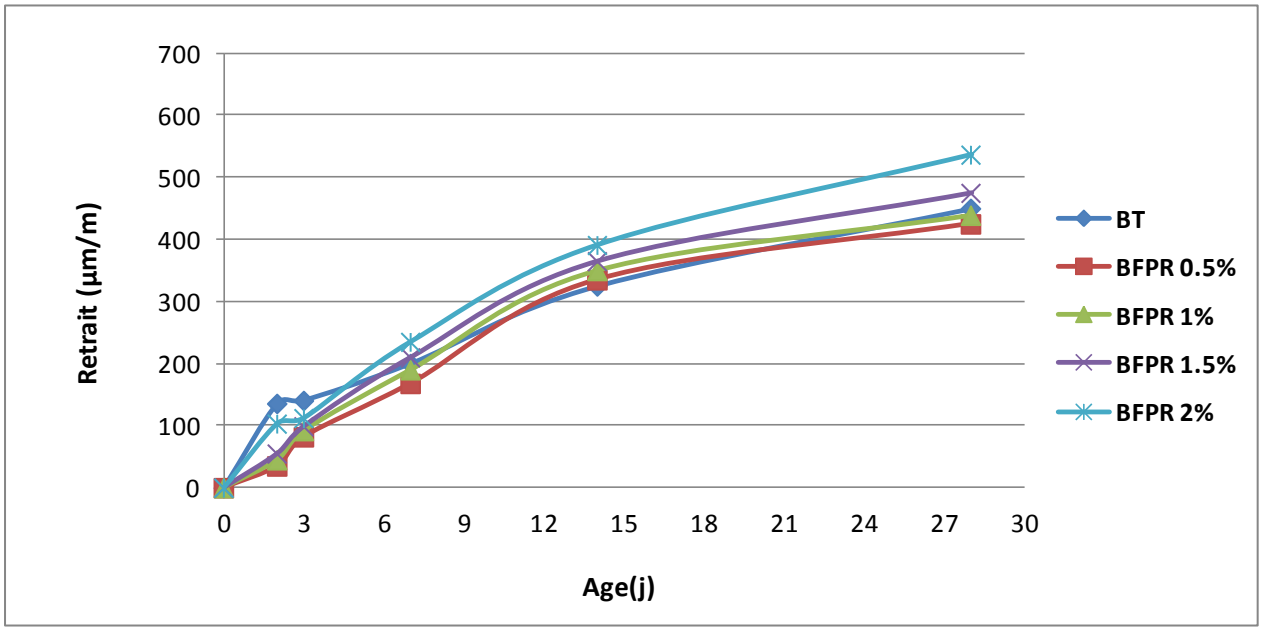


Figure III.24 : Retrait des bétons de fibres plastiques rectilignes.

D'après les deux figures ci-dessus, on remarque en général que le retrait en air libre du béton à base des fibres plastiques (BFPO, BFPR) est nettement plus important que celui du béton témoin (BT). A part quelques particularités, en remarque aussi que le retrait augmente en fonction du pourcentage de substitution en déchets.

III.3 Conclusion

Dans le cadre de cette partie d'étude, l'analyse des résultats expérimentaux peut mener aux quelques conclusions suivantes:

1-Touts les bétons a base de déchets plastiques présent une mauvaise ouvrabilité par rapport au béton témoin.

2- Le béton de déchets plastiques est un béton compact et moins poreau.

3- Les trois types de déchets plastiques (DGP, FPO, FPR) mène a une augmentation de la résistance à la compression.

4- Les deux types des fibres plastiques (FPO, FPR) améliorent la résistance à la traction.

5-L'ajout des déchets plastiques dans la masse des bétons diminue le taux d'absorption d'eau.

Finalement, si on compare les résultats qu'on a trouvé dans cette partie d'étude et les résultats des déférents chercheurs (citées dans la bibliographie) on peut dire que il ya une nette concordance entre les deux.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSIONS

L'objectif de ce travail était de déterminer l'effet de substitution des déchets plastiques sur les performances du béton à l'état frais et durci. La synthèse bibliographique et l'analyse des résultats expérimentaux nous ont permet de tirer les conclusions suivantes :

1- Les déchets plastiques recyclés présentent un intérêt particulier car leur valorisation permet de réduire les volumes de déchets mis en décharges et d'améliorer les performances du béton ;
2- - En Algérie, chaque année, une quantité importante de déchets de ce genre est générée mais reste méconnue et encore trop rarement valorisée ;
3- Le béton à base des déchets plastiques présentent une mauvaise ouvrabilité par rapport au béton ordinaire.
4- L'ajout des déchets plastiques dans la masse du béton mène à une diminution de l'air occlus et augmentation de la compacité.
5- La résistance à la compression est améliorée pour les bétons à base déchets plastiques (déchets de grains et de fibre plastique).
6- Les fibres plastiques améliorent la résistance à la traction des bétons.
7- Le retrait des bétons augmentent en fonction du pourcentage de substitution en déchets plastiques.

RECOMMANDATIONS

Les observations et les analyses que nous avons effectuées dans le cadre de cette recherche pourraient mener à des développements futurs dans le domaine du recyclage des déchets plastiques. Pour cela on recommande les étudiants d'approfondir dans ces recherches et surtout d'étudier :

- l'incorporation d'autres types de déchets plastiques dans le béton.
- l'influence des adjuvants sur les bétons des déchets plastiques.
- l'effet de l'orientation des fibres plastiques sur la performance du béton.
- la durabilité de béton a base de déchets plastiques.
- le pompage du béton à base des déchets plastique.
- autre type de bétons (béton spéciaux) à base de déchets plastiques.

Références bibliographiques

[1] Debieb F. Performances et durabilité du béton à base de granulats recyclés contaminés par les chlorures et sulfates. Thèse PhD, Departement génie civil, Université Houari Boumediene Algies ;2007.

[2] Courard L., '*Valorisation des déchets et sous-produits dans le génie civil*', Notes de cours (Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées, Service des Matériaux de Construction, 1998), 195 p.

[3] Pimienta. p et remond. ''Bétons de déchets : prévenir les risques'', CSTB magazine, n° 109, novembre 1997, pp. 28-30

[4] Symboles pour la désignation abrégée des matières de base des compositions plastique,Norme NF T 50-050 ,octobre 1974.

[5] Caractérisation de la longévité des briques brutes et très bien écrasées réutilisées d'employer de bétons et des agrégats, des matériaux et du RILEM concrets (2011).

http ://www.rilem.net/ms.php.

[6] Propriétés mécaniques et de longévité des agrégats réutilisés souillés employant béton. Ciment et composé concret, 32(2010) 421-426.Elsevier, la science directe.

[7] Quebaud M., '*Caractérisation des granulats recyclés - Etude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats*', Thèse de doctorat, Université d'Artois, France, décembre 1996.

[8] Plastiques moderne et élastomères, Mémento, paris,1979-1980.

[9] Lefaux r.-chimie et toxicologie des matières plastiques ,paris ,compagnie française d'édition ,1990.

[10] Dossier Enseignant. « VOYAGE EN INDUSTRIE » CAP SCIENCES 2006.

[11] Guide des matières plastiques en mécanique, centime batelle,1976.

[12] Plastiques A9, techniques de l'ingénieur ,paris 1985.

[13] "plastiques, matières." Microsoft® Études 2008 [DVD]. Microsoft Corporation, 2009

[14] "Prof. Dr Roland Caubergs, RUCA "Le recyclage des plastiques" Dow Belgium, Plarebel,2008.

[15] Ademe, Modes d'élimination des déchets de matières plastiques (2000).

[16] Wittmann f.h. « Propriétés de la pâte de ciment durcie. » Septième congrès international de la chimie des ciments : rapports principaux, Paris. 1980, Vol. I, Sous thème VI-2, 16 pages

[17] BerrAa M.., CastEellani A. "Toughness of old plain concretes." In : Wittmann Eds.Fracture Mechanics of Concrete Structures, Proceedings FRAMCOS – 2, Zurich. Freiburg:Aedificato publishers. 1995, Vol. I, p. 85 – 94.

[18] Lauritzen E. K., '*Recycling concrete-An Overview of challenges and Opportunities*', in 'Recycling Concrete and Other Materials for Sustainable Development', ACI International, Special Publication SP-219, Edited by T. C. Liu. and Ch. Meyer, Published by ACI, USA, 2004, pp. 1-10.

[19] ShaHh S.P., Batson G.B., " Fiber reinforced concrete: p*roperties and* Application" Detroit, American Concrete Institute, 1987, 597p., SP –105.

[20] Berthollet A. « Contribution à la modélisation du béton vis-à-vis du vieillissement et de la durabilité: interaction des déformations du fluage et du comportement non linéaire du matériau. » Thèse de doctorat de l'INSA de Lyon. 29 Octobre 2003.

[21] Dehouse., " Méthodes d'essais et caractéristiques mécanique des bétons armés de fibres de polypropylène ", In : *fibre renforce cément and concrète, RILEM Symposium,*1975, Edited by A. NEVILLE, Lancaster, Construction Press, 1975, pp.119-136, Communication 4.1.

[22] Durand G., "les bétons à base de fibres d'acier" *CERILH stage*26-02-1986 N° 6 p6 et *Annales N°347 Février* 1977 pp 48-49 .

[23] Dardare J., " Contribution à l'étude du comportement mécanique des bétons renforcés de fibres de polypropylène ", In : *fibre reinforced cement and concrete, RILEM*

[24] Poh W. " General creep-time equation." Journal of Materials in Civil Engineering.1998, Vol.10,n°2 p.118-120.

[25] Beres L. « La macro structure et le comportement du béton sous l'effet de sollicitation de longues durées. » Matériaux et Constructions / Materials and Structures. 1969, Vol.2, n°8, p.103-110.

[26] Ngab A.S, Nilson A.H. , Slate F.O "Shrinkage and creep of high strength." A.C.I Journal. 1981, Vol. 78, n°4, p.255-261.

[27] Dehouse N., le Jeune A., "Les mortiers et bétons renforcés de fibres", Bruxelles, C.S.T.C, *Revue* 1974, N° 2, 15 p .

[28] Marzouk, O.Y, **Dheilly**, **R.M**., **Queneudec**, **M**., 2007. Valorization of post-consumer waste plastic in cementations concrete composites. Waste Management 27, 310–318.

[29] Al-Manaseer, A.A., T.R., **Dalal.,**1997. "Concrete containing plastic aggregates", Concrete International, 47– 52.

[30] Ochi T, **Okubo S**, **Fukui K**. Development of recycled PET fibre and its application as concrete-reinforcing fibre. Cement Concr Compos 2007;29:448–55.

[31] Jo B, **Seung-Kook P**, **Cheol-Hwan** K. Mechanical properties of polyester polymer concrete using recycled polyethylene terephthalate. ACI Struct J 2006;103:219–25.

[32] Mahdi F, **Abbas H**, **Khan A**. Strength characteristics of polymer mortar and

concrete using different compositions of resins derived from post-consumer PET bottles. Constr Build Mater 2010;24:25–36.

[33] **NF EN 12350-2**, 1999, « *Essai pour béton frais. Partie 2 : Essai d'affaissement* », AFNOR.

[34] **NA 431** ,1989 , «béton frais ,détermination de la consistance-essais d'affaissement » Norme algérienne

[35] ASTM C 143-78 Standard test method for slump-test .USA: ASTM; 2005.

[36] **NF P 15-452**, 1988, «*Essai pour béton frais ,Mesure du temps d'écoulement des béton et de mortier aux maniablimètre, AFNOR.*

[37] **NF EN 12350-7**, 1999, « *Essai pour béton frais. Partie 7 : Teneur en air occlus* », AFNOR.

[38] **NF EN 12350-6**, 1999, « *Essai pour béton frais. Partie 6 : Masse volumique* », AFNOR.

[39] **NA 436 ,**1992-08-20 «béton frais, détermination de la consistance-essais d'affaissement ».Norme algérienne.

[40] **NF EN 12504-4** 2005, « *Essais pour béton dans les structures. Partie 4 :Détermination de la vitesse de propagation du son* », AFNOR.

[41] **NA 5027**, 1997, béton auscultation sonique-mesure du temps de propagation d'onde Soniques dans le béton.

[42] **NF EN 12390-3**, 2003, « *Essai pour béton durci. Partie 3 : Résistance à la compression des éprouvettes* », AFNOR.

[43] **NA427** ,1989 «Détermination de la résistance a la compression des éprouvettes» Norme algérienne.

[44] NF P 18-407,2003 «*Essai pour béton durci. Partie 4 : Résistance à la traction des éprouvettes* », AFNOR

[45] NA428 ,1992-08-20, «béton –détermination de la résistance a la flexion des éprouvettes» Norme algérienne.

[46] ASTM C293. "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete Using Simple Beam With Center-Point Loading." *Annual book of ASTM standards*.

[47] NF 13057 NBN NE 13057, Normes Belge, « Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton-Méthodes d'essai-détermination de l'absorption capillaire », Octobre 1997, Mai 2002.

[48] NF P 15-404, Normes AFNOR : « Essais pour béton durci - Partie 1 : forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules »1989.

[49] Fiche technique : « Ciment MATINE CEM II/A 42.5 », Alger 2009.

[50] NA 442, Normes Algérienne : « Ciment - Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants », 1994, 2000.

[51] NF 15-301, Normes Européenne : « Ciments courants »,1994

[52] NF P 15-476, Normes AFNOR : « Méthodes d'essais des ciments- Détermination de la finesse », Aout 1990.

[53] NF P 15-431, Normes AFNOR : « Liants hydrauliques – technique des,essais-détermination du temps de prise sur mortier normal », Février 1994.

[54] NF P 15-473, Normes AFNOR : « Méthodes d'essai des ciments-partie 3 : détermination du temps du prise et de la stabilité », Aout 1995.

[55] NF P 15-471, Normes AFNOR : « Méthodes d'essais des ciments - Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques », Aout 1995.j,

[56] NF EN 933-1, 1997, « *Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 1: Détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage* », AFNOR.

[57] NF EN 1097-6, 2001, « *Esais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 6: Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau* », AFNOR.

[58] NF EN 1097-3, 1998, « *Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 3: Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter granulaire* », AFNOR.

[59] NF EN 933-8, 1999, « *Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 8: Evaluation des fines. Equivalent de sable* », AFNOR.

[60] NF EN 1097-2, 2001, « *Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 2: Méthode pour la détermination de la résistance à la fragmentation* », AFNOR

[61] NF EN 1008, 2003, « *Eau de gâchage pour bétons: spécification d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton* », AFNOR.

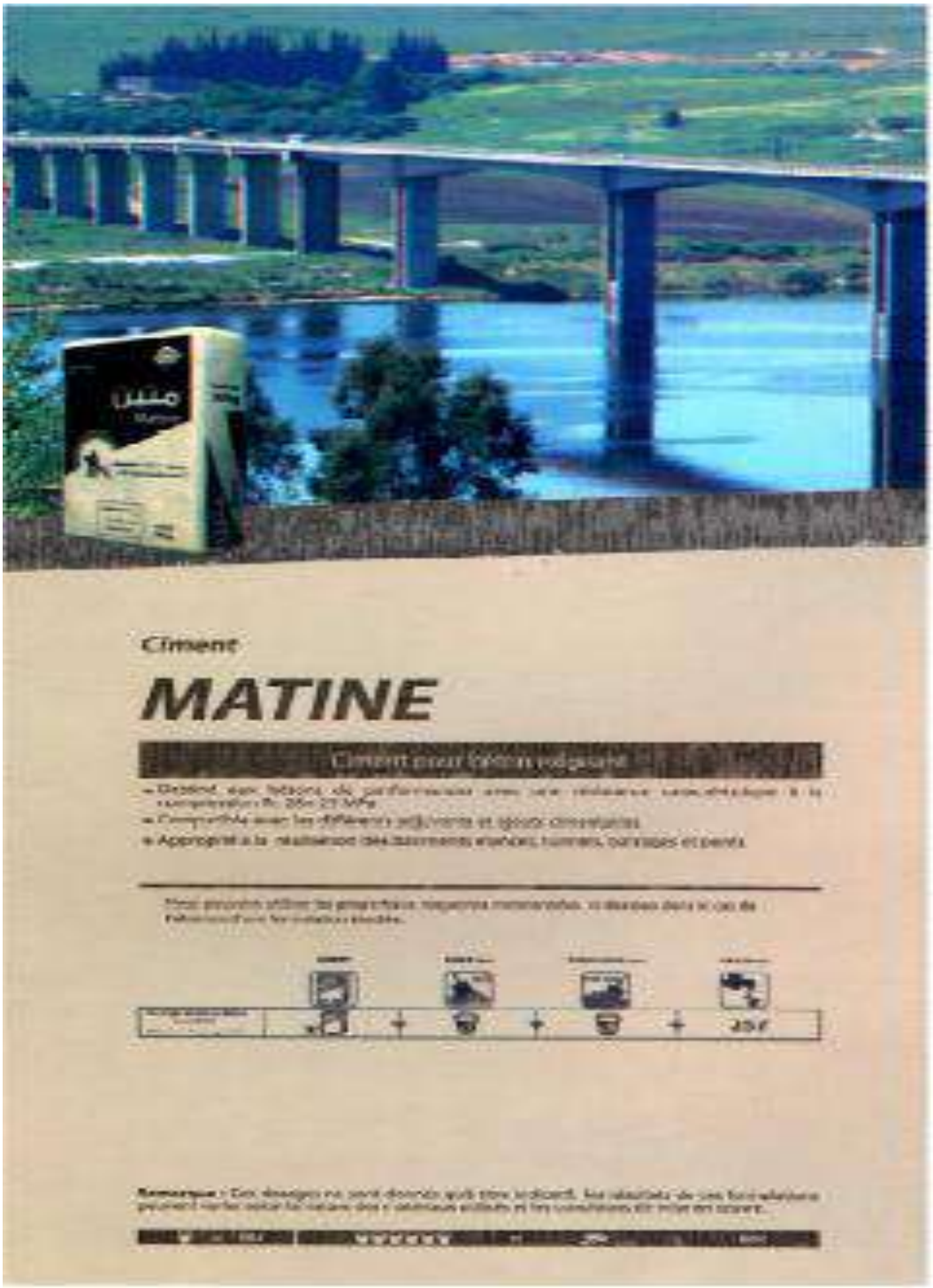
[62] Dreux G. & Festa J., 1998, « *Nouveau guide du béton et de ses constituants* », huitième édition, Éditions Eyrolles, Paris, France.

[63] NF EN 12390-2, 2001, « *Essai pour béton durci. Partie 2 : Confection et conservation des éprouvettes* », AFNOR.

[64] NF P 18-412, 1981, «caractéristiques particulière des machines hydrauliques pour essais de compression.

ANNEXES

Fig 01 : La fiche technique du ciment



LAFARGE
لافارج

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM II/A 42.5 R NA 442

FICHE TECHNIQUE

MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°c. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301/94 .

Domaine d'utilisation :

MATINE est utilisé pour tous les projets courants qui nécessitent des hautes résistances mécaniques mais ne présentent pas un besoin spécifique dans les ouvrages en béton qui ne sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment.

Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles) :
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport .ect) :
- Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de désallement,..ect) ;
- Secteur industriel.

Algerian Cement Company (SPA)
33, Rue des Pins. Hydra. Alger, Algérie
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax : +213 (0) 21 48 16 71

LAFARGE
لافارج

FICHE TECHNIQUE

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM IIIA 52,5 R NA 442

Analyses et caractérisation

Analyses chimiques

Perte au feu (%), **(NA 5042)**:	7.00 – 9.50
Résidus insolubles (%), **(NA 5042)**:	1.5– 3.0
Teneur en sulfates SO_3 (%), **(NA 5042)**:	2.00 – 2.50
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%) :	1.90 – 2,30
Teneur en chlorures (%), **(NA 5042)**:	0,01 – 0,03

Composition hypothétique du clinker (Bogue)

Silicates tricalciques C_3S (%) :	58.00 – 64.00
Aluminates tricalciques C_3A (%) :	6,0– 8,00

Propriétés physiques

Consistance normale de la pâte de ciment (%) :	25,5 – 28,00
Finesse suivant la méthode de Blaine **(NA 231)**:	4300 – 4 800
Retrait à 28 jours en µm/m	<1 000
Expansion en mm	0,5 – 2.5

Temps de prise à 20°C (NA 230)

Début de prise (min)	120 - 180
Fin de prise (min)	210 - 280

Résistance à la compression (NA 234)

02 jours (Mpa)	> 20
28 jours (Mpa)	≥ 42.5 & 62,5

Algerian Cement Company (SPA)
33, Rue des Pins. Hydra. Alger, Algérie
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax : +213 (0) 21 48 16 71



Fig 02 : Tamiseuse électrique



Fig 03 : Essais d'équivalent de sable



Fig 04 : Le malaxage du béton



Fig 05 : Essais de la maniabilité





Fig 05 : L'éprouvette après l'écrasement



Fig 06 : L'éprouvette après l'écrasement



Fig 07 : L'éprouvette pour l'essai de retrait