République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Dr. Yahia Farés de MEDEA
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département du Génie de la Matière
Filière : Génie Civil

Projet de Fin d'Etude

Pour l'Obtention du Diplôme
de Master En Génie Civil
Option : Structures

Thème

LE MORTIER A BASE DE DÉCHETS PLASTIQUES

Proposé et Encadré par :

Dr. Debieb Farid

Présenté par :

Mr Khelil Cherfi Omar

Melle Mouas Amina

Juin 2013

REMERCIEMENT

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 s'incères remerciements vont également à tous les enseignants du département de génie Civil, et surtouts les enseignants qui ont participé a notre formation au master M2.

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

Un grand merci à tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin pour l'élaboration de ce projet,

Encore des remerciements à toutes les personnes du laboratoire "HALL technologie" pour leur aide durant toute la période expérimentale de ce travail.

الإهداء

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

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

أهدي هذا العمل الذي هو نتاج لثمرة ضلت 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 الحنون: عائشة' التي لا تكفيني و لا تسعني أي عبارات لكي أعرب لها عن مدى حبي وامتناني لها.

إلى أبي العزيز: توفيق ' الذي سهر و تعب على تربيتي و راحتي و لطالما مد يد العون لي.

إلى أخي : محمـــــــد' والى أختي: إيمان' والى الصغيرين: أسماء و كوثر و إكرام.

إلى كل عائلة :خليل الشرفي.

إلى كل الأصدقاء و رفقاء الدرب الذين عرفتهم و تعلق بهم قلبي

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

إلى كل خريجي جامعة يحيى فارس فرع هندسة مدنية دفعة جوان 2013 .

عـــمـــــــر

Dédicace

A la mémoire de mon très cher père ,

Que dieu le garde dans son vaste paradis.

A ma mère,

Pour sa tendresse, ses sacrifices et pour ses précieux conseils.

Pour son soutien dans les moments difficiles. Sache que tu es extraordinaire

Et que, grâce à toi, je suis ou j'en suis. Avec ma profonde affection. Que je te souhaite

Une longue vie.

Merci ma mère.

A mon frère Abd El Hak

A ma sœur Sarah et son marie Yacine

Pour vos encouragements, et l'amour dont vous m'avez entouré.je vous exprime ici,

Toute mon affection et mes souhaits de succès.

A Mes grands-mères que je leur souhaite une longue vie.

A tout les membres de ma famille Zibani et Mouas,

A mon binôme

Je remercie mon amie Djamila qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.

A tous mes collègues de Master 2 Génie civil

A ceux qui me connaissent, et surtout qui m'aiment.

Je dédie ce modeste travail .

Amina

RÉSUMÉS

ملخص

من العيوب الرئيسية لمادة الخرسانة هي التشقق، و بالتالي قلة مقـــاومة التمدد. للتغلب على هذا القصور تجري حاليا بحوث مهمة في مخابر عديدة لتسليح الخرسانة بالألياف و النفايات البلاستكية.

و في هذا السياق يسعى مشروعنا إلى المساهمة في تثمين بقايا البلاستيك المعاد تصنيعها في تسليح الملاط.

ثلاثة أنواع من النفايات البلاستكية المعاد تصنيعها تم تعويضها في كتلة الملاط (نوعين من الألياف البلاستيكية (المدرجة و المستقيمة) بالإضافة الى الغبرة) بنسب مختلفة من كتلة الاسمنت و الرمل (5 ،10 ،15 ،20) % بالنسبة للغبرة و (0.5. ،1.0 ،1.5 ،2.0) % بالنسبة للألياف ،و مقارنة خصائصها مع عجينة ملاط طبيعي ،كما أن خصـــــائص عجينة الملاط قد تم تحليلها و مقارنتها في الحالة الطرية (سهولة توضعه ,والهواء الداخلي) ' والحالة الصلبة (قوة الضغط و قوة الشد و الانكماش و امتصاص الماء).

على ضوء النتائج التجريبية المحصل عليها يمكن أن نستخلص أن تعزيز عجينة الملاط بالألياف البلاستيكية يؤدي إلى الزيادة في قوة شدها وأن استعمال الغبرة يحسن من سهولة توضعها.

كما أن شكل الألياف البلاستيكية له تأثير مباشر على الهيكل الحبيبي للملاط.

Résumé

Parmi les défauts principaux du matériau béton est sans doute sa fissuration et par voie de conséquence sa faible résistance à la traction. Pour surmonter cette insuffisance, des recherches très importantes sont en cours dans beaucoup de laboratoires afin d'armer et renforcer le mortier à l'aide des fibres plastiques. Dans ce contexte, notre projet vise à contribuer à la valorisation des déchets plastique dans le renforcement du mortier.

Trois types de déchets plastiques sont ajoutés a la masse du mortier (deux types de fibres ondulées et rectilignes et une poudre) ajout par rapport à la masse du ciment avec des pourcentages différents 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 % pour les fibres (ondulée, rectiligne) et substitution par rapport a la masse du sable avec 5, 10, 15, 20% pour la poudre en plastique.

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

A la lumière des résultats expérimentaux trouvés, on peut conclus que les déchets plastiques ajoutés au mortier augmente sa fluidité (cas de la poudre)et augmente sa résistance a la traction cas des fibres

La forme des fibres plastiques influe sur le squelette granulaire du mortier d'une façon directe.

Abstract

Among the main defects of the material concrete is without doubt its cracking and consequently its low tensile strength. To overcome this deficiency, very important research is ongoing in many laboratories to equip and strengthen the mortar using the plastic fiber. In this context, our project aims to contribute to the recovery of waste plastic in the strengthening of the mortar.

Three types of plastic waste are added a mass of mortar (both wavy and straight fiber types and a powder) adding to the mass of cement with different percentages 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 % for striking compared to the mass of the sand with 5, 10, 15, 20% for powder plastic and fibers (wavy, straight).

Properties (handling, occluded air and density) fresh and hardened State (compressive strength, resistance to traction, withdrawal and water absorption) of different made mortars are analyzed and compared.
In the light of the experimental results found, one can conclude that plastic waste added to the mortar increases fluidity (case of powder) and increases its resistance to tensile strength fiber.

The shape of the plastic fiber influences the granular skeleton of the mortar in a direct way.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Remerciements
Dédicaces
Résumés
Liste des tableaux
Liste des figures
Notations

Introduction générale

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRARAPHIQUE

I.1 Introduction……..……..…..……...…01

I.2 Le mortier ……..…….…….…..…….…...….01

I.2.1 Introduction…….…..…..…...…...01
I.2.2 Types de mortier……..…...…..…..….02
I.2.2.1 Mortier de ciment…….…….…….……...…02
I.2.2.2 Mortier de chaux……...…….……..…..……02
I.2.2.3 Mortiers bâtards…..…….……...……..….....02
I.2.2.4 Mortier fabriqué sur chantier……...……...…....03
I.2.2.5 Mortier industriel……...……...…….03
I.2.2.6 Mortiers frais retardés, stabilisés, prêts à l'emploi……..…….…….....04
I.2.2.7 Mortiers de fibres……..…..……..04
I.2.3 Domaines d'utilisation des mortiers……..…….……...…05
I.2.3.1 Mortiers pour chape……..……..…..……..…….……..05
I.2.3.2 Enduits……..……....06
I.2.3.3 Joints de maçonnerie…….…….…….06
I.2.3.4 Scellements et calages……...…….…….…..07
I.2.3.5 Mortiers et coulis de réparation…….....07
I.2.4 Composants du mortier…..……..……...…..……08
I.2.5 Caractéristiques principales…….…..……...……...10
I.2.5.1 Ouvrabilité…….…….……...10
I.2.5.2 Prise…….……..……11
I.2.5.3 Résistances mécaniques…….…….…….…….……12
I.2.5.4 Retraits et gonflements…….……...…..…….…....13
I.3 Le béton…….…….....13
I.3.1 Introduction……..…….……..……..13
I.3.2 Composants du béton ……..…….…….…...14

I.3.3 Bétons spéciaux……..…..29
I.3.3.1 Bétons auto-plaçant (BAP)……..…..……..……..……..…29
I.3.3.2 Béton à haute performance (BHP)……..…..……..……..……..…30

I.4 Les déchets ……..……..……..……..31

I.4.1 Définition……..……..……..……..33
I.4.2 Définition juridique……..……..……..33
I.4.4 Constitution chimique des déchets……..……..……34
I.4.5 Types de déchets……..……..……..34
I.4.5.1 Les déchets biodégradables……..……..……..……....35
I.4.5.2 Les déchets ultimes……..……..……..……....36
I.4.5.3 Les déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux……..……..……..……....36
I.4.5.4 Les déchets recyclables……..……..……..……..…36
I.4.6 Déchets utilisés en génie civil……..39
I.4.6.1 Déchets inerte……..……..……..……..…39
I.4.6.2 Déchets ménager……..……..……..……..……..…40
I.4.6.3 Déchets toxiques……..……..……..……..……..…..40
I.4.6.4 Déchets industriels dangereux mais non toxiques ……..……..……..……40
I.4.6.5 Déchets industriels dans des conditions spécifiques……..……..……..…41

I.5 Le recyclage des déchets……..……..……..……..…41

I.5.1 Définition……..……..……..……..…41
I.5.2 Principes du recyclage……..……..……..……..…41
I.5.3 Types de recyclage……..……..……..……..…42
I.5.4 Chaine de recyclage……..……..……..……...42
I.5.5 Impact du recyclage sur l'industrie……..……..……45
I.5.5.1 Source d'approvisionnement alternative……..……..……..……..…45
I.5.5.2 Création d'activités……..……..……..……..…45
I.5.5.3 Coût de main-d'œuvre……..……..……..……...45
I.5.6 Impacts du recyclage sur l'environnement……..……..……46
I.5.6.1 Protection des richesses naturelles……..……..……..……..46
I.5.6.2 Les Inconvénient de recyclage……..……..……..……..46

I.6 Plastiques et Déchets plastiques……..……..……..……....48

I.6.1 Le matériau plastique……..……..……..……....48
I.6.2 Avantages et inconviniant des matiéres plastiques……..……..……..49
I.6.2.1 Les avantages……..……..……..……..……49
I.6.2.2 Les inconviniants……..……..……..……50

I.6.3 Composition chimique……..……..50
I.6.3.1 Définition ……..……..……..50
I.6.3.2 Polymérisation……..……..……..……51
I.6.3.3 Structure des polymères……..……..……..……51
I.6.3.4 Adjuvants……..……..……..……53

I.6.4 Champ d'application…….…….…….54
I.6.4.1 Les thermoplastiques…….……...…….……55
I.6.4.2 Les thermodurcissables…….55
I.6.4.3 Les elastoméres…….56
I.6.5 Mise en forme des polymères……..……...…..…56
I.6.5.1 Extrusion……..…….……..…….57
I.6.5.2 Lignes d'extrusion……..……...…….....58
I.6.5.3 Extrusion-soufflage de corps creux……...……...…..….59
I.6.5.4 Calandrage……....…….……..60
I.6.5.5 Thermoformage……...…...…..…….....60
I.6.5.6 Moulage par compression……....……61
I.6.5.7 Injection des thermoplastiques……...…….……..……62
I.6.5.8 Injection soufflage…….…….……...…...63
I.6.6 Propriétés des matières plastiques……...…….……..…64
I.6.6.1 Propriétés thermiques……..……...…..……..…..……..64
I.6.6.2 Propriétés mécaniques……..……..…….65
I.6.7 Les déchets plastiques……..…….…....69
I.6.7.1 Introduction…….……...…...…….……....…69
I.6.7.2 Le recyclage des déchets plastiques…….……..…….....69
I.6.7.3 Les Modes de traitement des déchets des matières plastiques.…….…….....73
I.6.7.4 Procédés en voie de développement……...……...…..……....74

CHAPITRE II : MATERIAUX ET ESSAIS

II.1 Introduction…….....….79
II.2 Programme expérimental et Protocole d'essais……..….79
II.2.1 Matériaux utilisées…….…….…....…..80
II.2.1.2 Le ciment…….…….…..….....80
II.2.1.2 Les granulats…….…….…..…...…..83
II.2.1.3 Les sables……..……..…….....…..83
II.2.1.4 L'eau de gâchage……..…….....……83
II.2.1.5 Les déchets plastiques…….……...…….…..84
II.2.2 Protocol d'essais…….……..…85
II.2.3 Préparation des matériaux…….……..……..85
II.2.3.1 Lavage du sable de concassage……...……...……..…..…....85
II.3 Confection et Cure des éprouvettes……..……....…...85
II.3.1 Composition des mortiers……...…….……...86
II.4 Malaxage des mortiers……...…88
II.5 Les essais…….…..….89
II.5.1 Equipement nécessaire…….…...……..89

II.5.2 Les essais effectués sur les granulats……..…….....92

II.5.3 Les essais effectués sur le mortier……...…...…..95

II.5.3.1 Sur mortier frais……..…..…….…….…….....95

II.5.3.2 Sur mortier durci……..…….……..…….....99

II.6 Variable étudiés……..…...105

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATION

III.1 Introduction……....106

III.2 Caractérisation des granulats……..……...…..106

III.3 Caractérisation des mortiers…….…….…….……..108

III.3.1 L'état frais…….……..…….108

III.3.2 L'état durci…….…….....112

III.4 Conclusion……..……..……126

Conclusion Générale Et Recommandations …….……..…..127

Références bibliographiques

Annexes

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Tableau **Titre** **Page**

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I.1 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable **21**

Tableau I.2 : Désignation et provenance des déchets utilisés **76**

Tableau I.3 : Echantillons analysés **76**

CHAPITRE II : MATERIEAUX ET ESSAIS

Tableau II.1 : Les Essais Réalisées Sur les Mortiers A l'Etat Frais Et a l'Etat durci **79**

Tableau II.2 : l'Analyse chimique du ciment et composition du clinker **81**

Tableau II.3 : Essai physiques sur ciment **82**

Tableau II.4 : Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge **82**

Tableau II.5 : Les limites du temps d'écrasement **86**

Tableau II.6 : Compositions des différentes familles de mortiers réalisés **87**

Tableau II.7 : Opérations de malaxage du mortier sans déchets plastiques et sans adjuvant **88**

Tableau II.8 : Opérations de malaxage du mortier avec déchets plastiques et sans adjuvant **88**

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATION

Tableau III.1 : Caractéristiques des différents sables utilisés **106**

Tableau III.2 : Compacité, porosité et indice des vides des différents sables utilisés **106**

Tableau III.3 : Caractéristiques des différents types des mortiers réalisés à l'Etat Frais **108**

Tableau III.4 : Variation de la Resistance a la compression des mortiers réalisé a (3j,7j,28j) **112**

Tableau III.5 : Variation de la Resistance a la Traction des mortiers réalisées (3j,7j,28j) **116**

Tableau III.6 : Absorption d'eau des mortiers réalisés a (28j) **119**

Tableau III.7 : Retrait des mortiers réalisés **122**

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Figure **Titre** **Page**

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure I.1 : Les mortiers pour chapes **5**

Figure I.2 : Les mortiers pour enduit **6**

Figure I.3 : Les mortiers pour joint de maçonnerie **6**

Figure I.4 : Les mortiers pour scellements et les calages **7**

Figure I.5 : Les mortiers et coulis de réparation **7**

Figure I.6 : Table à secousses **10**

Figure I.7 : Principe de fonctionnement du maniabilimètre B **11**

Figure I.8 : Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge **11**

Figure I.9 : Moule pour moulage des éprouvettes de mortier **12**

Figure I.10 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion **12**

Figure I.11 : Dispositif de rupture en compression **12**

Figure I.12 : Appareillage pour la mesure du retrait **13**

Figure I.13 : Les différents repères de l'essai d'équivalent de sable **20**

Figure I.14 : Extraction et élaboration des sables de concassage **27**

Figure I.15 : Schéma général des opérations de lavage **28**

Figure I.16 : Quelque exemple de recyclage **44**

Figure I.17 : Production des matières plastiques **49**

Figure I.18 : Polymères linéaires (a: homopolymère, b. : copolymère statistique, c. : copolymère alterné, d. : copolymère séquencé) **52**

Figure I.19 : Homopolymère ramifié (a) et copolymère ramifié (b) **52**

Figure I.20 : Polymère réticulé avec ponts di sulfure reliant deux chaînes **53**

Figure I.21 : Représentation schématique d'un polymère semi-cristallisé **53**

Figure I.22 : Principales configuration d'extrudeuses bi-vis **58**

Figure I.23 : Principales configuration Lignes d'extrusion **59**

Figure I.24 : Principales configuration l'extrusion soufflage de corps creux **59**

Figure I.25 : Principales configuration calandrage **60**
Figure I.26 : Principales configuration thermoformage **61**
Figure I.27 : Principales configuration moulage par compression **62**
Figure I.28 : Principales configuration Injection des thermoplastiques **63**
Figure I.29 : Injection soufflage **64**
Figure I.30 : Relation structure-propriétés : chaînes linéaires (cas des polymères thermoplastiques, schéma de gauche) et réseau de molécules (thermodurcissables, à droite) **64**
Figure I.31 : Caractérisation mécanique : Courbe contrainte-déformation établie pour un échantillon de trois matériaux-types **67**
Figure I.32 : Influence de la température : courbe établie pour un échantillon de plastique à différentes températures **68**
Figure I.33 : Différent types des déchets plastiques **69**
Figure I.34 : Les diverses options pour la gestion des déchets de matière plastiques **71**
Figure I.35 : Triangle marqués indique le type de plastique **73**
Figure I.36 : Variation de la masse volumique en fonction du taux de PEBD non régénéré **76**
Figure I.37 : Variation de l'allongement à la rupture en fonction du taux de PEBD non régénéré **77**
Figure I.38 : Variation de la dureté Shore D en fonction du taux de PEBD non régénéré **77**

CHAPITRE II : MATERIEAUX ET ESSAIS

Figure II.1 : Le ciment utilisé **82**
Figure II.2 : Les sables utilisés **83**
Figure II.3 : Les poudres de plastique **84**
Figure II.4 : Les fibres de plastiques rectilignes **84**
Figure II.5 : Les fibres de plastiques ondulés **84**
Figure II.6 : Conservation des éprouvettes a l'aire libre **86**
Figure II.7 : Conservation dans l'eau a20 °C±2°C **86**
Figure II.8 : Les étapes de fabrication des éprouvettes de mortier **89**
Figure II.9 : Equipement nécessaire **91**
Figure II.10 : Le cône et le récipient **92**

Figure II.11 : Les éprouvettes de mesure **92**
Figure II.12 : Procédure de mesure de l'équivalent de sable **94**
Figure II.13 : Séries de tamis **94**
Figure II.14 : Maniabilimètre à mortier avec la tige de piquage **95**
Figure II.15 : Principe de fonctionnement du maniabilimètre à mortier **96**
Figure II.16 : Etat du mortier avant et après mesure du temps d'écoulement **96**
Figure II.17 : Aéromètre à mortier **97**
Figure II.18 : Etat final du mortier dans la cuve avant mesure **98**
Figure II.19 : Mesure de la densité du mortier **98**
Figure II.20 : Dispositif pour l'essai de résistance à la traction **99**
Figure II.21 : Essai de traction par flexion **100**
Figure II.22 : Dispositif de rupture à la compression **100**
Figure II.23 : Presse Hydraulique (2000kN) **101**
Figure II.24 : Essai de compression **101**
Figure II.25 : Absorption d'eau par capillarité **102**
Figure II.26 : Rétractomètre et son étalonnage **102**
Figure II.27 : Variables étudiées **105**

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATION

Figure III.1 : La courbe granulométrique de la poudre en plastique et les différents sables utilisée **107**.
Figure III.2 : Temps d'écoulement des différents mortiers réalisée **109**
Figure III.3 : Air occlus des mortiers réalisés **110**
Figure III.4 : Densité des différents mortiers réalisés **111**
Figure III.5 : Variation de la Résistance à la compression des mortiers Type MPP **113**
Figure III.6 Variation de la Résistance à la compression des mortiers Type MFPR **114**
Figure III.7 : Variation de la Résistance à la compression des mortiers Type MFPO **115**
Figure III.8 : Variation de la Résistance à la traction par flexion des mortiers type MPP **117**
Figure III.9 : Variation de la résistance à la traction par flexion des mortiers de type MFPR **117**

Figure III.10 : Variation de la résistance à la traction par flexion des mortiers de type MFPO **118**
Figure III.11 : Absorption d'eau des mortiers de type MPP (28j) **120**
Figure III.12 : Absorption d'eau des mortiers de type MFPR (28j) **120**
Figure III.13 : Absorption d'eau des mortiers de type MFPO (28j) **121**
Figure III.14 : Retrait des mortiers type MPP **123**
Figure III.15 : Retrait des mortiers type MFPR **124**
Figure III.16 : Retrait des mortiers type MFPO **124**

SYMBOLES

ET

ABRÉVIATION

SYMBOLE ET ABRÉVIATION

D : La dimension du plus gros granulat

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;

K_b **:** Coefficient relatif au squelette granulaire ;

C **:** Dosage du ciment exprimée en Kg/m^3 ;

e **:** Quantité d'eau efficace exprimée 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.

E : Dosage en eau

E/C : Rapport eau /ciment

c : la compacité

p : la porosité

W : Teneur en eau

ES : Equivalent de sable à piston

ESV : Equivalent de sable à vue

M_f : Module de finesse

NA : Norme Algérienne

NB : Norme Belgique

NE : Norme Européenne

PP : Poudre en plastique

FP : Fibre plastique

MT : Mortier témoin ou mortier de référence (sans déchets)

MPP 5% : Mortier de déchets plastique sous forme d'une poudre à 5%

MPP 10% : Mortier de déchets plastique sous forme d'une poudre à 10%

MPP 15% : Mortier de déchets plastique sous forme d'une poudre à 15%

MPP 20% : Mortier de déchets plastique sous forme d'une poudre à 20%

MFPR 0.5% : Mortier de déchets plastique sous forme de fibres rectilignes à 0.5%

MFPR 1.0% : Mortier de déchets plastique sous forme de fibres rectilignes à 1.0%

MFPR 1.5% : Mortier de déchets plastique sous forme de fibres rectilignes à 1.5%

MFPR 2.0 % : Mortier de déchets plastique sous forme de fibres rectilignes à 2.0%

MFPO 0.5% : Mortier de déchets plastique sous forme de fibres ondulées à 0.5%

MFPO 1.0% : Mortier de déchets plastique sous forme de fibres ondulées à 1.0%

MFPO 1.5% : Mortier de déchets plastique sous forme de fibres ondulées à 1.5%

MFPO 2.0 % : Mortier de déchets plastique sous forme de fibres ondulées à 2.0%

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Dans toute construction, il est indispensable de réunir entre les différents éléments de construction en bâtiment au moyen d'un mortier de ciment ou d'autre liant qui a pour but de solidariser les éléments entre eux ,et assurer la stabilité de l'ouvrage, afin que ces matériaux soient suffisamment maniables pour leur mise en place, les industriels utilisent de faibles rapports eau/ciment et des ciments fins en vue d'augmenter les résistances à court terme.

D'une manière générale, Le béton est un matériau hétérogène et anisotrope résiste bien à la compression, et peu à la traction. Cet inconvénient a fait l'objet d'une longue recherche, trois principaux critères gèrent le choix des matériaux dans le domaine de génie civil : économiques, techniques et environnementales. Le choix d'un matériau recyclable et durable va dans le sens du respect de l'environnement. Gérer le devenir du déchet est un défi récent auxquels sont confrontés les chercheurs. Le recyclage semble être une solution idéale pour les problèmes écologiques, que l'on veut éliminer. De plus, l'épuisement des ressources en matériaux de construction fait que d'une façon générale, avec la diminution de la production de granulats naturels, le recyclage des déchets, en tant que granulats de substitution se développe, Plusieurs déchets ont été incorporés dans ce domaine, soit comme agrégats dans le béton, soit comme ajout dans la fabrication des ciments ou encore dans les techniques routières.

Actuellement Les scientifiques et les chercheurs du domaine se sont penchés vers l'étude d'ajouter une autre matière qui a des propriétés spécifique afin d'améliorer les caractéristiques du béton ou du mortier.

Les industries de la plasturgie et de la construction modulaire génèrent chaque année un grand volume de déchets industriels lors de la mise en forme, du conditionnement et de l'utilisation des matières plastiques. Le traitement de ces déchets est aujourd'hui soumis à des contraintes liées aux principes du développement durable et nécessite la mise au point de méthodes de recyclage et de valorisation spécifiques. La fabrication, la mise en forme puis la destruction en fin de vie de panneaux en mousse de polyuréthanne (PUR) utilisés comme paroi d'isolation thermique dans le secteur du bâtiment produisent par exemple d'importantes quantités de fines et de copeaux de faible densité aux propriétés isolantes. L'intégration de cette matière, aujourd'hui inutilisée, dans un procès de fabrication de mortier isolant pourrait constituer une voie de valorisation envisageable.

Dans cette étude, ce projet consiste à contribuer en générale à la valorisation des déchets en mortier et en particulier les déchets plastiques de bouteilles d'eau minérale qui est nuisible pour l'environnement vu son caractère encombrant et inesthétique il s'agit des déchets polyéthylène téréphtalate **PET** et **PEBD** (Polyéthylène Bas Densité). Pour cela, trois types de déchets sont utilisés sous formes de (fibres ondulées, fibres rectilignes, poudre) pour la fabrication de notre mélange. L'objectif principale de ce travail et de voir l'influence de ce déchet récupéré en substitution d'une partie de Ciment et du sable sur les propriétés physico-mécaniques des mortiers.

Pour le besoin de cette étude, Ce travail est structuré comme suite :

- **Plan de travail**

✓ Après avoir présenté une introduction générale montrant la problématique et l'objectif visé, une synthèse bibliographique est abordée au premier chapitre sur le mortier et le béton et en particulier sur les différents déchets plastiques et leurs propriétés.

✓ Le deuxième chapitre est consacré à l'étude expérimentale donc il donne une idée et une description sur les matériaux utilisés et les essais réalisés, On explique en détail les choix relatifs au plan de l'étude, la méthodologie, les caractéristiques des matériaux utilisés.

✓ La présentation et l'analyse des résultats obtenus et leurs interprétations, concernant le mortier de déchets plastiques sont abordées dans le troisième chapitre,

✓ En fin, on clôture ce mémoire par des conclusions générales, en synthétisant les principaux résultats obtenus à travers cette étude. Quelques recommandations pour des futurs travaux sont présentées aussi.

CHAPITRE I

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE



I.1 Introduction

Les matériaux cimentaires, très répandus dans divers domaines, se trouvent soumis à différentes sollicitations au cours de leur vie. Par définition, un matériau est dit cimentaire dès lors que le liant est un ciment. Le béton et le mortier sont des matériaux cimentaires très utilisés dans la construction. Le béton est composé de ciment, d'eau et de granulats, et le mortier est composé de sables, de ciment et d'eau.

Nous savons depuis toujours que le matériau cimentaire présente une bonne résistance à la compression, par contre sa résistance à la traction est très faible, ce qui caractérise sa fragilité sous les effets des efforts de traction, la rupture se produit prématurément se manifestant par l'apparition des fissures, ces efforts de traction sont repris en général par des armatures continues, en dépit de ça, les fissures apparaissent toujours, cette fois-ci sous les effets du retrait et de fluage, dans ce cas, nous pouvons utiliser un renforcement discontinu, réalisé à l'aide des fibres (déchets) incorporées dans le matériau cimentaire (mortier) et de veiller au maintien une ouvrabilité suffisante, qui permettra une mise en œuvre sans difficulté majeure. L'incorporation des fibres de diverses natures dans le matériau cimentaire, provenant des déchets industriels ou autres, sont utilisées pour améliorer certaines propriétés du mortier, qui permettent de limiter certains défauts de celui-ci **[1].**

La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux. La récupération des déchets touche deux impacts très importants, l'impact environnemental qui est résout par l'évacuation de ces déchets et l'impact économique qui est l'utilisation de ces derniers dans L'industrie ou dans le domaine de la construction, ces déchets ont l'avantage d'être disponibles en grande quantité et avec faible valeur marchande **[2].**

I.2 Le mortier

I.2.1 Introduction

Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un revêtement. On doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc.… Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant toujours mélangé à du sable, de l'eau et éventuellement un adjuvant , pour obtenir un mortier ou béton en gâchant dans un malaxeur des proportions convenables de ciment, d'eau et de granulats avec éventuellement un ou plusieurs adjuvants. C'est la dimension D du plus gros granulat qui détermine l'appellation mortier pour $D \leq 4$ mm, béton pour $D \geq 4$ mm **[3].**

Les différents granulats forment le squelette granulaire du mortier est le ciment, l'eau et l'adjuvant forment la pate liante. Lorsqu'il n'ya pas de squelette granulaire, on parle de pate pure de ciment **[4].**
Des compositions multiples de mortiers peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres: liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage sont en fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement.
Les mortiers peuvent être:

- Préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant, les différents constituants, adjuvants compris.
- Préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs pré-dosés (il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire) ;
- Livrés par une centrale : ce sont des mortiers prêts à l'emploi, dont les derniers nés, les mortiers retardés stabilisés, ont un temps d'emploi supérieur à 24 heures **[4].**

I.2.2 Types de mortier

Dans les travaux publics et les Travaux de bâtiment on utilise plusieurs types de mortier selon l'ouvrage à réaliser et de son environnement :

I.2.2.1 Mortier de ciment

Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35 Les dosages courants sont de l'ordre de 300 a 400 kg de ciment pour 1 m^3 de sable **[5].**

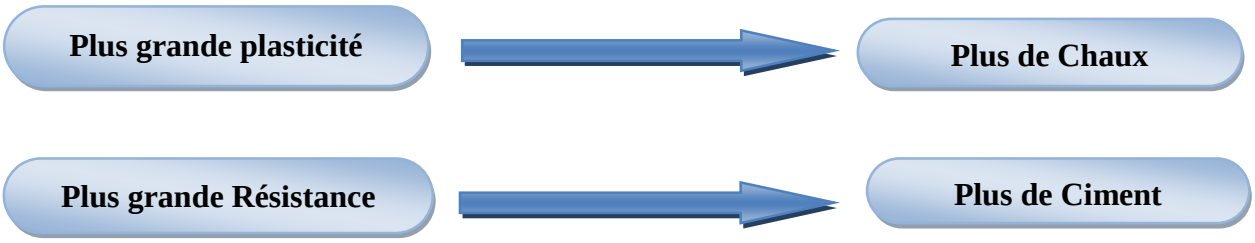
I.2.2.2 Mortier de chaux

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique **[5].**

I.2.2.3 Mortiers bâtards

Les mortiers bâtards sont constitués par des mélanges de ciment et de chaux avec du sable, dans des proportions variables. Les chaux apportent leur plasticité, les ciments apportent la résistance mécanique et un durcissement plus rapide.

Les sables utilisés sont généralement siliceux ou silico-calcaires ; leur granulométrie est de préférence continue **[5].**



I.2.2.4 Mortier fabriqué sur chantier

C'est encore le cas très souvent pour des menus travaux; le plus grand soin doit être apporte tant au stockage qu'au mélange des constituants qui seront choisis en fonction de l'ouvrage à réaliser : type et classe du liant, nature et granulométrie du sable, dosage en eau, nature des adjuvants.
Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu.
On emploie également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner.
Le sable est le plus souvent roulé (nature silico-calcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toutes façons ils doivent être propre et de bonne granulométrie.

Le sable est généralement dosé en poids, soit en volume. Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables **[5].**

I.2.2.5 Mortier industriel

Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années, permettant d'éviter le stockage et le mélange des constituants sur des chantiers parfois exigus et difficiles d'accès : rénovation, travaux souterrains.
Les autres avantages présentés par ces produits sont les suivants :

- Pré-dosage de composition constante, garant de régularité et de qualité ;
- Pas d'approvisionnement et de stockage sur place des constituants (sables, liants, adjuvants) ;
- (Un gain de temps) perte de temps limitée (appréciable dans le cas de travaux à effectuer rapidement et lorsque la place fait défaut) ;
- Chantiers plus propres.

Les producteurs proposent de nombreuses formules standard répondant à la plupart des besoins. Ils peuvent également étudier des compositions de mortier adaptées, donnant les performances optimales requises pour chaque usage. Ces mortiers reçoivent le plus souvent un ou plusieurs adjuvants en poudre,

afin de modifier les propriétés rhéologiques, les temps de prise, la durabilité, l'aspect (mortiers colorés) ou leur adhérence grâce à l'ajout de résines vinyliques ou acryliques. Ils sont conditionnés en sacs. Le marché du bricolage a profité du développement des mortiers pré-mélangés. Aujourd'hui, on peut trouver dans les surfaces de bricolages des mortiers répondant à tous les besoins non seulement par la nature du produit, mais aussi par son conditionnement plus adapté : sacs de 5 à 25 kg. **[5].**

Les mortiers répondant à tous les besoins sont :

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié,
- Mortiers d'imperméabilisation,
- Mortier d'isolation thermique,
- Mortier de jointoiement,
- Mortier de ragréage,
- Mortier de scellement, mortier pour chapes,
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment, etc.,
- Mortier de réparation.

I.2.2.6 Mortiers frais retardés, stabilisés, prêts à l'emploi

Depuis quelques années est apparue une nouvelle génération de mortiers livrés par les centrales de béton prêt à l'emploi : les mortiers frais retardés et stabilisés. Du fait qu'ils sont retardés, ces mortiers peuvent être livrés et stockés en quantité importante.

On peut les utiliser dans un délai allant jusqu'à 24 heures sans avoir le souci de préparer de nombreuses petites gâchées. Très maniables et homogènes, ils possèdent des résistances très largement suffisantes pour les travaux auxquels ils sont destinés : maçonnerie et jointoiement.

Lorsqu'ils sont étalés en couche mince, la prise de ces mortiers est accélérée (effet d'absorption d'eau par le support et perte par évaporation).

Ces mortiers permettent, comme le béton prêt à l'emploi, de simplifier et d'améliorer les conditions de travail, en évitant les pertes de temps **[5].**

I.2.2.7 Mortiers de fibres

L'incorporation de fibres de verre ou de polypropylène permet d'obtenir des mortiers présentant une cohésion supérieure et moins fissurables. Ce sont soit des mortiers pré mélangés, livrés en sac, soit des mortiers prêts à l'emploi, livrés par certaines centrales.

I.2.3 Domaines d'utilisation des mortiers

I.2.3.1 Mortiers pour chape

Ce type de mortier illustré dans la figure **I.1** est utilisé généralement Pour les chapes :

Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition : on y incorpore alors souvent des produits spécifiques. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol. Les chapes doivent présenter une résistance suffisante pour assurer la transmission des charges au support, et parfois résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels).

Adhérente ou flottante, la chape peut également avoir une fonction thermique ou acoustique. Ces ouvrages sont décrits dans la norme **NF P 14-201« DTU 26.2. Travaux de bâtiment. Chapes et dalles à base de liants hydrauliques. » [6].**



Figure I.1 : Les mortiers pour chapes

I.2.3.2 Enduits

Ce domaine d'application, qui constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers, Rappelons simplement qu'à côté des enduits traditionnels en trois couches décrits dans la norme **NF P 15-201 (DTU 26.1),** se développent aujourd'hui les enduits monocouches épais, ainsi que les enduits isolants considérés encore comme non traditionnels. Ces produits font l'objet d'une procédure d'Avis technique par le **CSTB [6].**



Figure I.2 : Les mortiers pour enduit

I.2.3.3 Joints de maçonnerie

La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierres de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche. On a généralement intérêt à utiliser des mortiers ne présentant pas un module d'élasticité trop élevé, de façon à pouvoir s'adapter aux variations dimensionnelles des éléments qu'il liaisonne sans fissurer.

Les mortiers de joints constituent donc un maillon important de la maçonnerie, qui doit être bien étudié et bien mis en œuvre pour assurer la fonction qui lui est dévolue. C'est notamment le cas de la maçonnerie apparente. La norme **XP P 10-202-1 « DTU 20.1.Ouvrage en maçonnerie de petits éléments. Parois et murs. »** Fournit des indications sur les dosages préconisés pour les mortiers de jointoiement, ainsi que les préconisations pour leur mise en œuvre **[6].**



Figure I.3 : Les mortiers pour joint de maçonnerie

I.2.3.4 Scellements et calages

La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques

Adaptés aux travaux à réaliser : scellements d'éléments de couverture, scellements d'éléments de second œuvre, scellements de regards de visite **[6]**, assemblage des éléments préfabriqués sont caractérisée par :

- Absence de retrait ;
- Caractère expansif du mortier ;
- Résistance au jeune âge ;



Figure I.4 : Les mortiers pour scellements et les calages

I.2.3.5 Mortiers et coulis de réparation

Comme son nom l'indique, ce type de mortier est utilisé pour le reprofilage du béton, la reconstitution de la protection des armatures, et le rétablissement de l'étanchéité. La figure **I.5** illustre en gros une partie du cas pratique **[6].**

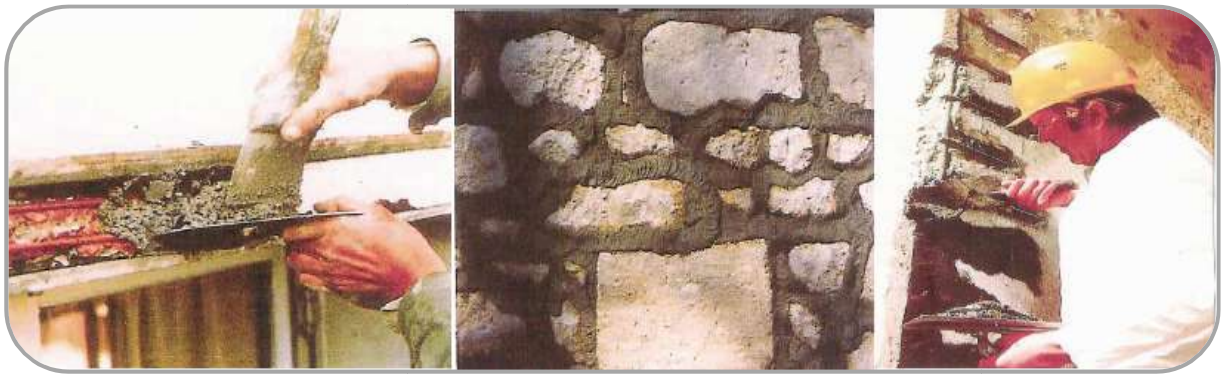


Figure I.5 : Les mortiers et coulis de réparation

I.2.4 Composants du mortier

Le mortier est un des matériaux de construction, qui contient du ciment; de l'eau; du sable; des adjuvants et éventuellement des additions. Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure **[7].**

Les mortiers sont constitués par des mélanges de:

- Liant (ciment ou chaux)
- Sable
- Ajout
- Adjuvants
- Eau

a. Les liants

Généralement, on peut utiliser:

- les ciments normalisés (gris ou blanc);
- les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt, ..)
- les liants à maçonner;
- les chaux hydrauliques naturelles;
- les chaux éteintes

b. Les sables

Normalement, les sables utilisés sont les sables appelés "sable normalisé". Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide. **[7].**

Ils peuvent être:

- Naturels et roulés (de rivières, de sablières, ..), de nature siliceuse ou silico-calcaire;
- Naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites. Ils sont anguleux et durs.
- Spéciaux (lourds, réfractaires, légers):
- Sable de laitier;

- Sable d'oxydes de fer, de chromite;
- Corindon;
- Sable de briques concassés;
- Liège torréfié;
- Polystyrène expansé;
- Vermiculite, perlite.

Certains sables sont à éviter, notamment les "sables à lapin", généralement très fins, les sables crus qui manquent de fines et les sables de dunes ou de mer qui contiennent des sels néfastes pour les constituants des ciments, par contre ils doivent être propres **[7].**

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est:

- Extra-fins: jusqu'à 0,8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire);
- Fins: jusqu'à 1,6 mm;
- Moyens: jusqu'à 3,15 mm;
- Gros: jusqu'à 5 mm.

c. Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants:

- Les plastifiants (réducteurs d'eau);
- Les entraîneurs d'air;
- Les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs);
- Les hydrofuges.

Dans tous les cas des soins particuliers doivent être pris afin d'obtenir des mortiers sans ressuage, homogènes d'une gâchée à l'autre **[7].**

c.1 Les ajouts

Les ajouts que l'on utilise dans les mortiers sont:

- Poudres fines pouzzolaniques (Cendres, Fumée de silice...);
- Fibres de différentes natures;
- Olorants (naturels ou synthétiques); Polymères **[7].**

d. Eau : l'eau doit être propre exempte de toute impureté.

I.2.5 Caractéristiques principales

Les caractéristiques principales des mortiers sont:

- Ouvrabilité;
- Prise;
- Résistances mécaniques;
- Retraits et gonflements, etc.

I.2.5.1 Ouvrabilité

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils. Les plus connus sont:

a. La table à secousses: le mortier, après avoir été mis en place et démoulé d'un moule tronconique, reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue **[8].** L'étalement en % est donné par la formule:

$$E\% = 100\,\frac{D_r - D_i}{D_i}$$

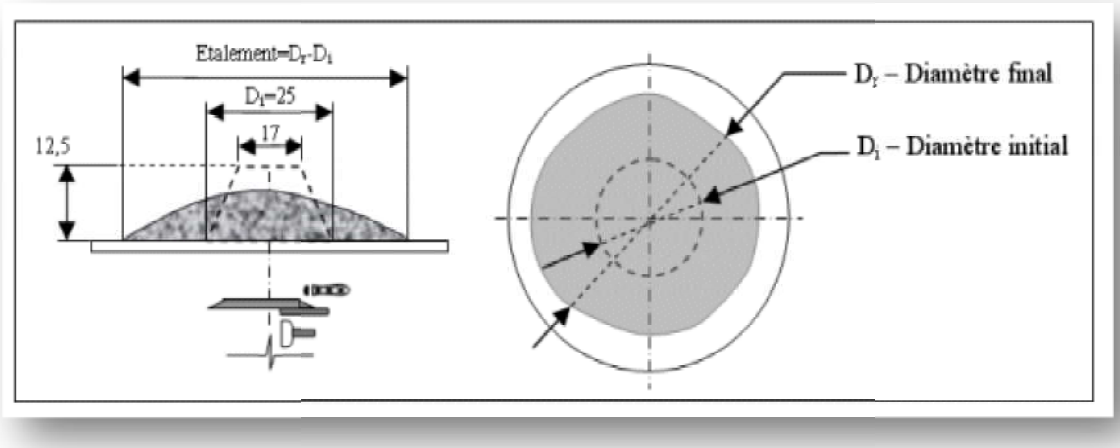


Figure I.6 : Table à secousses

Avec : D_r = Diamètre final et D_i = Diamètre initial.

b. Le maniabilimètre du LCPC: il est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibrateur. Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibrations pour atteindre un trait repère gravé sur la face intérieure du moule **[8]**.

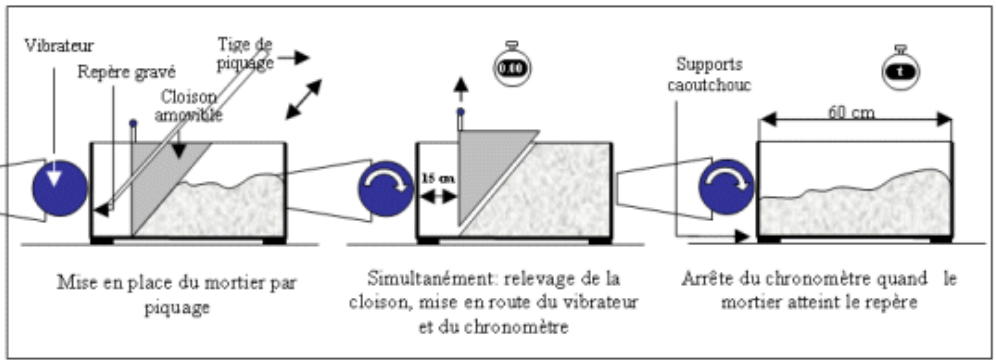


Figure I.7 : Principe de fonctionnement du maniabilimètre

c. Le cône: dans le cas d'un mortier fluide, on peut mesurer le temps d'écoulement d'une certaine quantité de mortier a travers d'un ajustage calibré situé à la partie inférieure d'un cône. Le cône peut aussi être muni d'un vibrateur **[8]**.

I.2.5.2 Prise

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30 % d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes. Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur. **[8]**.

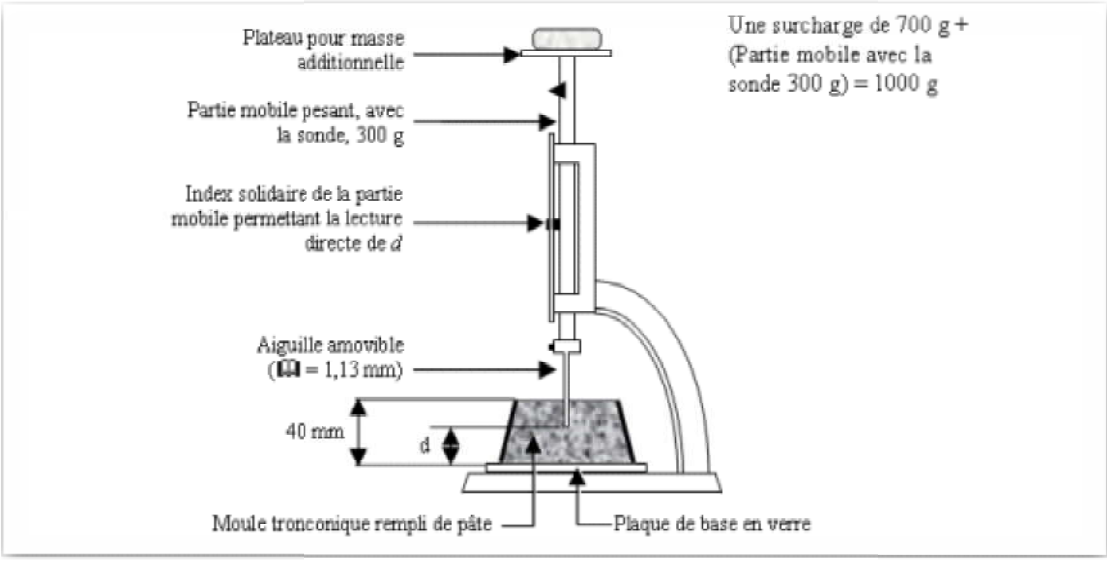


Figure I.8 : Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge

I.2.5.3 Résistances mécaniques

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de **4 x 4 x 16 cm** conservés dans l'eau à 20 °C. **[9]**.

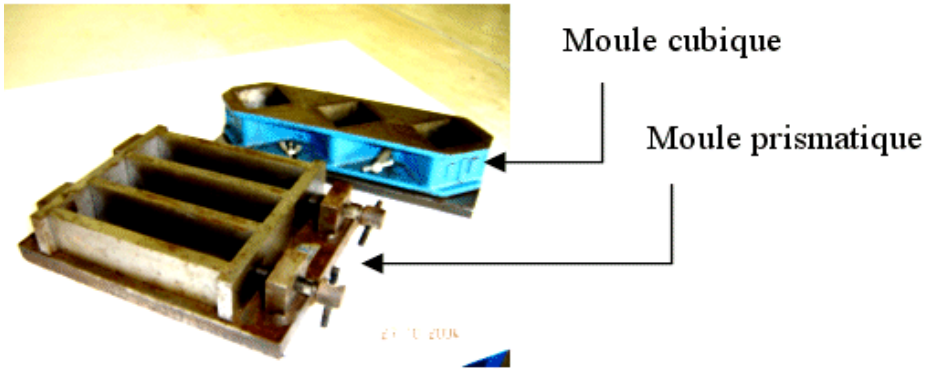


Figure I.9 : Moule pour moulage des éprouvettes de mortier

Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

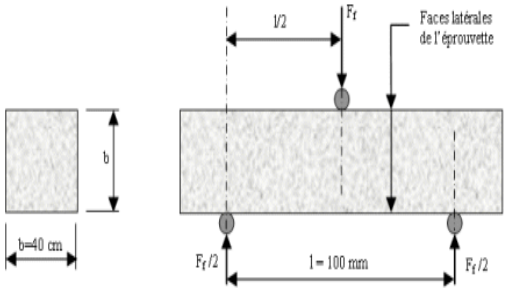


Fig. I.10 : Dispositif pour l'essai De résistance à la flexion.

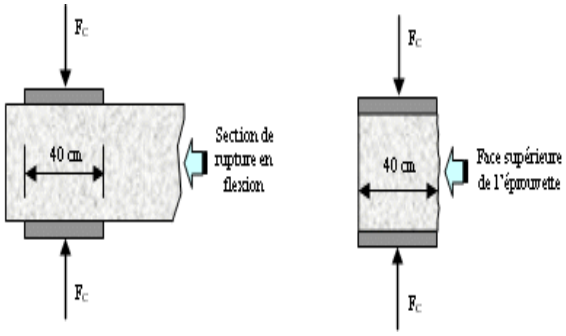


Fig. I.11 : Dispositif de rupture en compression.

Les résistances des mortiers (comme dans le cas des bétons) dépendent de très nombreux facteurs:

- Nature et dosage en ciment;
- Rapport C/E;
- Granulométrie et nature du sable;
- Energie de malaxage et mise en œuvre;
- Protection les tous premiers jours.

I.2.5.4 Retraits et gonflements

Les retraits se mesurent sur des prismes **4 x 4 x 16** cm en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à 20 °C et à 50 % d'humidité relative. Ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 1 et 28 jours.

Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment).

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de **4 x 4 x 16** cm conservées dans l'eau à 20 °C. Ils sont en général assez faibles (cas de ciment stable ayant une expansion aux aiguilles de le Châtelier inférieure sur pâte pure à 10 mm). **[10]**.

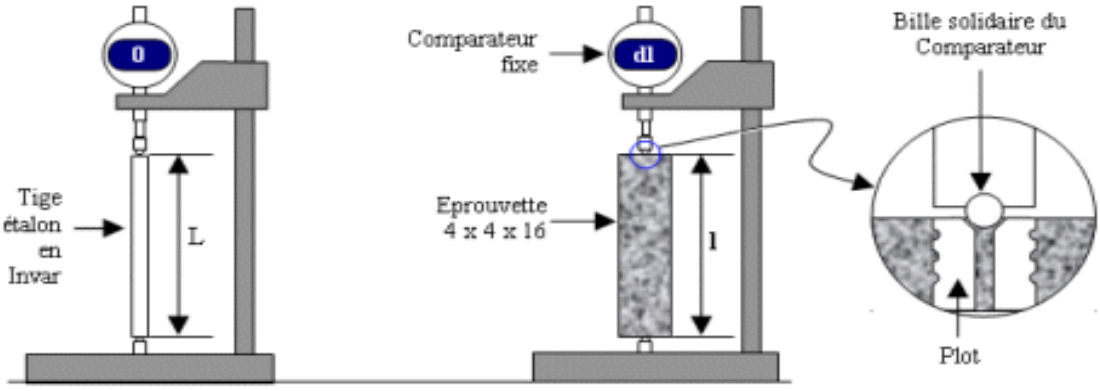


Figure I.12 : Appareillage pour la mesure du retrait

I.3 Le béton

I.3.1 Introduction

Le béton est un mélange de plusieurs composants: ciment, eau, granulats et, le plus souvent, adjuvants qui constituent un ensemble homogène. Les composants sont très différents : leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants, de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m^3 ; les dimensions de leurs grains s'échelonnent de 0,5 µm (grains les plus fins du ciment) à 25 mm (gravillons).

Le béton est un matériau facile à mouler quelles que soient les formes de l'ouvrage, à l'épreuve du temps, économique, résistant au feu et nécessitant peu d'entretien. Matériau composite, mis en œuvre de multiples manières, il répond à un grand nombre de spécifications **:** résistance mécanique, notamment à la compression, isolation thermique et phonique, étanchéité, aspect, durabilité, sécurité incendie.

I.3.2 Composants du béton

Nous allons définir les composants suivants : les ciments, les granulats et l'eau de gâchage.

I.3.2.1 Ciments

a. Définition du ciment

Selon la norme **ENV 197 [12] [Ou selon la norme NBN B 12-001 (1993)]** : " le ciment est un liant hydraulique, c'est -à-dire une matière inorganique finement moulue qui gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau" **[11].**

b. Constituants des ciments

Les ciments ne sont pas des matériaux purs mais sont constitués de plusieurs constituants dont la nature et les proportions permettent de composer les divers types de ciments.

Les constituants principaux sont :

- Clinker portland ;
- Laitier granulé de haut-fourneaux ;
- Cendres volantes ;
- Calcaire ;
- Filler ;
- Sulfate de calcium ;
- Pouzzolanes naturelles ;
- Additifs.

b.1 Clinker Portland

Le clinker portland est obtenu par cuisson, au moins jusqu'à fusion partielle d'un mélange de matière première contenant principalement de calcaire et d'argile **[11].**

Les proportions respectives moyennes de ses phases de composition sont en moyenne de :

- 50 à 70% pour le C_3S (silicate tricalcique) ;
- 5 à 25% pour le C_2S (silicate bi calcique) ;
- 2 à 12% pour le C_3A (aluminate tricalcique) ;
- 0 à 15% pour le C_4AF (alumino ferrite tetracalcique) .

b.2 Laitier granulé de haut-fourneau

Le laitier granulé de haut-fourneau est obtenu par refroidissement rapide de la scorie fondue de composition convenable provenant de la fusion du minerai de fer dans le haut-fourneau **[11].**

Leur composition élémentaire globale est :

- 35 à 45 % pour le CaO ;
- 30 à 40 % pour le SiO_2 ;
- 10 à 20 % pour le Al_2O_3 ;
- 5 à 25 % pour le MgO .

b.3 Cendres volantes

"Les cendres volantes sont obtenues par dépoussiérage électrostatique ou mécanique de particules pulvérulentes du courant de gaz de chaudières alimentées au charbon pulvérisé." **[11].**

b.4 Calcaires

Les calcaires utilisés comme constituant du ciment et non comme constituant secondaire. C'est -à-dire lorsqu'ils représentent plus de 5% de la masse totale du ciment, doivent présenter une proportion de carbonate de calcium $CaCO_3$ supérieure à 75% en masse **[11].**

b.5 Filler

Les filler sont des matières inorganiques minérales, naturelles ou artificielles spécialement sélectionnées, qui après une préparation appropriée en fonction de leur granulométrie, améliorent les propriétés physique des ciments. Dans un ciment, la teneur en filler est limitée à **5% [11].**

b.6 Sulfate de calcium

Le sulfate de calcium doit être ajouté en faible quantité aux autres constituants du ciment au cours de sa fabrication en vue de régler la prise **[11].**

b.7 Pouzzolanes naturelles

Les pouzzolanes naturelles sont des produits d'origine volcanique, ou des roches sédimentaires, présentant des propriétés pouzzolaniques. Elles sont composées de silice réactive (plus de 25%), d'alumine et d'oxyde de fer. **[11].**

b.8 Additifs

Les additifs au sens sont des constituants ajoutés pour améliorer la fabrication ou les propriétés du ciment **[11].**

c. Fabrication du ciment

La fabrication du ciment comporte les étapes suivantes : **[11].**

c.1 Extraction

L'extraction consiste en général pour le calcaire, à abattre la roche à l'explosif, dans des carrières généralement à ciel ouvert, par contre, pour l'argile qui est beaucoup plus meuble est exploitée au moyen d'excavateurs ou de roues-pelles avant d'être transportée par camions.

c.2 Concassage

Les matériaux extrait des carrières présentant des granulométries grossières allant jusqu'au m^3, On est obligé de limiter celle-ci jusqu'au 100 mm par le concassage.

c.3 Préparation

C'est la phase de mélange entre le calcaire et l'argile pour préparer le clinker, et se fait en quatre procédés :

- La voie sèche ;
- La voie humide ;
- La voie semi-sèche ;
- La voie semi-humide.
  - ✓ Pour chaque procédé, il faut quatre phases :
- Pré homogénéisation ;
- Broyage-séchage ;
- Séparation ;
- Homogénéisation.

c.4 Cuisson

Réalisée dans des fours rotatifs de 5 m de diamètre et de 80 à 100 m de longueur à une température comprise entre 1400 et 1500 ^oC , la cuisson permet la transformation du cru en clinker.

c.5 Refroidissement

Cette opération a pour but d'abaisser la température du clinker.

c.6 Broyage

Le broyage a pour objectif, d'une part de réduire les granulés de clinker en poudre, d'autre part de procéder à l'ajout du gypse.

c.7 Stockage, ensachage et expédition

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers les silos de stockage, pour être soit ensaché soit expédié.

d. Différents types de ciments

d.1 Ciments naturels

Obtenus par cuisson de roches calcaires contenant 20 à 40 % d'argile. Ils sont à prise rapide ou demi-lente et ne conduisent pas à des résistances finales élevées **[11].** Exemple : les ciments prompts

d.2 Ciments artificiels

Ce sont les ciments portland.

Ce sont les liants les plus importants et les plus employés dans la construction actuelle:**[11].**

Ils sont à prise lente et on distingue les catégories suivantes :

- **CPA :** Ciment Portland artificiel (97% clinker plus des fillers) ;
- **CPJ :** Ciment Portland composé (65% clinker plus des ajouts) ;
- **CHF :** Ciment de haute-fourneau (40% à 75% laitier plus du clinker) ;
- **CLK :** Ciment de laitier au clinker (80% laitier plus du clinker).

e. Caractéristiques des ciments

e.1 Caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques sont: la prise, le durcissement, le retrait, la masse volumique,…, etc.

e.2 Caractéristiques chimiques

Chaque type de ciment est caractérisé par une composition chimique bien déterminée.

e.3 Caractéristiques mécaniques

Les ciments sont classés en fonction de leurs résistances mécaniques à la compression exprimées en MPA à 28 jours, la norme spécifiant une limite inférieure et une limite supérieure à cette résistance mécanique **[13].**

I.3.2.2 Les granulats

a. Définition

On appelle "granulats" les matériaux inertes, sables, gravier ou cailloux, qui entrent dans la composition des bétons. C'est l'ensemble des grains compris entre 0 et 125 mm dont l'origine peut être naturelle, artificielle ou provenant de recyclage. Ces matériaux sont quelque fois encore appelés "agrégats**" [14].**

b. Classes granulaires

Les granulats sont classés en fonction de leurs grosseurs déterminées par criblage sur des tamis à mailles carrées dont la dimension intérieure est exprimée en millimètres.

On appelle "tamisât" la partie des granulats qui est passée à travers le tamis, et "refus" la partie qui est restée sur le tamis.

Le terme "granulat d/D" est réservé aux granulats dont les dimensions s'étalent de d pour les petits éléments à D pour les gros éléments

La norme **XP P18-540,[15]** précise les appellations des différentes classes granulaires avec leurs caractéristiques dimensionnelles :

- **Filler 0/D** : pour D<2mm et ayant au moins 70% de grains passant au tamis de 0.63 mm.
- **Sablon 0/D** : pour D≤1mm et avec moins de 70% de grains passant au tamis de 0.63 mm.
- **Sable 0/D** : lorsque : 1mm<d≤6.3mm.
- **Graves 0/D** : lorsque : D>6.3mm.
- **Gravillons d/**D : lorsque : d≥1mm et D≤125mm. **[11].**
- **Ballast d/D** : lorsque : d≥25mm et D≤50mm.

c. Forme des granulats

c.1 Granulats roulés

Ils sont plus faciles à mettre en place, ne nécessitent pas de moyens de serrage importants, glissent bien entre les armatures et conviennent particulièrement au béton armé. **[11].**

c.2 Granulats concassés

Ils donnent lieu à des bétons raides à mise en place difficile. Par contre, ils adhèrent bien à la pâte de ciment et procurent au béton une plus grande résistance notamment à la traction. **[11].**

d. Caractéristiques des granulats

Les granulats constituent la plus grande partie du béton et influent fortement sur ses caractéristiques. Ils doivent donc présenter des qualités requises.

d.1 Masses volumiques

La masse volumique ″ ρ ″ est définie comme le rapport de la masse sèche ″M″ d'un corps par unité de volume ″V ″, elle est donnée par la formule suivante :

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Et s'exprime en : t/m^3 ; Kg/dm^3 ; g/cm^3.

On distingue deux volumes : le volume apparent et le volume absolu. On est donc conduit à définir deux masses volumiques :

- La masse volumique apparente :

Qui est la masse de l'unité de volume apparent (y compris les vides) d'un corps.

- La masse volumique absolue :

Qui est la masse de l'unité de volume absolu (volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains) d'un corps.

La connaissance de la masse et du volume permet le calcul :

- Du dosage volumétrique de composants (sable, gravier, ciment) du mortier, pâte et bétons.
- Du volume des matériaux pulvérulents à transporter et des dimensions des silos et entrepôts destinés au stockage de ces matériaux.

Les masses volumiques sont calculées d'après les normes : **NA 451 [18]** et **NF P 18-558 [27] .**

d.2 Densité

La densité est le rapport entre la masse d'un certain volume d'un corps et la masse d'un égal volume d'eau à (+ 4°C).

- On distingue la densité apparente et la densité absolue.
- La densité est un simple rapport sans dimension.

d.3 Porosité - compacité - indice des vides

- Porosité :

On appelle porosité $''P''$ d'un granulat le volume $''v''$ des vides contenus dans l'unité de volume $''V''$ de matière, elle est donnée par la formule suivante :

$$P = \frac{v}{V}.100(\%)$$

- Compacité :

C'est le rapport du volume de matière pleine au volume total :

$$C = \frac{V - v}{V}.100(\%) = (1 - \frac{v}{V}).100(\%).$$

- Indice des vides :

Est le rapport : $I = \frac{v}{V - v}$ ou $I = \frac{P}{C}$

L'essai est normalisé selon la norme **NA 451 [18].**

d.4 Propreté

- Propreté de gravier :

L'impureté est le pourcentage de vase, de limon, d'argile et de matières solubles.

La norme prohibe les impuretés telles que le charbon, les déchets de bois, feuilles mortes, , etc.

Pour la propreté des gravillons, il convient d'éviter surtout la présence de la gangue argileuse ou des poussières qui risquent de compromettre l'adhérence du mortier sur les graviers et par conséquence de diminuer la résistance.

Le pourcentage des impuretés à ne pas dépasser est fixé à **3% NF P 18-559 [28].**

- L'équivalent de sable :

Les sables utilisés dans différentes domaines ne sont pas tous propres, ils contiennent une proportion plus ou mois importantes des argiles fins nuisibles qui peuvent réduire considérablement la qualité des matériaux.

Cette proportion relative d'impureté dans le sable peut être déterminée grâce à l'essai de propreté appelé "équivalent de sable".

Le but de cet essai est de mettre en évidence la propreté du sable.

Cet essai consiste à faire floculer, dans des conditions normalisées de temps et d'agitation, les impuretés du sable.

Cet essai peut être réalisé par deux types de mesure :

- Mesure avec une règle de mesure (ESv).
- Mesure avec un piston (ES).

$$\begin{cases} ESV = \dfrac{h_2'}{h_1}.100 \\ ES = \dfrac{h_2}{h_1}.100 \end{cases}$$

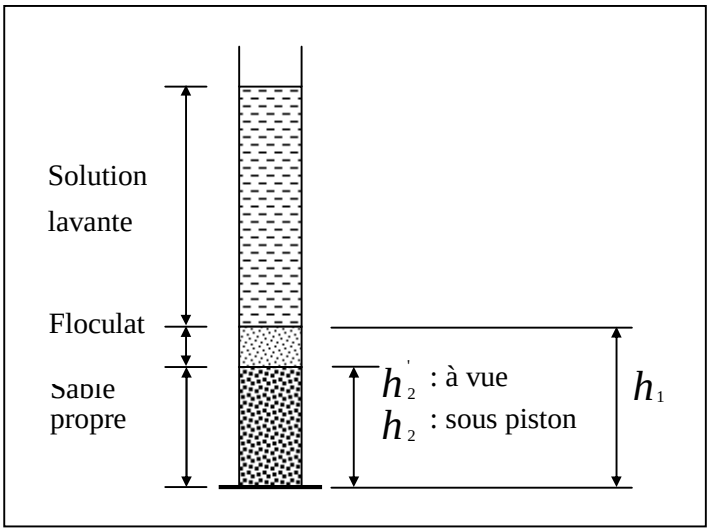


Fig I.13 : Les différents repères de l'essai d'équivalent de sable.

L'essai est normalisé selon la norme **NF P 18-597 [29]** et les valeurs préconisées pour l'équivalent de sable sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau I.1 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable [11].

ESV à vue (en%)	ES piston (en%)	Nature et qualité du sable.
ESV < 65	ES < 60	Sable argileux : à ne pas utiliser.
65 ≤ ESV < 75	60 ≤ ES < 70	Sable légèrement argileux : Admissible pour bétons courants avec risque de retrait important.
75 ≤ ESV <85	70 ≤ ES < 80	Sable propre : convient bien pour les bétons de haute qualité.
ESV ≥ 85	ES ≥ 80	Sable très propre : absence presque totale de fines argileuses.

- Granulométrie **:**

Objet de la norme

La présente norme a pour objet de définir les granulats et leur classification d'après la dimension de leurs grains et de fixer la méthode à suivre pour l'analyse et le tracé de la courbe granulométrique.

Domaine d'application

La présente norme s'applique aux granulats utilisés dans le bâtiment et les travaux publics, destinés notamment aux usages routiers ou à la confection des bétons de construction et dont la granularité est déterminée par tamisage

Le tamisage

L'analyse granulométrique par tamisage s'effectue au moyen d'une série de tamis d'ouvertures normalisées. Les particules à tamiser sont d'abord séparées par lavage. Les grosses particules sont ensuite fractionnées au moyen des tamis. Le pourcentage massique de refus est obtenu par le rapport de la masse du refus et de la masse totale initiale sèche du matériau. Le pourcentage massique de tamisât est égale au complément du pourcentage massique de refus (100-pourcentage massique de refus). La variation du pourcentage massique de tamisât est tracée en fonction du logarithme décimale de la maille du tamis.

Une échelle logarithmique de la maille du tamis est plus convenable pour représenter adéquatement l'étendue des valeurs de la dimension de la particule. L'essai est normalisé selon la norme **NA 2607-1990 [30].**

Courbe granulométrique

On trace la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage des tamisât sous les tamis dont les mailles D sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique.

La forme de la courbe granulométrique représente la distribution de la dimension de la particule. Cette distribution peut être qualifiée d'uniforme si les dimensions des particules sont voisines. La courbe granulométrique est caractérisée par deux coefficients :

- Le coefficient d'uniformité C_u : $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$
- Le coefficient de courbure C_c : $C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10}.d_{60}}$

Avec :

d_{10} : Diamètre moyen des grains correspondant à 10% passant par poids.

d_{30} : Diamètre moyen des grains correspondant à 30% passant par poids.

d_{60} : Diamètre moyen des grains correspondant à 60% passant par poids.

La distribution des dimensions des particules est dite :

- Bien graduée si : C_u>10
- Etalée si : C_u>2
- Uniforme ou serrée si : C_u<2

D'une courbe granulométrique on peut tirer les renseignements suivants :

- Les limites de d à D du granulat considéré ;
- La proportion d'éléments fins ;
- La continuité ou la discontinuité de la granularité.

- Module de finesse

Le module de finesse Mf d'un granulat est égal au 1/100 de la somme des refus, exprimés en pourcentages sur les différents tamis de la série suivante : 0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5-10-20-40 et 80mm.

Le module de finesse étant presque exclusivement vérifié sur les sables, les tamis concernés sont : 0.16-0.315-0.63-1.25-2.5- et 5 mm **[11].**

Le module de finesse est plus particulièrement appliqué aux sables dont il est une caractéristique important. Un module de finesse est d'autant plus faible que le granulat est riche en éléments fins.

La teneur en eau de gâchage est inversement proportionnelle au module de finesse, donc la résistance croit avec l'augmentation de module de finesse.

La norme **P 18-541 [31],** indique que le module de finesse des sables doit être compris entre 1.8 et 3.2

- Si : 2.2<Mf<2.8 : convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.
- Si : 1.8<Mf<2.2 : est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en ouvre.

- Si : 2.8<Mf<3.2 : correspond à des sables à utiliser pour la recherche de résistances élevées, mais on aura une moins bonne ouvrabilité et des risques de ségrégation.

Dreux admet qu'un bon sable à béton doit avoir un module de finesse compris entre 2.2 à 2.8 **[11].**

- Essai de Los-Angeles

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6mm produite en soumettant le granulat aux chocs de boules normalisées dans la machine los Angeles conformément à la norme **NF P 18-573 [32].** Cette dernière stipule la valeur spécifique limite de 40% à ne pas dépasser.

L'essai sert à évaluer la ténacité et la fragilité du matériau par la mesure de coefficient de Los-Angeles LA.

Les granulats sont qualifiés comme suite :

LA < 15 : très bon ;

15 ≤ LA < 20 : bon à moyen ;

20 ≤ LA< 30 : moyen à faible ;

LA ≥ 30 : médiocre.

e. Gravillons ou cailloux

On définira ici deux coefficients :

e.1 Coefficient volumétrique NF P18-301 [17].

Il permet de donner une idée précise sur la forme de l'élément considéré. C'est pour un grain, le rapport entre le volume "V" du grain au volume "V" de la sphère circonscrite de diamètre d (d étant la plus grande dimension du grain). Il est donné par la formule :

$$C_v = \frac{V}{\frac{\pi . d^3}{6}}$$ Avec : [V] : m^3 et [d] : m

Pour un ensemble de grain on a :

$$C_v = \frac{\sum V}{\sum \frac{\pi . d^3}{6}}$$

Si C_v est faible alors les granulats sont assez plats.

Si C_v est grand alors les granulats sont assez arrondis.

La norme NF P 18-301 préconise :

$\begin{cases} C_v \geq 0.15 \text{ pour les gravillons.} \\ C_v \geq 0.11 \text{ pour les cailloux.} \end{cases}$

e. 2 Coefficient d'aplatissement NF P 18-561 [16].

Le coefficient d'aplatissement "A" d'un lot de granulat est par définition, le pourcentage des éléments tels que :

$\frac{G}{E} > 1{,}58$

G : étant la dimension de la maille carrée minimale par laquelle passe l'élément.

E : est le plus petit écartement d'un couple de plans tangents parallèles.

f. Sable

f.1 Définition

On appelle sable d'une manière générale, le mélange meuble de grains de 0 à 6.3 mm de provenance naturelle ou artificielle.

Le sable est dit :

1 / <u>Naturel</u> :

Lorsqu'il est issu de roches meubles ou massives et ne subissant aucun traitement autre que mécanique (sable de mer, sable d'oued, sable de concassage et de dune).

2/ <u>Artificiel</u> :

Lorsqu'il provient de la transformation à la fois thermique de roches ou de minerais (sable d'argile expansée, sable de laitiers granulés ou concassés, sable de briques…, etc.).

3/ <u>Recyclé</u> :

Lorsqu'il provient de la démolition d'ouvrages.

3.1 Selon la grosseur des grains on distingue :

- Sable fin : 0,08 à 0,315 mm
- Sable moyen : 0,315 à 1,25 mm
- Sable grossier : 1,25 à 6,3 mm

3.2 Selon la masse volumique on distingue :

- Sable léger : masse volumique < 2000Kg/m^3
- Sable courant : masse volumique comprise entre 2000 et 3000 Kg/m^3
- Sable lourd : masse volumique > 3000 Kg/m^3

g. Le sable à béton

Le sable est l'élément qui assure le béton, selon ses qualités, une influence prépondérante, il participe à la résistance, il donne la cohésion du mélange, du mortier ou béton. Il doit être dense

provenant des roches chimiquement inertes tels que : les calcaires durs, et stable, c'est-à-dire inaltérable à l'air, à l'eau et au gel. Il ne doit pas contenir d'éléments nuisibles (matières organiques, argiles, sels solubles, …, etc.).

Les sables à bétons sont caractérisés par leur **: [11]**

- **Classe granulaire 0/D :** Selon la norme **NA 1947** : D ≤4 mm.
- **La teneur en fines :** Doit être inferieure ou égale à 15%.
- **Le module de finesse :** 1,8≤ M f ≤ 3,2.
- **Propreté :** Elle est déterminée par la mesure de l'équivalent de sable selon la norme **P 18-598 [20]**, ou par la valeur au bleu de méthylène selon la norme **P 18-595 [19]**.
- **Matières organiques :** La présence de matières organiques dans le sable est déterminée par l'essai colorimétrique décrit dans la norme **NA 5017 [21] .**
- **Dureté des grains :** Elle est déterminée par la mesure du coefficient de friabilité des sables (FS), selon la norme **NA 2608[22]** . La valeur spécifiée est : FS≤60.
- **Sulfates et sulfures :** La teneur en soufre totale (S), selon la norme **NA 461[23]** , doit être inférieure ou égale à 0,3%.
- **Teneur en chlorures solubles :**

La teneur en chlorures solubles est déterminée selon la norme **NA 462 [24]** :

- Bétons non armés : 1% de la masse du ciment.
- Bétons armés : 0,4% de la masse du ciment.
- Bétons précontraints : 0,2% de la masse du ciment.

- **L'absorption d'eau des sables :**

Selon la norme **NA 451 [18]**, le coefficient d'absorption d'eau du sable doit être inférieur ou égal à 5%.

h. Elaboration de sable de concassage

Les sables de concassage présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, degré de concassage.

La valorisation des sables de concassage dans l'emploi des bétons constitue une action d'intérêt général de portée nationale.

Actuellement en Algérie, les sables de concassage par leur méconnaissance, ils sont les moins recherchés que les sables d'oued ou de mer par l'absence de normes ou des règles qui définissent leurs caractéristiques ainsi que leur limite d'emploi.

Devant ce constat, le centre national d'études et de recherche intégrées du bâtiment (CNERIB) a été chargé par la commission technique permanente du ministère de l'habitat et de l'urbanisme (CTP), de

mener des travaux de recherche permettant la valorisation des sables de concassage, fabriqués par le potentiel national de production, pour la confection des mortiers et bétons **[25].**

Ces types de sables sont les résidus de la production des graviers et gravillons, ils contiennent souvent une quantité exagérée de fines.

L'élaboration de sable de concassage à partir de roches meubles ou massives nécessite un certain nombre d'opérations. Les caractéristiques géométriques (granularité) et de propreté des sables dépendent du processus d'élaboration dans les installations de traitement.

h.1 L'extraction

L'ensemble des opérations d'extraction de la roche dans le gisement peut être défini dans un plan d'exploitation qui traite :

- De la reconnaissance du gisement ;
- De l'enlèvement de la découverte ;
- Des méthodes d'extraction ;
- De l'organisation des fronts ;
- De l'homogénéisation des produits extraits et, s'il y a lieu, de la dilution.

Dans les roches massives, l'extraction se fait par minage suivant des plans de définis permettant d'obtenir un produit de blocométrie de l'ordre de 0/1000 mm.

h.2 Le concassage et le broyage

La fragmentation des matériaux se fait par concassage et broyage, les producteurs de granulats appellent concassage la fragmentation grossière et broyage l'élaboration de sables, petits gravillons et fillers. Leur rôle est de réduire les dimensions des éléments pour obtenir la granularité souhaitée et pour améliorer leur forme .Les appareils utilisés se divisent en trois grandes catégories :

- Les appareils travaillant par écrasement lent ;
- Les appareils travaillant par chocs ;
- Les appareils à effets multiples, travaillant éventuellement par gravité.

h.3 Le criblage

C'est l'opération qui permet de séparer et de classer un ensemble de grains 0/Dn provenant de l'extraction et /ou de concassage en sous-ensembles 0/Di ou di/Di. Elle se fait au moyen de cribles vibrants inclinés, constitués par un caisson équipé de grilles mis en vibration, le plus souvent, par un arbre balourd, le tout étant supporté par une suspension souple (ressorts, tampons en caoutchouc).

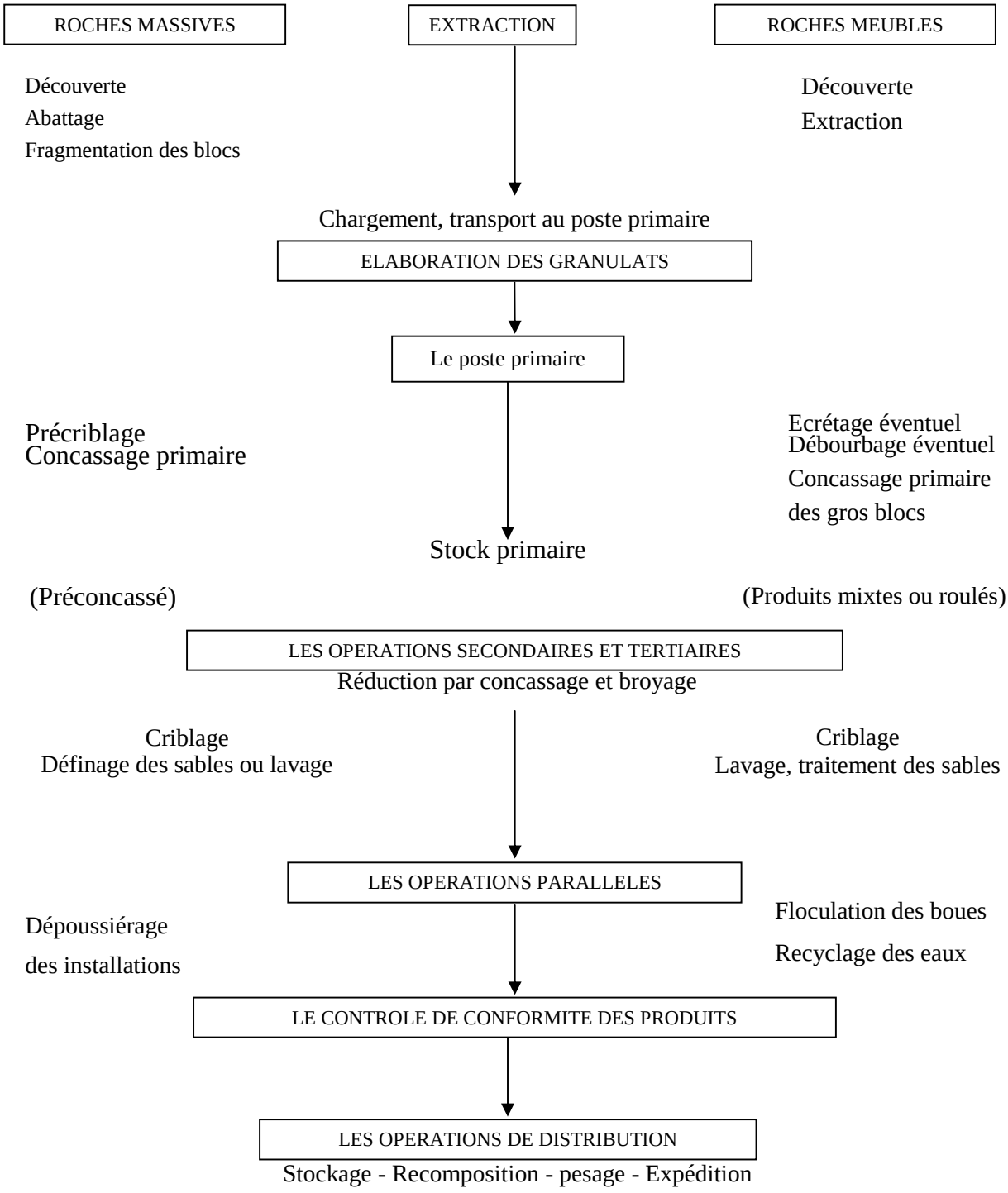


Figure I.14 : Extraction et élaboration des sables de concassage

h.4 Le lavage, Le définage

- **Le lavage des granulats**

Il a pour but d'éliminer les éléments de pollution (argiles) et l'excès des fines **(figure I.14)**.

On peut suivant le degré et le type de pollution faire :

- Un lavage après extraction (sur gros appareil débourbeur) ;
- Un lavage sur crible sur le tout venant et/ou les gravillons ;
- Un lavage du sable en fin de parcours .

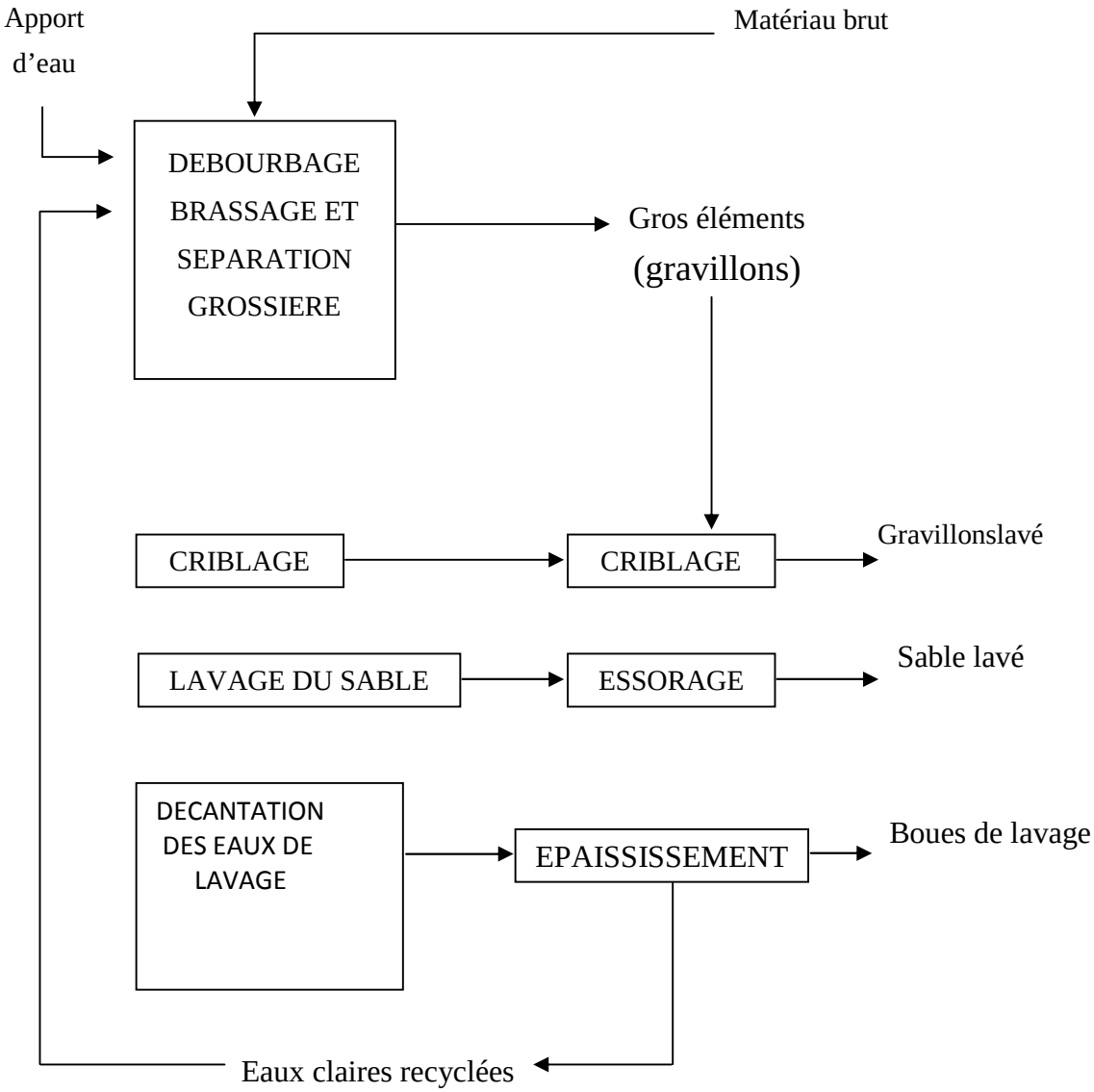


Figure I.15 : Schéma général des opérations de lavage [25].

Le lavage des sables consiste en une mise en suspension dans l'eau dans un cône séparateur qui rejette les eaux boueuse de lavage et délivre une pulpe traitée dans un séparateur fluidique éliminant les fines (roues ou vis laveuses, hydro-cyclones).

- **Le définage à sec**

Il a pour but d'éliminer par voie sèche l'excès de fines de broyage des sables. Il ne peut se faire que sur des produits très peu pollués par de l'argile (valeur de bleu inférieure à 1) et secs (humidité inférieure à 0.6 - 0.8%). Dans les cas d'humidité plus élevée, il faut sécher le produit avant définage. Dans des conditions faciles (produit non pollué et sec), pour éliminer un excédent de fines, des systèmes du type goulotte de définage , procédant par brassage et aspiration , conviennent. Dans les autres cas, il faut faire appel à des technologies complexes mettant en œuvre des séparateurs centrifuges mécaniques à courant ascendant**. [25]**

I.3.2.3 L'eau de gâchage

L'eau de gâchage est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec du béton. Elle est nécessaire pour l'hydratation du liant, le mouillage des granulats et la facilité de mise en place du béton.
Pour convenir à la confection de bétons, les eaux ne doivent contenir ni composés risquant d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures.

a. Caractéristiques physiques

L'eau de gâchage doit être propre et ne doit pas contenir de matière en suspension au delà de 2 ou 5 g/l suivant la nature du béton **[26].**

b .Caractéristiques chimiques

L'eau ne doit pas contenir de sels dissous au-delà de 15 ou 30 g/l suivant la nature du béton **[26].**

I.3.3 Bétons spéciaux

I.3.3.1 Bétons auto-plaçant (BAP)

Les maîtres d'ouvrages, architectes, ingénieurs, entreprises, fabricants de béton et pré fabricants ont toujours recherché un béton ayant :

• une mise en place aisée,
• un bon remplissage des coffrages,
• un parfait enrobage des armatures,
• une forte compacité.

La vibration a toujours été le moyen d'obtenir ces caractéristiques. Devant la complexité croissante des structures, formes variées, fortes concentrations d'armature, les formulations de bétons ont dû s'adapter. Les bétons sont devenus de plus en plus fluides, malgré la réduction de la quantité d'eau de gâchage, à tel point que la vibration n'est plus devenue nécessaire. Le béton auto-plaçant était né.

Cette hyperfluidité du béton a été rendue possible par l'arrivée sur le marché des dernières générations d'adjuvants « superplastifiants ». La base de ces adjuvants est une molécule complexe qui retarde L'hydratation du ciment et augmente considérablement la dispersion des grains de ciment.

a. Composition

Les BAP ont des compostions granulométriques fortement chargées en éléments fins.

Des adjuvants de type « superplasitifants », ou plastifiants « réducteurs d'eau » sont utilisés systématiquement.

Le rapport E/C + f, facteur principal dans la qualité d'un BAP, est voisin de 0,352.

b. Caractéristiques

Un BAP se caractérise par son hyperfluidité dont le seul moteur de mise en place est la gravité sans recours à la vibration.

I.3.3.2 Béton à haute performance (BHP)

Les bétons de hautes performances « BHP » ont d'abord été appelés « bétons de hautes résistances», car c'est cette caractéristique facilement mesurable qui a fait des progrès spectaculaires. Elle est passée de 30 à 35 MPa il y a quelques années, à plus de 100 MPa pour les bétons à 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 d'une 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 à 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 d'accélérer les cadences de fabrication en usine ou sur chantier.

a. Composition

La recherche des hautes performances passe par la réduction de la porosité du béton, c'est-à-dire de son pourcentage de vides, ainsi que le prévoit la théorie de Féret. Celle-ci établit une proportionnalité entre la résistance et l'inverse du carré du volume d'air et d'eau libre.

Les fumées de silice ont une action sur la granulométrie du mélange, mais présentent également une réactivité avec la chaux libre, liée à leur caractère pouzzolanique.

Les formulations actuelles de béton HP comportent le plus souvent en moyenne 400 à 500 kg de ciment, environ 700 kg de sable et 1 000 à 1 100 kg de gravillons. L'emploi d'un superplastifiant dosé entre 1 et 2 % du poids de ciment permet de réduire la teneur en eau de gâchage à une valeur comprise entre 140 litres et 160 litres.

b. Propriétés

• Le béton frais présente une bonne ouvrabilité liée aux super plastifiants entrant dans sa composition.

Les BHP sont des bétons fluides avec un E/C très bas (0,30 à 0,35). Les valeurs d'affaissement au cône sont supérieures à 15 cm dans la plupart des cas.

• Pour le béton durci, la propriété fondamentale sur laquelle on a déjà insisté et dont découlent la plupart des autres, est sa faible porosité. Un béton courant présente une porosité de 10 à 12 % ; pour un béton HP, elle est inférieure à 5 %.

• La durabilité est améliorée du fait de l'abaissement de la porosité et de la perméabilité. On constate, en particulier, une amélioration de la résistance aux agressions chimiques, qui se traduit par un comportement favorable en milieu marin ou en présence d'eaux agressives. La progression de la carbonatation en profondeur est réduite, ce qui assure une meilleure protection des armatures.

Les bétons HP présentent généralement une résistance au gel amélioré.

• L'ensemble des résistances mécaniques (compression, traction) est augmenté, alors que les déformations sous charges instantanées et surtout sous charges permanentes sont diminuées.

On a cité ces bétons à titre d'exemple, mais il ya plus que ces derniers qui sont par exemple :

- Le béton fibre a ultra hautes performances (**BFUP**)
- béton caverneux drainant (**BCD**) **[33].**

I.4 Les déchets

Les matériaux cimentaires, par leur performance en termes de résistance mécanique et de durabilité dominent le marché des matériaux de construction. Ils restent pourtant perfectibles: leur capacité de déformation très limitée ainsi que leur faible résistance à la traction les rendent sensibles à la fissuration, notamment la fissuration de retrait empêché et de fluage.

A titre d'exemple, les dallages, les chaussées et plus généralement les éléments mis en place en grande surface se fissurent sous l'effet du retrait. De plus, le vieillissement des structures en béton pose

de plus en plus le problème de leur réparation dont une des techniques utilisées est le rechargement mince adhérent. La fissuration de tels rechargements, quelle que soit son origine, joue un rôle moteur dans leur décollement et limite leur durabilité. Dans tous les cas, au delà du désagrément esthétique, cette fissuration peut être préjudiciable au fonctionnement même des structures. L'amélioration de la capacité de déformation des matériaux cimentaire est donc un en jeu majeur: c'est le challenge de notre travail.

Pour atteindre l'objectif visé, nous avons envisagé d'incorporer des granulats déformables (déchets) dans la matrice cimentaire. [**2]**

Les recherches concernant l'utilisation des sous-produits (déchet) afin d'augmenter les propriétés du béton ou de mortier ont fait l'objet depuis de nombreuses d'années. Dans les dernières décennies, les efforts ont été faits pour utiliser sous-produits industriels comme les cendres volantes, fumées de silice, le laitier granulé de haut fourneau tessons de verre, etc, pour obtenir 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.

Le remplacement, des déchets se fait en fonction de leur composition chimique et la taille des grains.

et leur utilisation dans le béton provient des contraintes environnementales dans l'élimination sûre des ces produits.

Au cours des 20 dernières années, beaucoup de travaille concernant l'utilisation de plusieurs types de déchets urbains dans la construction de matériaux industriels processus ont été publiés. Beaucoup de recherches ont été étendues pour étudier de nouveaux types de déchets pour enquêter sur les aspects profondément particuliers. L'addition de déchets, en dehors de l'avantage pour l'environnement, produit également des effets positifs sur les propriétés des produits finaux.

Un des déchets nouveaux utilisés dans l'industrie du béton est le plastique recyclé. Pour résoudre l'élimination d'une grande quantité de matériau plastique recyclé, la réutilisation de plastique dans l'industrie du béton est considéré comme l'application la plus faisable**.[34]**

Les composites « Ciment – (Grains, Fibre) Plastique » et « bétons – Plastique » 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 taux de récupération et de recyclage des plastiques sont très faibles, de l'ordre de quelques %, ce qui constitue une singularité par rapport aux autres matériaux de grande consommation : métal, verre,

papier. Ces déchets difficiles à recycler dans l'industrie plastique peuvent être employés dans le domaine de la construction routière, mais leur application reste assez marginale.
L'optimisation du renfort s'appuie sur l'analyse du processus de fissuration en traction des matériaux cimentaires et conduit à l'utilisation de différentes tailles et provenances de fibres**. [35]**

I.4.1 Définition

Toute activité humaine produit des déchets. Un déchet est caractérisé par le fait qu'il est devenu inutile, dangereux ou encombrants, aux yeux de son possesseur et que celui-ci cherche à s'en débarrasser.
La définition légale est : " Toute substance ou objet dont le propriétaire se défait ou a l'intention de se défaire ou l'obligation de se défaire "

Selon le Code de l'Environnement **(art. L541-1)**, un déchet est **« *tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien, meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon* »** . Autrement dit, tout élément qui est abandonné est un déchet. Ce n'est pas pour autant que cet élément est inutilisable, en l'état ou après modification. Seuls les déchets qualifiés d'ultimes sont réellement inutilisables et doivent être stockés pour éviter des pollutions de l'environnement. [**36]**

I.4.2 Définition juridique

Le **« déchet »** au sens juridique du terme, est défini par l'article L 541-1 du Code de l'Environnement et ce, sur des critères matériels (résidus d'un processus de production, transformation ou utilisation de toutes substances, matériaux, produits) et d'un autre critère tiré du comportement du détenteur qui correspond à la notion de l'abandon importe plus que de savoir si l'objet est devenu impropre à l'usage, a perdu toute valeur économique ou présente un danger pour l'environnement**.[36]**

I.4.3 Valorisation

La valorisation est définie comme « L'élimination des déchets comporte les opérations : collecte, transport, stockage, traitement nécessaires a la récupération des éléments et matériaux réutilisable.
Avant de valoriser un déchet, il faut connaitre 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 connaitre et connaitre pour agir**. [37]**

I.4.4 Constitution chimique des déchets

La plupart des déchets sont constitués des même molécule chimiques que celle des produit .
Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre de particularités, certain déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous produits de composition, a priori inconnue. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné.
Enfin, le mélange au hasard des déchets peu conduire a la formation des produits nouveaux **[36].**

I.4.5 Types de déchets

Il existe de nombreux types de déchets fabriqués par une variété de processus. Chaque type de déchets a différentes méthodes de gestion associés. Ce qui suit est une liste des types de déchets :

- Déchet d'abattoir
- Déchet banal
- Déchet en mer
- Déchet biodégradable
- Déchet chimique
- Déchet composite
- Déchet dangereux
- Déchets d'activités de soins à risques infectieux et assimilés
- Déchets d'équipements électriques et électroniques
- Déchet de cuisine
- Déchet domestique
- Déchet humain
- Déchet industriel spécial
- Déchet inerte
- Déchet médical
- Déchets d'activités de soins à risques infectieux et assimilés
- Déchet militaire
- Déchet radioactif (ou nucléaire)
- Déchet recyclable
- Déchet toxique
- Déchet ultime

Parmi ces derniers On distingue principalement quatre types de déchets :

I.4.5.1 Les déchets biodégradables

Les déchets **biodégradables** ou **biodéchets** appartiennent à une catégorie de déchets d'origine végétale ou animale en général, qui se décomposent grâce à d'autres organismes vivants (décomposeurs). Venant de jardin, d'espaces verts ou de cuisine, ils représentent généralement environ un tiers des déchets municipaux, et s'y ajoutent les eaux usées et les déchets agricoles et de l'industrie agroalimentaire et papetière. Tous ont des effets importants sur l'environnement, et présentent un risque pour la santé s'ils ne sont pas correctement traités. Ils peuvent être une source d'énergie (bioénergie, biocarburants, Compostage / amendements / engrais…), sous forme de biogaz qui peut maintenant être injecté dans le réseau de gaz dans certains pays, ou via le chauffage bois.

- **Typologies**

On les trouve généralement dans les résidus urbains solides (parfois appelées ordures ménagères biodégradables) comme :

- les déchets végétaux
- les déchets de cuisine
- les déchets de papier
- les plastiques biodégradables.

Les autres déchets biodégradables comprennent :

- les eaux-vannes
- le fumier
- les eaux usées
- les déchets d'abattoir

I.4.5.2 Les déchets ultimes

Un **déchet ultime** au sens de la réglementation française est défini comme suit :

« Déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux. »

- Code de l'Environnement Titre **IV 1-1, Art. L. 541-1.- III (Issu de Loi n°92-646 du 13 juillet 1992)**

Les déchets ultimes sont ceux situés en bout de chaîne de traitement, c'est-à-dire que leurs caractères polluants ou dangereux ne sont plus à même d'être réduits davantage. De la même manière, leurs parts valorisables ne sont plus économiquement et/ou techniquement extractibles.

I.4.5.3 Les déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux

Un **déchet industriel spécial** (ou DIS) est une catégorie de déchets (chimiques, biologiques, radioactifs…), d'origine industrielle et susceptible de présenter un danger pour l'homme et l'environnement. En France, la loi du **15 juillet 1975** interdit à toute entreprise d'abandonner, brûler, en fouir ou rejeter les Déchets Industriels Spéciaux (DIS) qu'elle produit. Les DIS doivent être traités via une filière différente de celle du Traitement des déchets ménagers et assimilés.

Les Déchets Toxiques en Quantités Dispersées (ou DTQD) et les déchets spéciaux hospitaliers ou vétérinaires, des laboratoires ou les agriculteurs (emballages et reste de pesticides..) en font partie...

- **Origines**

Ce sont des déchets liés à des activités industrielles lourdes, mais aussi au fonctionnement quotidien des installations, y compris hors industrie (piles, tubes fluorescents, batteries, huiles de vidange, solvants, vernis, restes de peintures…), déchets de chantiers. Quand ils ne sont pas inertes, ils font souvent l'objet d'une réglementation spécifique (amiante, produits radioactifs, explosifs, produits inflammables, etc.).

I.4.5.4 Les déchets recyclables

Ces matériaux peuvent être réutilisés tels quels dans d'autres domaines ou recyclés :

Par exemple :





Eaux usées:

Elle est traitée dans des stations d'épuration pour être à nouveau consommée.

a. 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 peu dangereux. En revanche, ils représentent des volumes importants à transporter et à stocker.

- **Acier :** Repris en l'état par des sociétés de récupération de métaux.

Fabrication des pièces de moteur, des outils, des boîtes de conserve, etc.

- **Aluminium:** Repris en l'état par des sociétés de récupération de métaux.

Fabrication des canettes, du « papier » d'emballage, des constituants d'automobile (culasses, jantes, boîtes de vitesses, etc.)

- **Caoutchouc :** Repris en l'état par des sociétés de récupération.

Les pneus hors d'usage sont utilisés pour produire des bacs à fleurs, des tréteaux, des panneaux d'insonorisation, des tuiles de revêtement de sol, de l'asphalte caoutchoutée, etc.

- **Papier:** Repris en l'état par des sociétés de récupération.

Fabrication d'autres types de papier et de carton, dalles pour faux-plafonds.

- **Plastique :** recyclée pour fabrication de sacs, de récipients et couvercles pour produits non alimentaires, de meubles de jardin, de vêtements, de jouets, de mobilier urbain, de clôtures, de tuyaux, de pièces d'automobile (pare-chocs, batteries…), d'éléments de signalisation routière, de cônes de voirie, etc.

Les plastiques sont hachés et servent de rembourrage ou de combustible.

b. 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.



Par Exemple :

Déchets organiques.Tels que huile , peinture, vernis, etc.	Incinération avec valorisation énergétique : production d'énergie et destruction des déchets peu combustibles. Avant rejet à l'atmosphère, les gaz restants sont traités au charbon actif par adsorption, et neutralisés.

c. 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.



Par exemple :

Boues de déchets industriels	Chauffage des déchets dans le but d'en réduire la masse et de valoriser les sous-produits. Il s'agit de techniques de séchage ou de séchage par incinération en utilisant différentes techniques. Les gaz issus du séchage peuvent être recyclés comme source de chaleur dans le procédé à partir d'une chaudière. En fonction des résidus obtenus par séchage, ceux-ci peuvent être stockés pour une utilisation ultérieure.

Métaux. Concerne les métaux tels que fûts, conteneurs, emballages légers, mâchefers, sels d'argent de bains photographiques, etc.	Les fûts, conteneurs, emballages légers (en fer blanc) qui ne sont pas réutilisés en l'état après nettoyage sont compactés et transportés aux aciéries). Les mâchefers, dépollués et ôtés de tout élément métallique sont réutilisés par l'industrie métallurgique. Les sels d'argent sont stockés et transférés dans un réacteur agité, pour précipiter le sulfure d'argent. Après séparation, on obtient une boue qui sera calcinée pour la récupération de lingots d'argent.

I.4.6 Déchets utilisés en génie civil

Particulièrement les déchets utilisables en génie civil soient les déchets inertes, les déchets ménagers et les déchets en sous produits industriels dans des conditions spécifiques. **[38].**

I.4.6.1 Déchets inerte

Les déchets inertes sont des déchets minéraux non pollués. Ils ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et ne se détériorent pas au contact d'autres matières d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

Ces déchets proviennent des activités de construction, de réhabilitation (rénovation) et de démolition liées au secteur du bâtiment, ainsi que des activités liées à la réalisation et à l'entretien d'ouvrages publics (routes, ponts, réseaux…).

Parmi les déchets inertes produits par le secteur du bâtiment on trouve : (Ce type de déchets regroupe généralement):

• le béton,
• les briques,
• les tuiles,
• les céramiques,
• les carrelages,
• les matériaux à base de gypse.

Pour le secteur des travaux publics, il s'agit principalement de cailloux, de terres et de déblais, ainsi que de déchets minéraux de démolition d'ouvrages d'art et de génie civil.
Les enrobés des activités routières sont, quant à eux, classés en fonction de leur composition (enrobés goudronnés, bitumineux, aimantés, avec ou sans métaux lourds…)
« Déchets inertes », « déchets dangereux » ou « déchets banals ».

Les déchets inertes issus des travaux de VRD (Voirie Réseaux Divers) sont les déblais de tranchées, de bordures de trottoirs, de pavés...

I.4.6.2 Déchets ménager

Les déchets ménagers (DM) sont les déchets collectés dans le cadre du service public d'élimination des déchets. Ils comprennent la fraction résiduelle des ordures ménagères, les encombrants collectés en porte à porte, les collectes sélectives, les déchets collectés en déchèteries, les refus de tri et de compostage.

- Les déchets ménagers regroupent l'ensemble des déchets que nous produisons dans le cadre de notre vie quotidienne et familiale. Ils regroupent :
- Ordures ménagères : Déchets issus de l'activité domestique des ménages et peuvent faire l'objet d'un tri sélectif,
- Déchets verts : il s'agit de déchets biodégradables (tontes de pelouse, branchages, feuilles),
- Objets encombrants : il s'agit des déchets volumineux que l'on ne peut pas mettre dans la poubelle habituelle : vieux meubles, ferrailles, literie, jouets, etc.,
- Déchets spéciaux : il s'agit des déchets provenant de l'activité des ménages qui ne peuvent être pris en compte par la collecte usuelle des ordures ménagères, sans créer de risques pour les personnes ou pour l'environnement (peintures, solvants, piles, batteries, toxiques).
- Des déchets en matériaux de synthèse,
- Des déchets solides non dangereux de construction ou de démolition de bâtiment à caractère industriel.

I.4.6.3 Déchets toxiques

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

I.4.6.4 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.

I.4.6.5 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 etc.) **[36].**

I.5 Le recyclage des déchets

I.5.1 Définition

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets (déchet industriel ou ordures ménagères) qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui composaient un produit similaire arrivé en fin de vie, ou des résidus de fabrication. L'un des exemples qui illustre ce procédé est celui de la fabrication de bouteilles neuves avec le verre de bouteilles usagées.

Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures :

- La réduction du volume de déchets, et donc de la pollution qu'ils causeraient (certains matériaux mettent des décennies, voire des siècles, pour se dégrader) ;
- La préservation des ressources naturelles, puisque la matière recyclée est utilisée à la place de celle qu'on aurait dû extraire.

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 1970, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés**. [39]**

I.5.2 Principes du recyclage

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des ***Trois R*** : c'est-à-dire

- ***Réduire***, regroupe les actions au niveau de la production pour réduire les tonnages d'objets (par exemple les emballages) susceptibles de finir en déchets.

- ***Réutiliser***, regroupe les actions permettant de réemployer un produit usagé pour lui donner une deuxième vie, pour un usage identique ou différent.
- ***Recycler,*** désigne l'ensemble des opérations de collecte et traitement des déchets permettant de réintroduire dans un cycle de fabrication les matériaux qui constituaient le déchet. **. [39]**

I.5.3 Types de 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 ou du carburant tel que le biogaz. **.[39]**

I.5.4 Chaine de recyclage

- **Étape 1 : Collecte de déchets**

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets.
Dans les pays développés, les ordures ménagères sont généralement incinérées ou enfouies en centres d'enfouissement pour déchets non dangereux. Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés 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 jette 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 mécanisées permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Un tri manuel, par des opérateurs devant un tapis roulant, complète souvent ces opérations automatiques. Avant ce stade, le verre brisé est systématiquement écarté pour éviter les risques de blessure**.[39]**

- **Étape 2 : 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

- **Étape 3 : Commercialisation et consommation**

Une fois transformées, les matières premières issues du recyclage sont utilisées pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs.

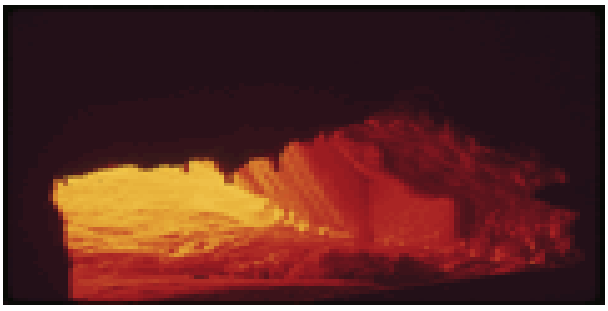
En fin de vie, ces produits seront probablement jetés, et certains d'entre eux pourront être à nouveau récupérés et recyclés **.[39]**

- **Exemple de recyclage du verre** :

- **Recyclage de verre**



Étape 1 : Conteneurs pour tri du verre à recycler



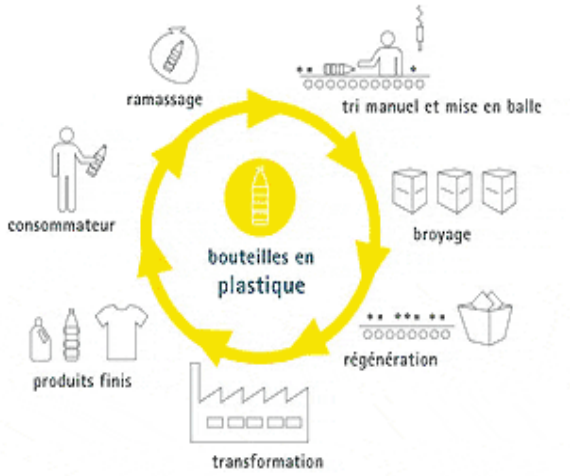
Étape 2 : Fusion du verre recyclé



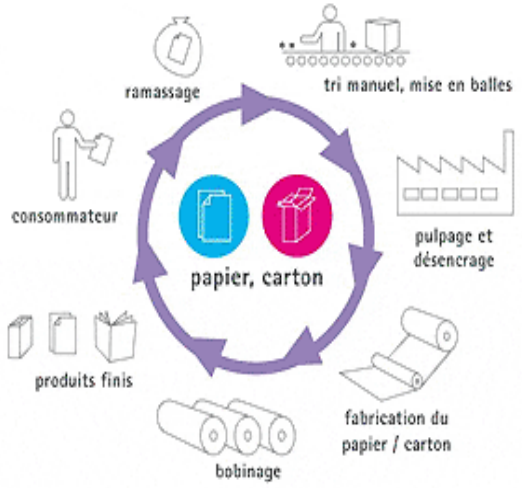
Étape 3 : Nouvelles bouteille en cours de fabrication



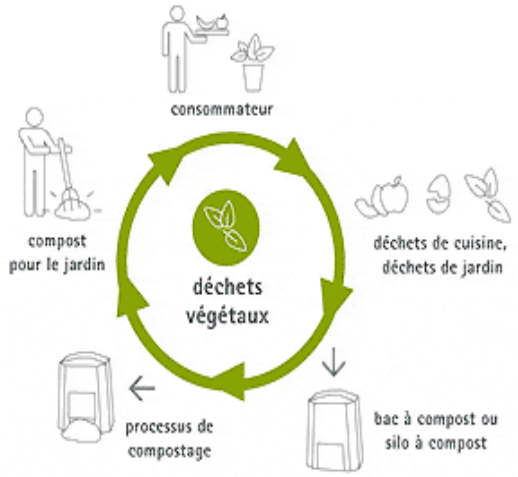
Le recyclage du verre



Le recyclage du PET et PEHD



Le recyclage du papier et du carton



Le recyclage des déchets végétaux

Figure I.16 : Quelque exemple de recyclage

I.5.5 Impact du recyclage sur l'industrie

I.5.5.1 Source d'approvisionnement alternative

Le recyclage des déchets offre une source d'approvisionnement en matières premières alternative aux autres sources. Par exemple, le recyclage de fil de cuivre permet d'obtenir du cuivre auprès des entreprises de recyclage et non des entreprises d'extraction.

Citons également le recyclage en interne qui permet de mettre en place des filières de recyclage courtes. Ainsi, les fondeurs d'aluminium qui usinent les pièces génèrent un volume de copeaux conséquent (10 % du poids de multiplicité des sources d'approvisionnements telles que la facilité de négociation des prix d'achat ou la sécurité des approvisionnements [**39].**

I.5.5.2 Création d'activités

Le recyclage est une activité économique à part entière. Elle est le moyen de création de richesses pour les entreprises de ce secteur.
En théorie, presque tous les matériaux sont recyclables. En pratique, l'absence de filière rentable fait qu'ils ne sont pas tous recyclés. Ainsi, le recyclage est plus coûteux pour des appareils électroniques comme les ordinateurs, car il faut séparer les nombreux composants avant de les recycler dans d'autres filières. De plus, la crainte de récupération de données confidentielles freine l'envie de recycler les anciens ordinateurs dans les foyers ou entreprises. Dans un sondage, sur 110 responsables informatiques, 42 % ont dit que leur principal sujet de préoccupation est la sécurité des données, contre 25 % pour l'environnement. 15 % ont reconnu jeter leur vieux matériel à la poubelle.

I.5.5.3 Coût de main-d'œuvre

Le recyclage suppose de trier les déchets en fonction du mode de recyclage auquel chacun d'eux sera soumis. Ceci exige une main-d'œuvre abondante, même lorsqu'un tri sélectif est effectué en amont par la population. En effet, il arrive qu'un second tri soit nécessaire dans un centre d'affinage pour éliminer les erreurs de tri et les impuretés qui pourraient compromettre le recyclage (c'est le cas du plastique et du verre).

La collecte sélective elle-même exige la mise à disposition des ménages de bacs spéciaux et emploie plus de personnes qu'une collecte simple.
La plupart de ces coûts supplémentaires sont à la charge de la collectivité (en France, par exemple, c'est au niveau de la commune ou de la communauté de communes que cela est géré). Les impôts locaux en

tiennent compte, mais d'autres sources de financement existent : l'écotaxe et le point vert sur les emballages **. [39]**

I.5.6 Impacts du recyclage sur l'environnement

I.5.6.1 Protection des richesses naturelles

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières.

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

- l'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer ;
- chaque tonne de matière plastique recyclée permet d'économiser 700 kg de pétrole brut ;
- le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité ;
- l'aluminium est recyclable à 100 % ; 1 kg d'aluminium donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu) ;
- chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois ;[réf. souhaitée]
- chaque feuille de papier recyclé fait économiser 1 l d'eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15 g de bois**. [39]**

I.5.6.2 Les Inconvénient de recyclage

De nombreux critères sont à prendre en compte pour juger de la pertinence du recyclage et établir ce que l'on appelle l'écobilan. C'est pour cela qu'en France, les pots de yaourt, par exemple, ne sont pas acceptés par la collecte sélective : il n'y a pas assez de matière à récupérer pour rentabiliser le recyclage, il faudrait trop d'eau ou de vapeur pour les débarrasser des résidus alimentaires, gras ou sucrés. Au Québec cependant, ils sont recyclés. Il faut donc se poser les questions suivantes :

- Comment la collecte est-elle organisée ? Quelle énergie nécessite-t-elle ?
- La technique de recyclage est-elle plus économe en matière et en énergie que la fabrication de la matière première ?
- Les débouchés sont-ils rentables ?

Si on prend l'exemple du papier recyclé, on constate que pour éliminer l'encre au moment du recyclage, on utilise du chlore, un blanchissant très polluant pour nos rivières et qui se dégrade difficilement.

Le papier « gris » (peu désancré) nécessite moins de chlore, mais n'est pas toujours adapté aux utilisations courantes. L'idéal est d'utiliser des feuilles de plus faible grammage. Du papier à 60 g/m^2 convient parfaitement pour des imprimantes classiques et en plus cela réduit le poids de son transport, donc la consommation de pétrole.

Le recyclage du verre pose aussi des problèmes, car il est lourd et nécessite donc beaucoup de carburant pour son transport. Il faut en outre le fondre à 1 550 °C pour le recycler. L'idéal serait de privilégier le système des consignes, mais les industriels rechignent à organiser des récupérations non rentables d'un point de vue commercial.

D'un autre côté, la consigne des bouteilles ou des pots en verre demande également beaucoup de logistique (transport des bouteilles de manière à ne pas les casser, tri par type de bouteille…) et de nettoyage avant leur réemploi. L'écobilan est donc peu aisé à établir.

La méthode la moins polluante consiste en tout état de cause à produire le moins de déchets possibles (recyclables ou non) et de privilégier les circuits courts (achats de produits locaux), compatibles avec l'idée de réutilisation. Le tri des déchets, et donc leur recyclage, n'interviendra qu'après épuisement de ces solutions.

Les installations de traitement des déchets résiduels ultimes vouées à la valorisation énergétique sont peu satisfaisantes car, même si elles sont équipées de filtres, elles produisent des volumes considérables de rejets gazeux, liquides et solides dispersés ensuite dans l'environnement. Ces rejets contiennent notamment des « métaux lourds », des dioxines, des COV (Composé organique volatil), du méthane et du CO_2.

Au lieu de rejeter du méthane qui contribue fortement au réchauffement de la planète, on préfère généralement le brûler dans une torchère, ou, mieux, le valoriser en chaudière ou moteur pour produire de la chaleur ou de l'électricité. On ne rejette alors que le gaz de combustion contenant principalement du CO_2 dont l'impact est moindre que celui du méthane, cela contribue donc, selon les connaissances actuelles, à préserver quelque peu la planète, au prix d'un investissement plus élevé. [**39]**

I.6 Plastiques et Déchets plastiques

I.6.1 Le matériau plastique

Le pétrole brut est la principale matière première du plastique. Cette ressource naturelle est limitée et onéreuse. On estime qu'environ **4 %** de la production mondiale du pétrole brut est transformée en matière plastique.

Une matière plastique ou en langage courant un plastique est 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 semi-produit ou à un objet.

Les matières plastiques couvrent une gamme très étendue de matériaux **polymères** synthétiques ou artificiels. On peut observer aujourd'hui sur un même matériau des propriétés qui n'avaient jamais auparavant été réunies, par exemple la transparence et la résistance aux chocs.

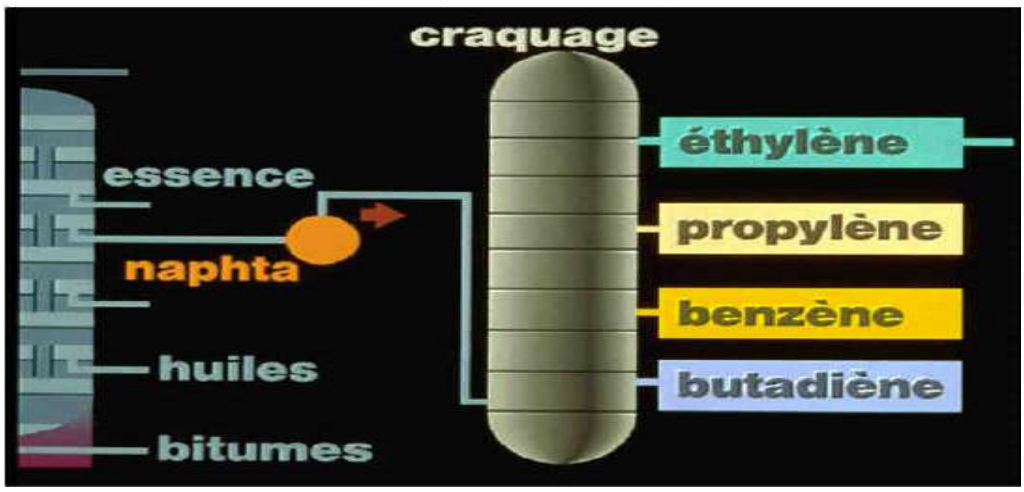
Les textiles (fils et fibres) ainsi que les élastomères ne sont pas des matières plastiques proprement dites.

Généralement, les polymères industriels ne sont pas utilisés à l'état « pur », mais mélangés à des substances miscibles ou non dans la matrice polymère.

Structure typique d'une formule : matière plastique **= polymère(s) brut(s) (résine(s) de base)** + **charges** + **plastifiant(s)** + **additifs.**

- Il existe un grand nombre de matières plastiques ; certaines connaissent un grand succès commercial. Les plastiques se présentent sous de nombreuses formes : pièces moulées par injections, tubes, films, fibres, tissus, mastics, revêtements, etc. Ils sont présents dans de nombreux secteurs, même dans les plus avancés de la technologie. **[40].**

'matières plastiques' issues du pétrole....



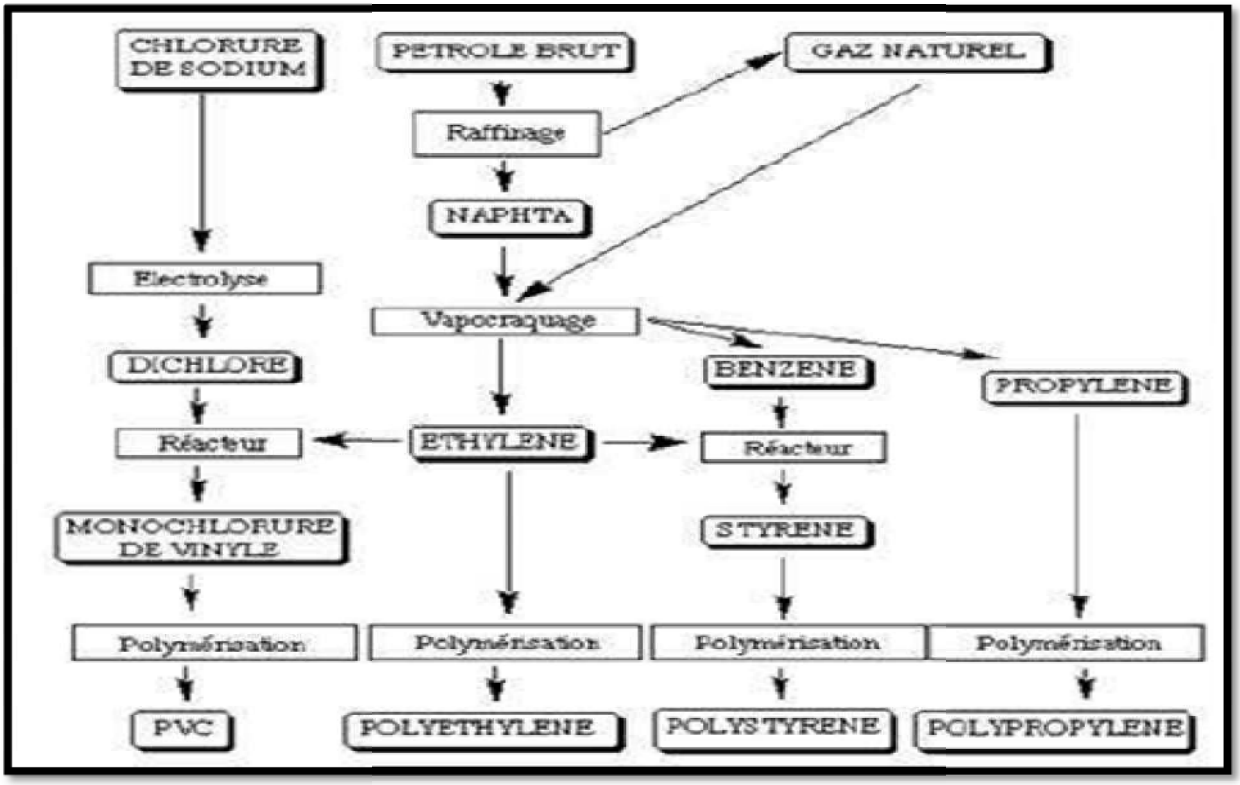


Figure I.17 : Production des matiéres plastique [40]

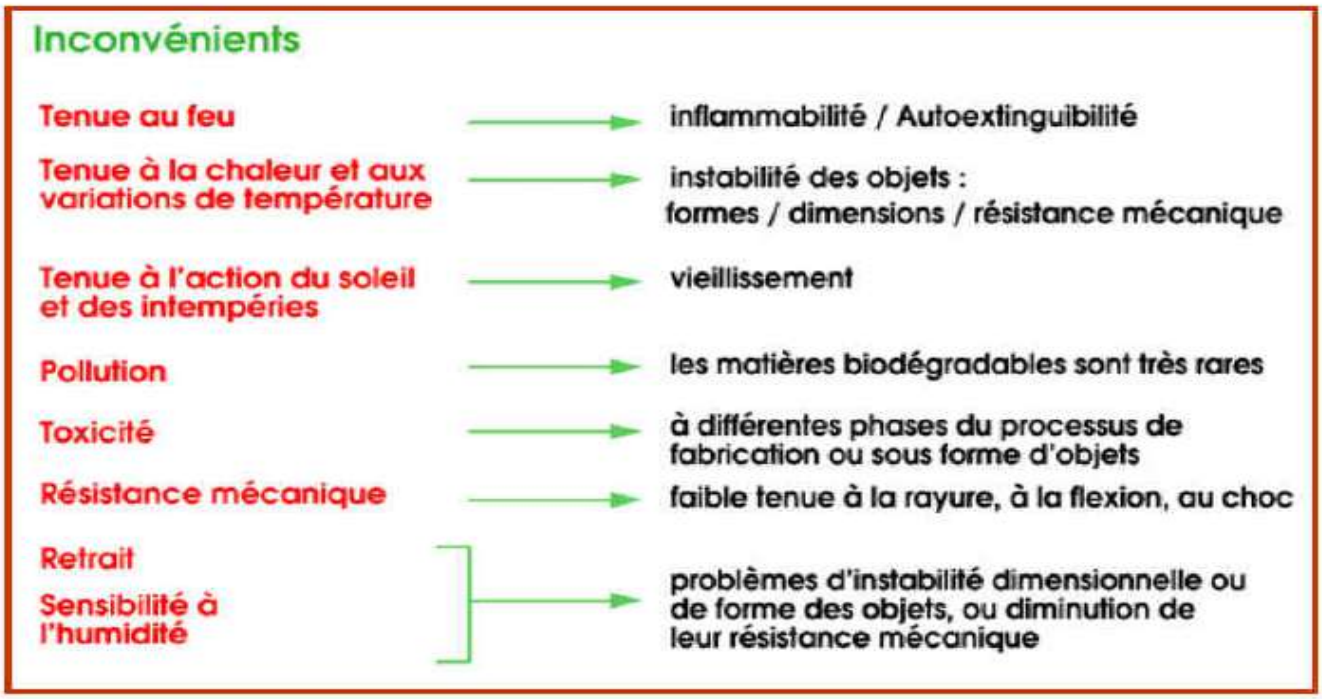
I.6.2 Avantages et inconviniant des matiéres plastiques

I.6.2.1 Les avantages

Quels sont les avantages de ces matériaux ?

Légèreté	gain de poids
Aspect	aspect, transparence, toucher
Isolation	électrique, thermique, phonique
Inaltérabilité	tenue dans le temps
Tenue chimique	résistance à la corrosion
Imperméabilité	aux produits liquides, volatils
Tenue à l'humidité	résistance à la corrosion
Tenue à l'usure	résistance à l'abrasion
Tenue au choc	résistance aux contraintes mécaniques
Biocompatibilité	compatibles aves les tissus humains
Possibilité de conception et de moulage	formes complexes, design
Intégration de fonctions	remplacer un ensemble de pièces, par une pièce
Mise en oeuvre économique	prix de revient intéressant pour la grande série

I.6.2.2 Inconviniant



I.6.3 Composition chimique

« Les matières plastiques » : Les matières plastiques sont des matériaux organiques de synthèse fondés sur l'emploi des macromolécules (polymères).

Matière plastique = résine de base (polymères) + adjuvants + additifs.

I.6.3.1 Définition

- On appelle polymère une grande molécule constituée d'unités fondamentales appelées monomères (ou motifs monomères) reliées par des liaisons covalentes.
- Un monomère est un composé constitué de molécules simples pouvant réagir avec d'autres Monomères pour donner un polymère. Contrairement au polymère, un monomère a une faible masse moléculaire.
- Le terme macromolécule est souvent utilisé à la place de polymère.
- La polymérisation est la réaction qui, à partir des monomères, forme en les liants des composés de masse moléculaire plus élevée, les polymères ou macromolécules. Les noyaux des monomères sont le plus souvent constitués d'un atome de carbone (molécules Organiques) ou d'un atome de silicium (polymères siliconés).
- Un homopolymère est un polymère qui comporte des motifs monomères tous identiques.

- Un copolymère est un polymère qui comporte des motifs monomères de deux ou plus sortes différentes.
- Les polymères peuvent être d'origine naturelle (animale ou végétale) ou d'origine synthétique. Les macromolécules naturelles sont les caoutchoucs, les polysaccharides, le glycogène, l'ADN, les protéines… Les macromolécules synthétiques sont représentées par exemple par le polyéthylène, le polypropylène, le polystyrène, le PVC, le PTFE, les polyesters, les polycarbonates, les polysiloxanes, les polyamide**.[41].**

I.6.3.2 Polymérisation

La polymérisation est un processus important dans l'industrie chimique car les polymères en résultant doivent présenter les propriétés souhaitées, notamment, la durabilité, l'inertie chimique vis-à-vis de nombreux produits, l'élasticité, la transparence et les résistances mécanique et thermique.

Il existe deux catégories de polymérisations :

- les polymérisations par étapes, faisant appel à des polycondensations (conduisant par exemple aux polyamides ; la réaction se fait par élimination de molécules simples, surtout l'eau) ou à des polyadditions (pour produire par exemple les polyuréthanes). Les polymères obtenus contiennent souvent des hétéroatomes caténaires, tels les polyamides avec l'atome d'azote ;
- les polymérisations en chaîne. Suivant le type de centre actif, on distingue les polymérisations radicalaires, cationiques, anioniques ou coordinatives (dans ce quatrième cas, le centre actif propageant est un complexe de coordination entre le monomère et un atome de métal de transition tel le titane ou le zirconium). Cette seconde catégorie concerne essentiellement des monomères vinyliques qui conduisent à des polymères constitués d'enchaînements -C-C **. [42]**

I.6.3.3 Structure des polymères :

Les polymères peuvent présenter des architectures extrêmement variables. Ils peuvent être linéaires, ramifiés ou réticulés. Le plus souvent, ils sont amorphes, parfois ils peuvent être, au moins partiellement, cristallisés.

a . Polymères linéaires :

Les polymères linéaires sont constitués de grandes chaînes de monomères reliés entre eux par des liaisons covalentes. Ces macromolécules sont liées entre elles par des liaisons secondaires qui assurent la stabilité du polymère. Ces liaisons secondaires sont des liaisons ou ponts hydrogène ou des liaisons

de Van der Waals. Lorsque ces liaisons existent, le matériau devient rigide et présente un comportement de solide. Si la température s'élève, l'agitation moléculaire qui en résulte va rompre progressivement

Ces liaisons secondaires. Le matériau va pouvoir s'écouler sous son propre poids : il présente alors le comportement d'un liquide visqueux.

La température à laquelle se produit cette évolution s'appelle la température de transition vitreuse.

La transition vitreuse correspond à l'apparition de mouvements de longs segments de chaîne et marque le passage de l'état vitreux à l'état caoutchoutique. La figure donne différents exemples de polymères linéaires **.[43]**

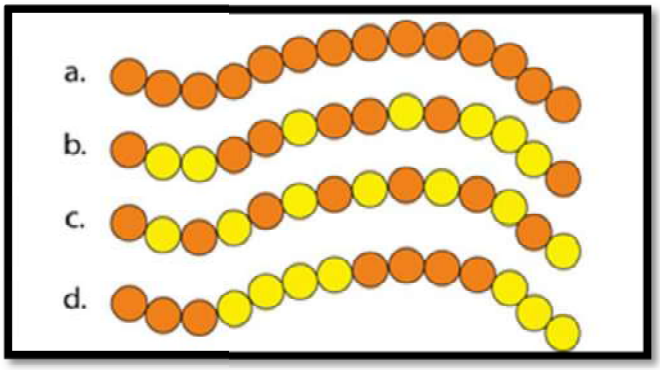


Figure I.18 : Polymères linéaires (a: homopolymère, b : copolymère statistique, c. : copolymère alterné, d. : copolymère séquencé)

b . Polyméres ramifiés

Des chaînes homopolymériques ou copolymériques peuvent se greffer sur d'autres chaînes au cours de la polymérisation. Au dessus de la température de transition vitreuse, ces matériaux présenteront comportement visqueux plus marqué que les polymères linéaires.

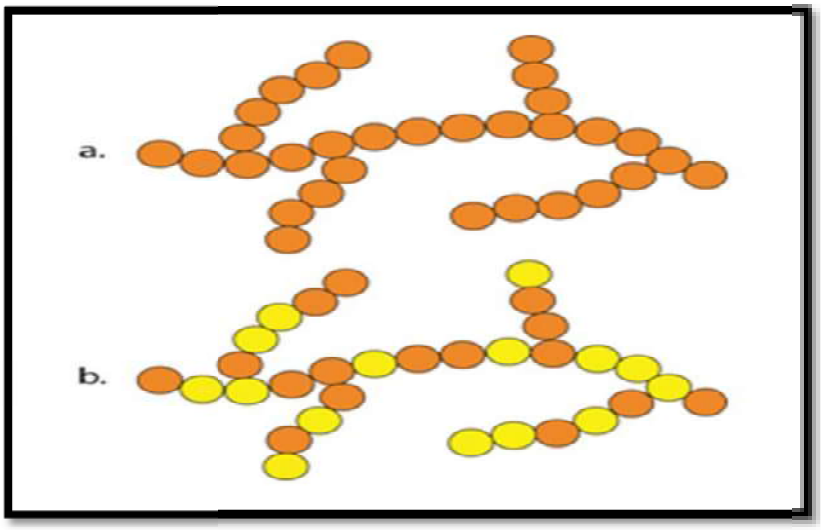


Figure I.19 : Homopolymère ramifié (a) et copolymère ramifié (b)

c. Polyméres réticulés

La réticulation correspond à la formation de liaisons chimiques suivant les différentes directions de l'espace au cours d'une polymérisation, d'une polycondensation ou d'une polyaddition, et qui conduit à la formation d'un réseau **.[43]**

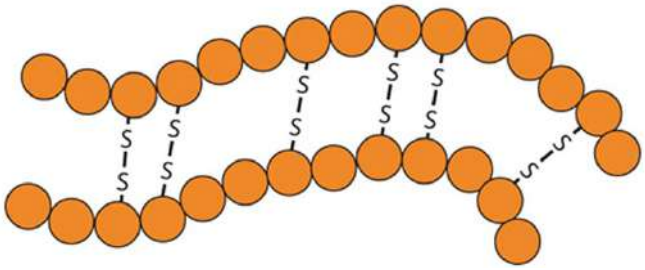


Figure I.20 : Polymère réticulé avec ponts di sulfure reliant deux chaînes.

d. Polyméres amorphes et cristaliséées

Les chaînes macromoléculaires peuvent être organisées de façon aléatoire dans l'espaceet constituer ainsi une phase amorphe. La phase amorphe est, en théorie équivalente à un liquide « figé », sans ordre moléculaire à grande distance. Il existe néanmoins des orientations macromoléculaires préférentielles.

Elles peuvent être rangées régulièrement avec la constitution d'un ordre responsable d'une propriété caractéristique de l'état cristallin : l'aptitude du matériau à diffracter les rayons X selon des angles définis. Ces structures peuvent aussi être objectivables en lumière polarisée.

Dans un polymère, les deux états ordonnés et désordonnés peuvent exister dans un même matériau qui est alors de nature semi-cristalline**.[43]**

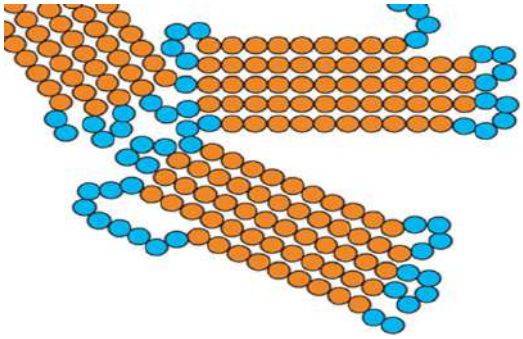


Figure I.21 : Représentation schématique d'un polymère semi-cristallisé

I.6.3.4 Adjuvants

Les adjuvant sont des produits en général organiques,que l'on mélanges aux polyméres pour modifier leur prpriétés physiques (par exemple plastifiants) ou chimiques (par exemple stabilisants) .

Quel que soit le type d'adjuvant ,on est amenés a prendre en considération les crétéres énumérés ci-dessous :

- Performances propres.
- Compatibilités avec la mise en ouvres (en particulier thermostabilité et faible volatilité),
- Compatibilité avec les adjuvants
- Compatibilité avec l'usage (Par exemple non-toxité).
- tenue a long terme (résistance a la migration).
- rapport performances /prix.

a. Plastifiants

Un plastifiant est un solvant lord qui,incorporés aux polyméres, détruit particuliérement les interaction entre chaines responsables de la cohésion mécanique et transforme un matériau initialement rigide en matériau souple, flixible (diminue la régidité)

b. Stabilisant

Les stabilisants sont destinés a retarder ,ralentir ou inhiber les processus responsables d'altérations de la structure pendant la mise en oeuvre ou l'utilisation des matériaux

- Les principaux types de stabilisant ,on cite :
  Anti-oxygéne,stabilisant thermique au PVC,Stabilsant 'lumiéres'

c. Autre adjuvants

- Colorant pigment ,
- Antichocs
- Antistatiques
- Ingnifugeants
- Lubrifiant
- Anti retrait……..ect**.[44]**

I.6.4 Champ d'application

On distingue trois grandes familles de plastiques :

Les thermoplastiques

Les thermodurcissables.

Les élastoméres

I.6.4.1 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.

Il existe différents types de thermoplastiques.

- Le polychlorure de vinyle (PVC),
- le polyéthylène (PEHD et PEBD),
- le polypropylène (PP),
- le polystyrène (PS),
- le polyéthylène téréphtalate (PET)

sont particulièrement utilisés dans la fabrication des emballages.

- L'acrylonitrile butadiène styrène (ABS),
- les polyamides,
- les polycarbonates,
- les polyacryliques,
- le polyuréthane (PU),

Sont généralement utilisés dans les applications techniques.

- **Les thermoplastiques représentent 80 % du tonnage des déchets plastique.**

I.6.4.2 Les thermodurcissables

Sont infusibles et ne peuvent donc pas être recyclés sous forme de matière première.
Leur valorisation se limite à l'incinération et,de façon très ponctuelle, à une utilisation comme charges dans les résines vierges.
Il s'agit des polyesters insaturés, du polyuréthane réticulé et de la bakélite.

- les polyesters insaturés;
- les phénoplastes;
- les aminoplastes;
- les résines époxy ;
- la plupart des polyuréthanes (PUR);
- les résines siliconées;
- les résines allyles.

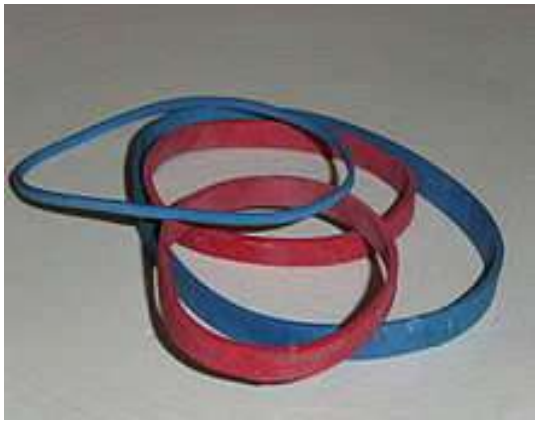


- **Les thermodurcissables représentent 10 % du tonnage des déchets plastique.**

Les déchets plastique ont des origines diverses : déchets de la transformation, emballages usagés de l'industrie et des centres de grande distribution, déchets de démolition ou de réfection, déchets de produits électriques et électroniques en fin de vie, contenus d'automobiles hors d'usage, films agricoles, déchets d'ordures ménagères. **[45].**

I.6.4.3 Les elastoméres :

Ce sont des matériaux amorphes, mais avec quelques pontages entre les chaînes macromoléculaires linéaires, ces liaisons sont assurées par des atomes C, S ou O. La réaction permettant d'établir ces liaisons covalentes est la vulcanisation. Cette opération confère aux élastomères une structure tridimensionnelle très souple et très déformable, car le taux de réticulation est faible. Les caoutchoucs ont une grande capacité de déformation réversible qui eut dépassé 1000%. Les pontages assurent la mémoire de l'état initial **[45].**





I.6.5 Mise en forme des polymères

Les matières plastiques thermoplastiques se ramollissent au chauffage : elles sont utilisées sous forme de poudre ou de granulés que l'on fond. On ajoute souvent des agents de moulage, des stabilisants, des colorants, des plastifiants..... La répartition homogène de ces additifs se fait par des mélangeurs (à cylindre par exemple). La mise en œuvre pour obtenir les formes désirées est réalisée par extrusion, moulage par injection, thermoformage, moulage avec soufflage, ou encore moulage avec compression. Le calandrage permet de faire des feuilles ou des plaques.

Pour les polymères thermodurcissables, le chauffage, la mise en forme et la polymérisation provoquant la synthèse et le durcissement du polymère, ont lieu simultanément ; le moulage en compression est très souvent utilisé.

Les élastomères sont mis en œuvre de façon similaire aux thermodurcissables : on chauffe et on comprime dans un moule un mélange d'élastomère et d'agent de vulcanisation (réticulation)

On peut produire des fibres de polymères en forçant le polymère fondu ou en solution à traverser de filières (petits trous). Les fibres formées sont torsadées pour faire un fil puis tissés pour faire une étoffe.

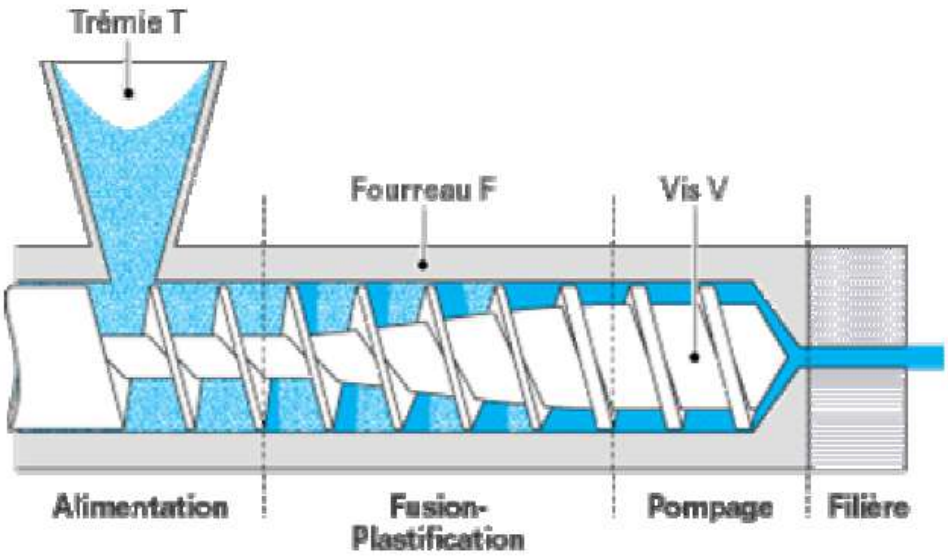
On peut produire des mousses en générant des bulles (CO2) au sein du polymère fondu ou de la résine en train de polymériser lors de sa fabrication. [**46]**

I.6.5.1 Extrusion

C'est une technique de transformation continue, rapide et peu coûteuse ; elle est très répandue. Elle permet à partir de granulés ou de poudre de polymère, la fabrication de tubes et autres profilés, de feuilles, de rubans, de tiges, de plaques, de gaines etc...

Des granulés de polymère sont chauffés et comprimés par une vis sans fin qui tourne dans un fût chauffé et qui pousse le plastique vers un outillage appelé filière. La visse tasse et mélange le polymère qui se fluidifie à l'approche de l'extrémité chaude du fût. Là, il est poussé à travers la filière puis refroidi pour garder la forme transformée.

Il existe différents types d'extrudeuses, dont les double vis ou bivis qui permettent d'augmenter les contraintes de cisaillement exercées sur le matériau. Elles sont équipées de deux vis à filets interpénétrant tournant dans un fourreau bi cylindrique. Les deux vis peuvent tourner dans le même sens (vis corotatives), ou en sens contraire (vis contrarotatives) **[46]**



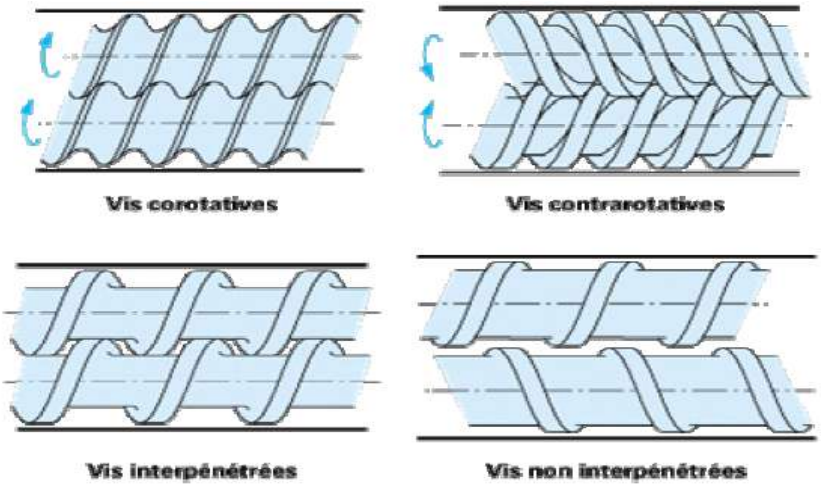


Figure I.22: Principales configuration d'extrudeuses bi-vis**. [46]**

I.6.5.2 Lignes d'extrusion

a. Extrusion de tubes, de profilés creux, de profilés pleins, de joncs...

La filière est adaptée à la forme de l'extrudât, la technique permet la fabrication de produits semi-ouvrés en continu ayant un profil déterminé. Pour évier que le profil ne se déforme en sortie de filière, on le soumet au tirage ; il peut être refroidit dans un bac d'eau. .

b. Extrusion-gonflage ou soufflage de gaine

Le polymère fondu passe d'abord dans une filière de tube. A la sortie de la filière, il est étiré longitudinalement par un système de rouleaux pinceurs. Une certaine quantité d'air emprisonnée à l'intérieur de la gaine assure son gonflage, c'est-à-dire son étirage transversal.

La gaine est refroidie par un jet d'air comprimé appliqué en sortie de filière par un anneau de refroidissement.

A partir d'une certaine ligne, appelée ligne de figeage, elle est entièrement solidifiée et ne se déforme plus**. [46]**

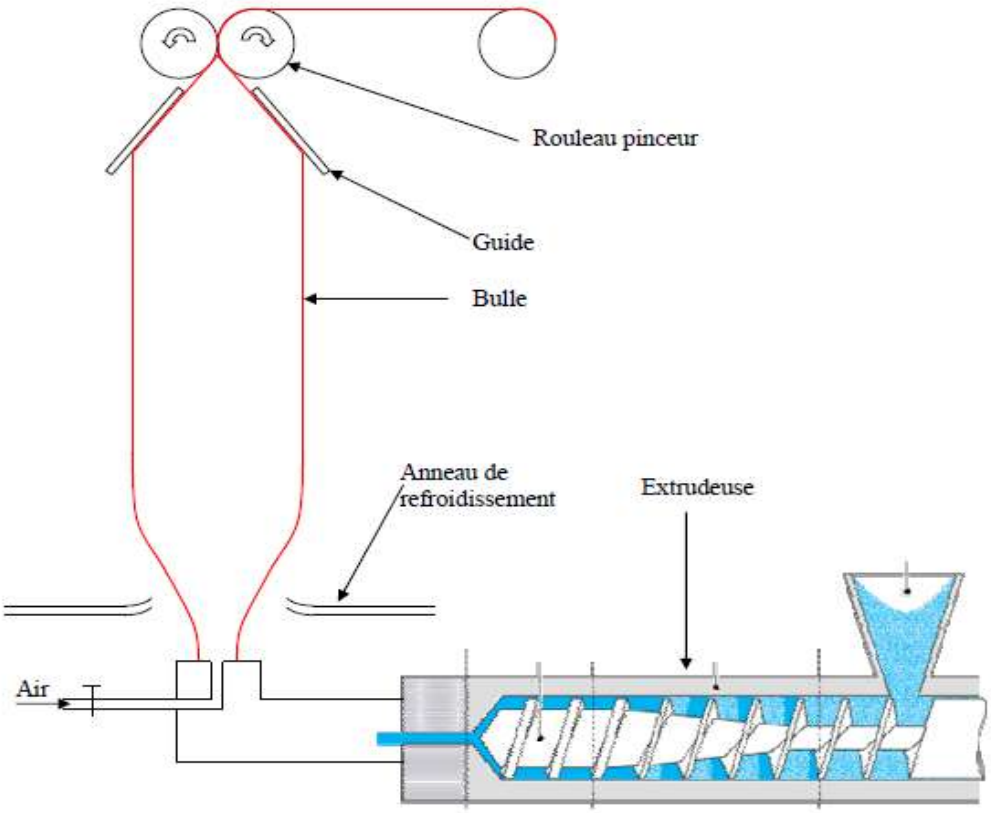


Figure I.23: Principales configuration lignes d'extrusion [46]

I.6.5.3 Extrusion-soufflage de corps creux

Un tube extrudé, dit paraison, est pincé à ses extrémités par un moule creux en 2 parties.

L'une se soude sur elle-même et l'autre s'appuie sur une canne de soufflage par laquelle on admet une pression d'air suffisante pour déformer la paraison chaude qui vient se plaquer sur la paroi interne du moule, refroidi par circulation d'eau. Elle se solidifie alors et peut être démoulée.



Figure I.24: Principales configuration l'extrusion soufflage de corps creux [46]

I.6.5.4 Calandrage

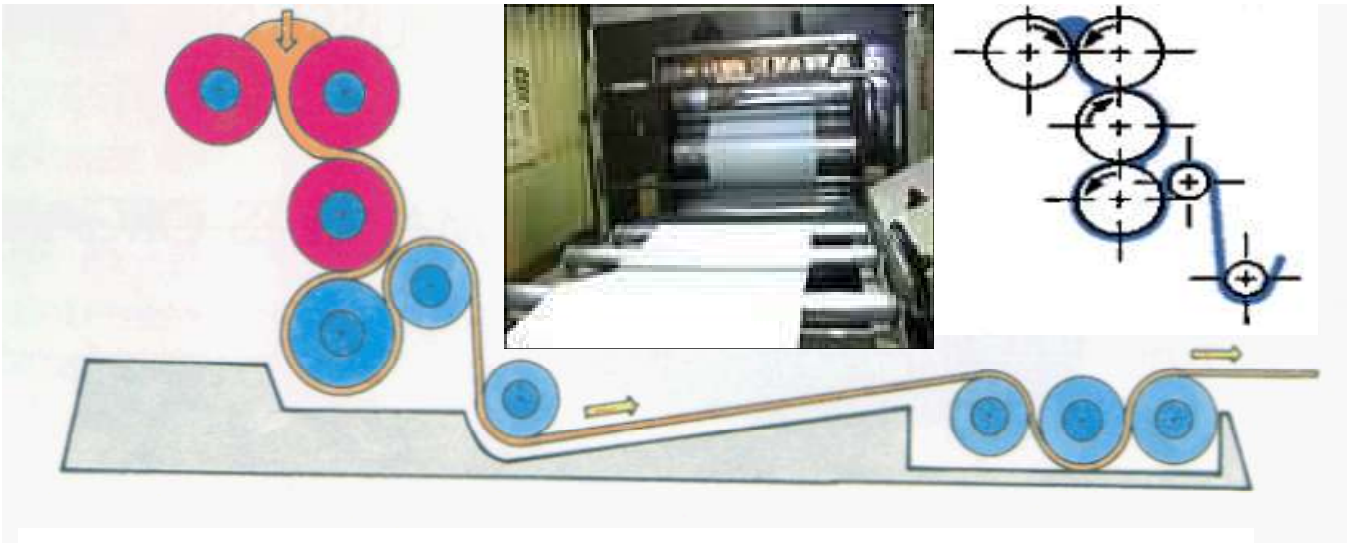


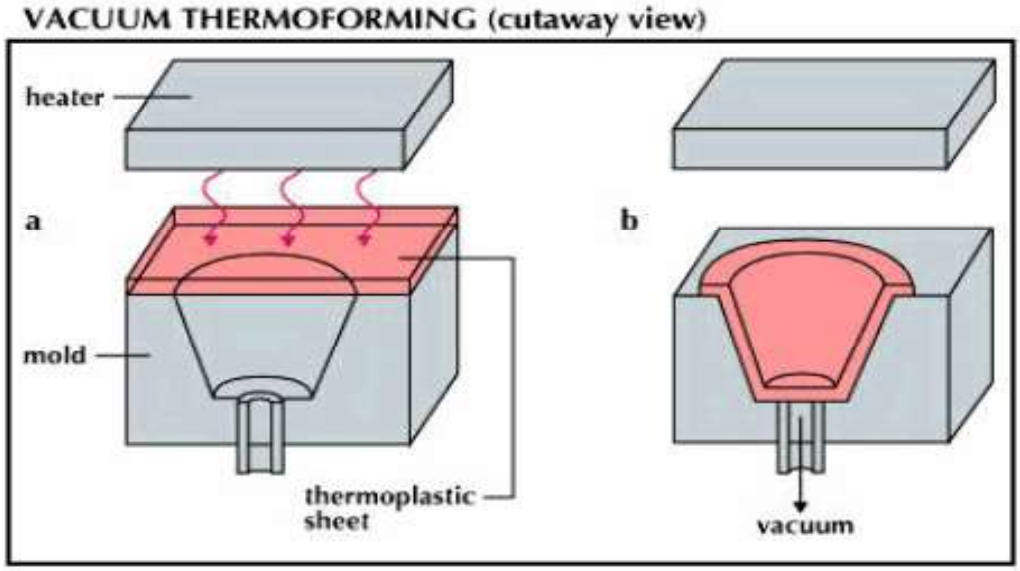
Figure I.25: Principales configuration calandrage [46]

C'est un procédé réservé au caoutchouc et au PVC. Les opérations successives ont pour but de mélanger le polymère à un certain nombre d'additifs (stabilisants, lubrifiants, etc.), de gélifier progressivement le mélange obtenu en dissipant de l'énergie par cisaillement sans atteindre la température de dégradation, puis de forcer le polymère entre les cylindres successifs d'une calandre (entre 3 et 5 cylindres selon les cas). La feuille obtenue est étirée puis refroidie avant d'être enroulée**. [46].**

I.6.5.5 Thermoformage

Le thermoformage consiste à chauffer une feuille, ou une plaque, à une température permettant sa déformation dans un moule dont elle épouse la forme par action d'une différence de pression entre ses deux faces. Après refroidissement, on obtient l'objet désiré.

La mise en forme s'effectue généralement par une pression d'air sur la feuille, ou une dépression d'air sous cette dernière, souvent assistée mécaniquement par un poinçon. C'est un procédé de transformation « basse pression », qui impose de faibles contraintes à la feuille. Les matériaux ne peuvent donc être formés que lorsque leurs propriétés mécaniques ont chuté, dans la zone du plateau caoutchoutique pour les polymères amorphes et dans la zone de la température de fusion pour les semi-cristallins**.[46]**



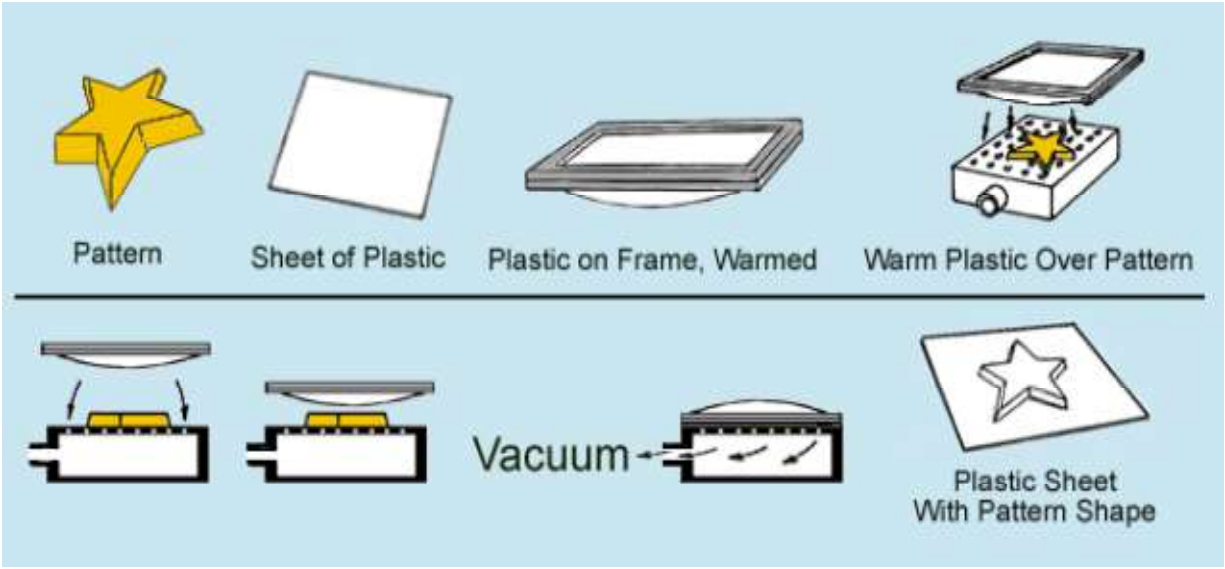


Figure I.26 : Principales configuration thermoformage

I.6.5.6 Moulage par compression

C'est la plus ancienne technique de transformation (20's) appliquée dès les années 20 au thermodurcissables (phénoplastes et aminoplastes). La méthode consiste à presser directement la matière dans l'empreinte d'un moule à chaud. Le moule est composé de 2 parties : le poinçon (partie supérieure) et la matrice (partie inférieure). Le cycle de production est long**.[46]**

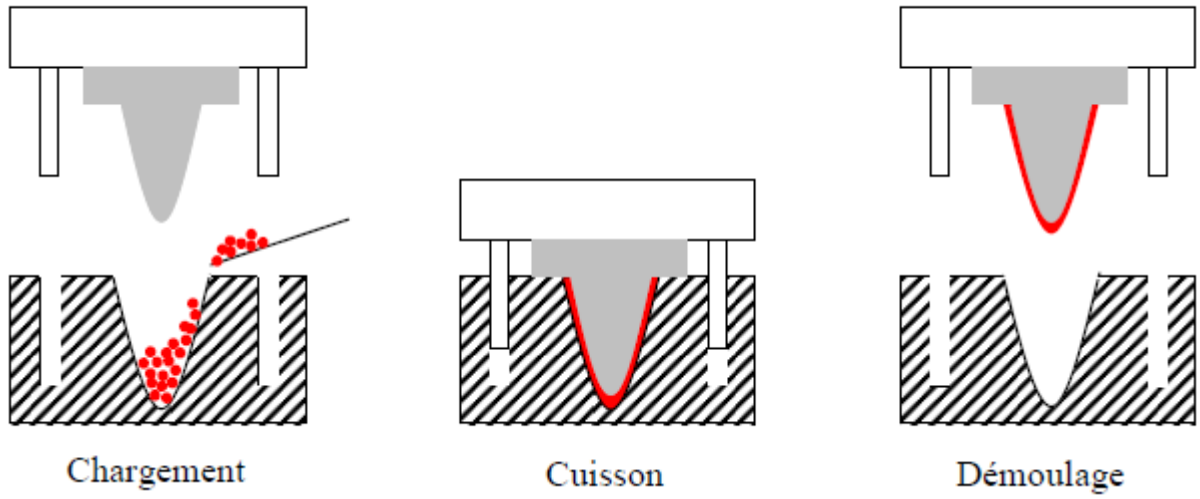


Figure I.27: Principales configuration moulage par compression [46]

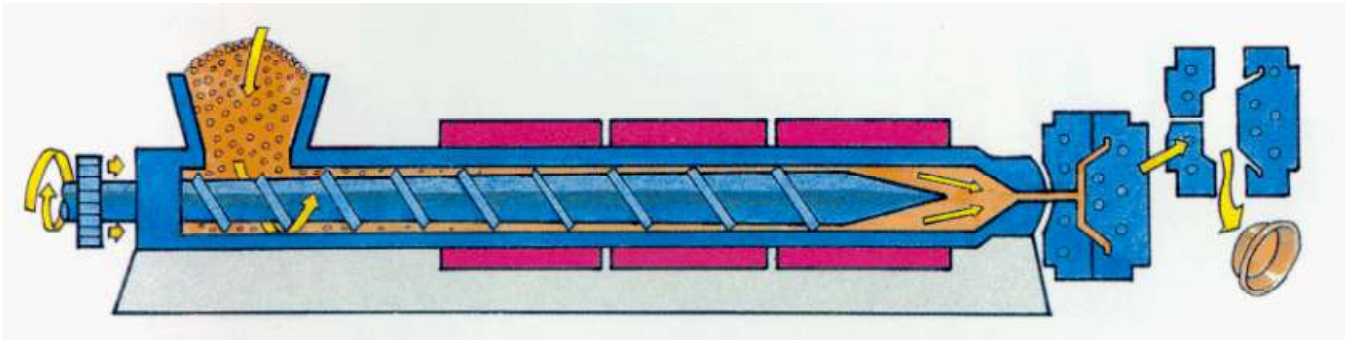
I.6.5.7 Injection des thermoplastiques

On peut distinguer 3 phases pendant l'injection :

- **le remplissage (ou injection) :** le polymère remplit l'enceinte et occupe le volume de la cavité. On se sert de la vis comme un piston.

- **le maintien (bourrage ou compactage)** : le polymère est compacté dans l'empreinte (car il est compressible) pendant le refroidissement

- **le refroidissement :** le polymère est figé et la pièce est éjectée quand sa rigidité est suffisante. On dose une nouvelle quantité de matière pour la pièce suivante pendant le refroidissement de la pièce, par rotation de la vis qui amène de la matière en bout de vis (buse)**.[46]**



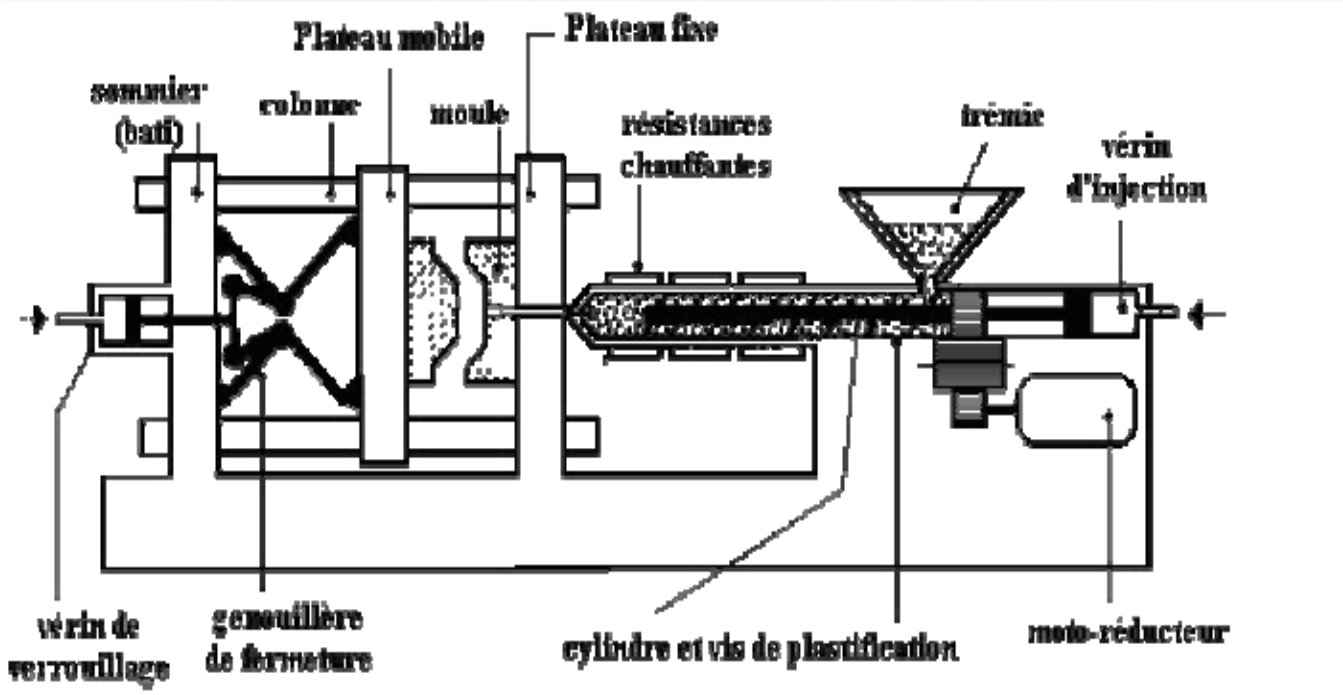


Figure I.28: Principales configuration Injection des thermoplastiques [46]

I.6.5.8 Injection soufflage

Elle permet de fabriquer des corps creux qui présentent de bonnes propriétés mécaniques. Technique essentiellement réservée aux thermoplastiques. Le cycle de fabrication se compose des étapes:

1) Réalisation d'une préforme par injection

2) Transfert de la préforme dans une station de réchauffage

3) Transfert de la paraison chaude dans un moule et soufflage pour que le polymère entre en contact avec les parois du moule

4) Refroidissement et éjection de la pièce**.[46]**

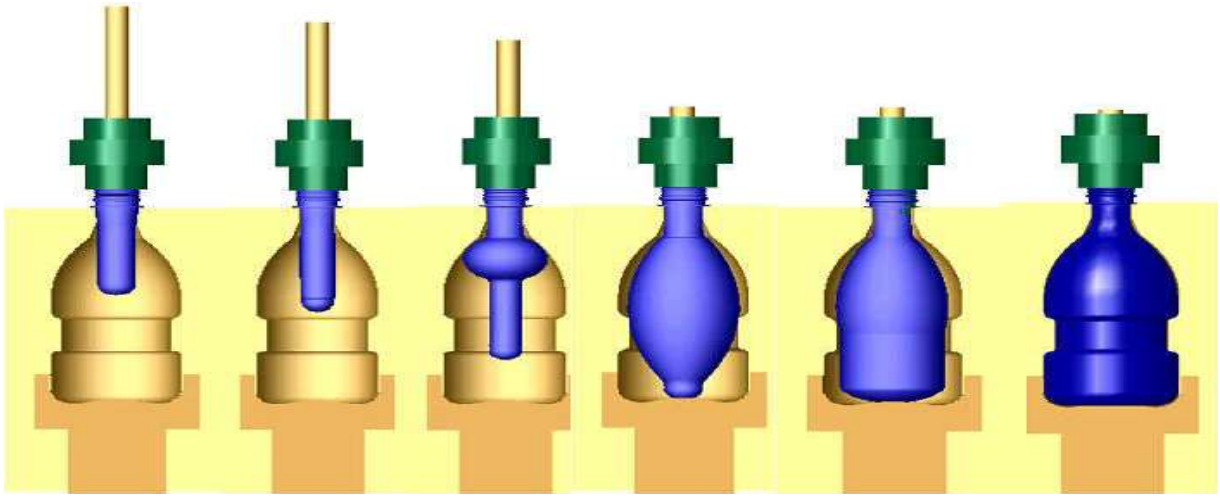




Figure I.29 : **Injection soufflage**

I.6.6 Propriétés des matières plastiques

I.6.6.1 Propriétés thermiques

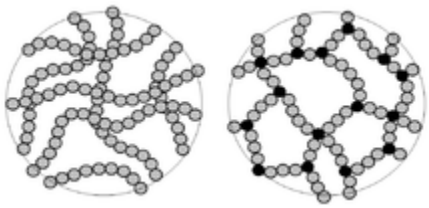


Figure I.30 : Relation structure-propriétés : chaînes linéaires (cas des polymères thermoplastiques, schéma de gauche) et réseau de molécules (thermodurcissables, à droite)

On peut classer les polymères en deux types, en fonction de leur comportement à la chaleur : les ***thermoplastiques*** (polymères linéaires, ramifiés ou non) et les ***thermodurcissables*** [polymères tridimensionnels (réticulés)] **[47].**

- Portés à une température suffisante (au-dessus de leur température de transition vitreuse Tg ou de fusion Tf), les polymères thermoplastiques se trouvent à l'état « fondu » (état fluide ou déformable) et sont donc susceptibles de s'écouler sous l'action d'une contrainte. Cela permet leur mise en forme au moyen des techniques habituelles (thermoformage, extrusion, injection, etc.). L'opération peut se répéter plusieurs fois ;
- Les polymères thermodurcissables durcissent (réticulent) lors d'un premier chauffage (ou éventuellement à température ambiante). Dans le domaine des peintures, c'est une propriété très souvent mise à profit. Un apport de chaleur peut déclencher une réaction de polymérisation tridimensionnelle qui crée des pontages entre les chaînes de polymère et durcit de manière irréversible le matériau **[47].**

I.6.6.2 Propriétés mécaniques

Les polymères thermodurcissables sont souvent rigides et fragiles tandis que les polymères thermoplastiques et les élastomères montrent une résistance mécanique médiocre très affectée par la température.

Pour ce qui concerne la structure moléculaire, les matériaux polymères solides sont soit :

- Semi-cristallins [présence de zones cristallines (cristallites et sphérolites) et existence d'un intervalle de fusion étroit qui permet une transition rapide de l'état solide ou pâteux à l'état fluide, par élévation de température], à morphologie hétérogène (exemples : PE, Ppi, PA, polyesters thermoplastiques, POM [$(-CH_2-O-)_n$], PTFE) ;

- Soit amorphes, montrant un ramollissement progressif par élévation de température (PS et ses copolymères, PMMA, PC, PVC, etc.).

Remarque sur l'influence de la *tacticité* : un polymère atactique (PMMA, PS…), dont la chaîne macromoléculaire présente une forme géométrique irrégulière, ne peut pas cristalliser, contrairement à un polymère isotactique ou syndiotactique.

La structure des polymères est reliée aux propriétés thermomécaniques. Par exemple, lors de la mise en œuvre par injection, les plastiques amorphes sont plus tolérants [process plus aisé, retrait (*shrinkage* en anglais) plus faible au refroidissement] que les semi-cristallins (ces derniers ont une prédisposition à cristalliser).

- ✓ Le taux de cristallinité d'un polymère influence les propriétés mécaniques (le module d'Young augmente lorsque le taux de cristallites augmente. Inversement la limite de déformation élastique diminue).

On admet en général que les propriétés d'un plastique technique sont optimales lorsque la cristallinité moyenne permet de combiner la résistance mécanique et thermique de la phase cristalline à la résilience de la phase amorphe (pratiquement 50 à 60 %).

La plupart des polymères thermoplastiques ne sont pas utilisés au-dessus de 120 °C, température à laquelle se produit un ramollissement (pour les amorphes) ou une fusion (pour les semi-cristallins), qui supprime les propriétés mécaniques. Les polymères thermoplastiques amorphes sont utilisés en dessous de leur Tg, à l'état vitreux. En principe, les matières thermodurcissables ont une meilleure tenue

thermomécanique (à la chaleur, au feu, au fluage, faible retrait, etc.) et chimique que les thermoplastiques. Les meilleurs thermostables sont des thermodurcissables.

Lorsque les matériaux plastiques sont observés en service, on se rend compte qu'ils sont soumis à des contraintes qui provoquent des déformations pouvant dans certains cas conduire à la rupture. Le comportement en service des matériaux définit leurs *propriétés d'usage*.

Il est important de connaître les *propriétés intrinsèques* (inhérentes aux matériaux) afin de faire un choix judicieux de la matière la plus apte à remplir les fonctions qui lui sont assignées. La résistance des matériaux est la science qui va, à partir de propriétés propres à chaque matériau, définir les caractéristiques et conditions d'utilisation de chacun.

Les propriétés mécaniques font partie des propriétés intrinsèques des matériaux et sont définies à partir d'essais comparatifs, normalisés. En général, on utilise les normes ISO, ASTM et DIN, ou des normes « maisons » lorsque les tests sont directement liés aux propriétés d'usage.

Les propriétés mécaniques sont ensuite utilisées pour prédire les propriétés finales des objets finis. Cependant, certaines caractéristiques structurales liées à la transformation des matières plastiques, telles le degré de cristallinité, l'orientation des chaînes macromoléculaires, ou les tensions internes résultant des conditions de mise en œuvre et de refroidissement, peuvent influencer les propriétés de l'objet. Ces propriétés sont appelées *propriétés de transformation*.

On peut résumer les propriétés du matériau comme suit :

- propriétés intrinsèques (propres au matériau) ;
- propriétés de transformation (fonction des méthodes et conditions de mise en œuvre) ;
- *propriétés d'usage* (définies par les conditions d'utilisation).

Un grand nombre d'essais mécaniques utilisés pour caractériser les matières plastiques découle des techniques d'analyse des métaux telles la mesure du module d'élasticité, de la résistance à la traction et de l'allongement à la rupture **[47].**

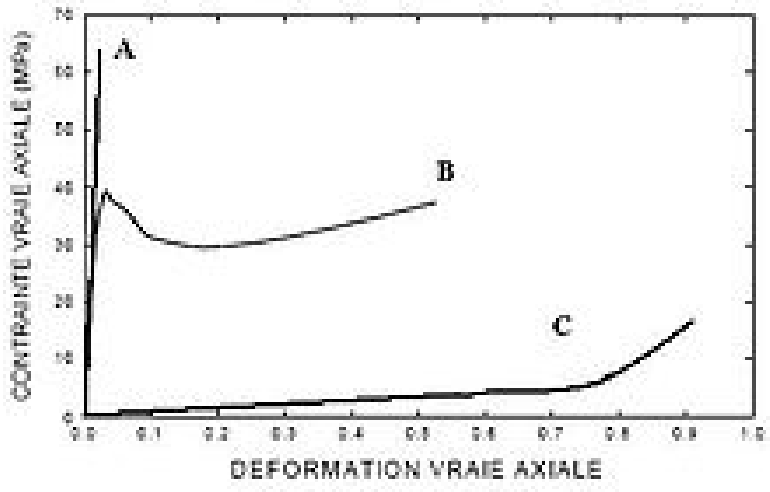


Figure I.31 : Caractérisation mécanique : Courbe contrainte-déformation établie pour un échantillon de trois matériaux-types

Les analyses mécaniques et rhéologiques sont basées notamment sur des essais de traction, compression, cisaillement, flexion et torsion.

- ✓ Les équipements d'analyse comprennent les appareils de mesure de l'indice de fluidité à chaud (pour les polymères thermoplastiques) (MFI, *Melt flow index* en anglais)[30], les appareils de traction, les extensomètres, les analyseurs DSC, les viscosimètres (de type rotationnel, cône-plan ou capillaire) (pour les thermoplastiques), les analyseurs DMA (ces deux derniers instruments sont dédiés aux mesures dynamiques), les appareils de choc Izod et choc Charpy, etc.

En ce qui concerne les polymères solides, un simple essai de traction uni axial permet de mesurer certaines propriétés mécaniques.

Les matériaux se répartissent d'après leur comportement en contrainte-déformation, en trois catégories générales : rigides (souvent peu ductiles et peu résistants aux chocs), plastiques ou élastomères. Le graphique intitulé « Caractérisation mécanique » obtenu lors d'un essai de traction met en évidence ces trois catégories :

- la courbe **A** illustre le caractère en contrainte-déformation d'un polymère rigide (module élevé) dont la rupture se produit quasi simultanément à la limite d'élasticité. Le polymère a un comportement fragile (faible allongement à la rupture) ;
- la courbe **B** montre que le comportement de certains matériaux plastiques est semblable à celui de nombreux matériaux métalliques : la déformation élastique initiale est suivie d'une déformation plastique. Le matériau est tenace (fort allongement à la rupture) ;

- la courbe **C** indique une déformation élastique dans un large domaine de déformation ; ce comportement mécanique est typique d'un élastomère.**[47].**

Les matières plastiques ont des propriétés mécaniques influencées par les principaux facteurs suivants :

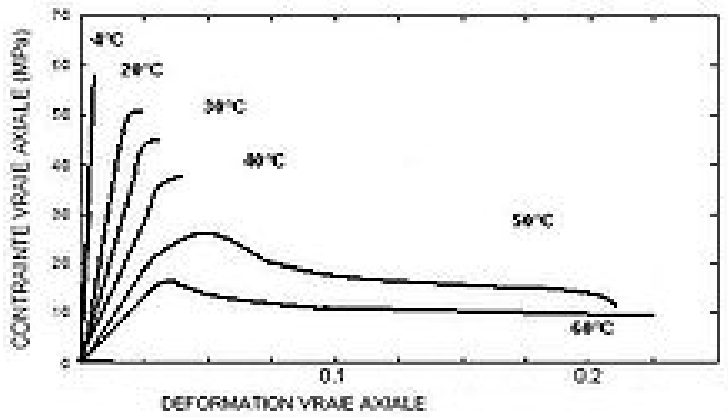


Figure I.32 : Influence de la température : courbe établie pour un échantillon de plastique à différentes températures

- la température ;
- la cohésion des polymères ;
- la modification des propriétés mécaniques moléculaires des polymères ;
- leurs conditions de transformation.

Globalement, le module d'élasticité et l'allongement à la rupture des polymères rigides se déterminent de la même façon que dans le cas des métaux.

- ✓ La limite d'élasticité Re des polymères plastiques équivaut sur la courbe à la valeur maximale de la contrainte se situant à la fin de la région élastique linéaire. De plus, la résistance à la traction Rm correspond à la contrainte entraînant une rupture ; elle peut prendre une valeur supérieure ou inférieure à Re.
- ✓ Il est important de souligner que les propriétés mécaniques des polymères thermoplastiques et des élastomères dépendent fortement de la température (voir le graphique intitulé « Influence de la température »), des contraintes extérieures et du temps d'observation. Une élévation de température fait passer un matériau thermoplastique d'un comportement rigide et fragile à un comportement ductile et tenace **[47].**

I.6.7 Les déchets plastiques

I.6.7.1 Introduction

Les bouteilles de boissons et toutes sortes de flacons de shampooing et de lessive atterrissent dans les sacs PMC bleus qui sont ensuite déposés sur le trottoir.

Le reste des déchets de plastiques ménagers comme les pots à yaourt, les barquettes à beurre et les feuilles plastiques disparaît avec les résidus. Les déchets de construction sont apportés au parc à conteneurs. Et la vieille voiture ? Le garagiste la reprend… et le tour est joué, vous en êtes débarrassé !

Mais vous êtes-vous déjà demandé quel est le sort réservé aux déchets de plastiques ?

Comment donne-t-on une seconde vie à une bouteille de PET, un châssis de fenêtre, un emballage de polystyrène expansé, un tuyau et un réservoir à essence, par réutilisation, recyclage ou récupération d'énergie ?



Figure I.33 : Différent types des déchets plastiques

I.6.7.2 Le recyclage des déchets plastiques

a. Introduction

Polystyrène, polymères acryliques, chlorure de polyvinyle, polyéthylène, polyuréthane, polytétrafluoroéthylène, polyesters, silicones, résines époxy, polycarbonates, polypropylène, Polyéthylène téréphtalate, etc. etc.

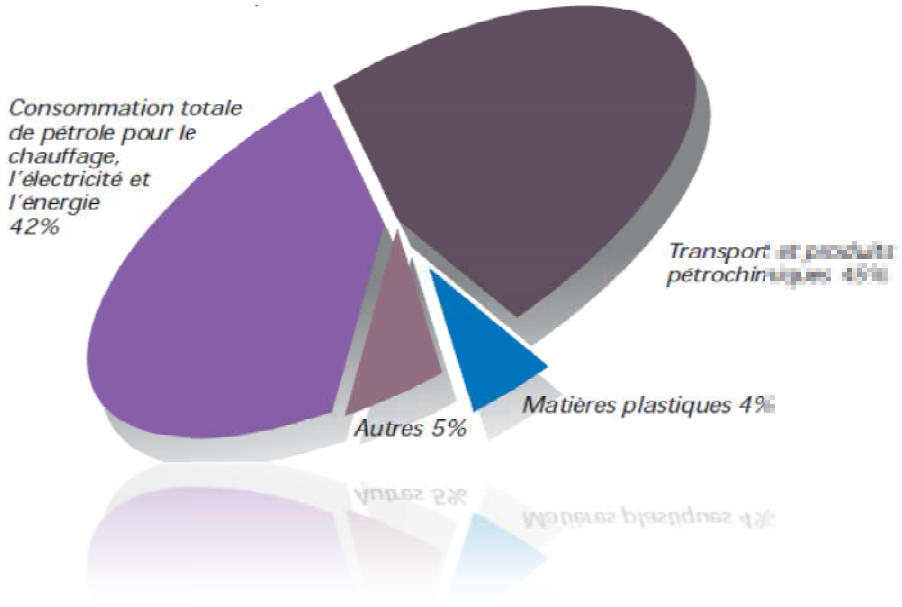
Actuellement, il existe plus de 700 types de plastiques aux noms que les chimistes sont les seuls à pouvoir encore prononcer correctement. Dans l'usage quotidien, la plupart de ces matières reçoivent le nom de 'plastique'. Or, ces matières possèdent des propriétés très diverses: certaines sont à l'épreuve des hautes pressions ou des températures extrêmes, d'autres forment une barrière contre la lumière, les acides, l'humidité ou les odeurs. Les mêmes plastiques de base peuvent aussi adopter des caractéristiques très diverses grâce à l'adjonction d'additifs. C'est ainsi que l'on connaît des matières plastiques qui sont très résistantes, élastiques ou insensibles à la chaleur. D'autres sont précisément souples, ont l'aspect de la mousse, sont transparentes ou permettent la fabrication de fibres.

Ces nouvelles matières connaissent des applications très nombreuses et très diverses. Un grand nombre de matériaux traditionnels comme le bois, les métaux, la faïence, le verre et les fibres naturelles ont été remplacés aujourd'hui par les plastiques. En outre, une longue série de fonctions nouvelles ne peuvent être remplies aujourd'hui que par les plastiques. Certaines sont très quotidiennes, d'autres, par contre, sont véritablement 'high-tech'. Les emballages représentent, et de loin, la majeure partie des utilisations. D'autres applications des plastiques se retrouvent notamment dans les vêtements, les automobiles, les bicyclettes, les appareils ménagers, le bâtiment, les revêtements de sol, les jouets, les téléphones mobiles, les ordinateurs et les accessoires médicaux: les utilisations du plastique s'étendent littéralement des sachets à tartines aux voiliers. La fabrication et l'utilisation des plastiques entraînent naturellement une montagne de déchets, ce qui pose problème. En tout premier lieu, ceci ne fait qu'agrandir la montagne mondiale de déchets. Si nous voulons un développement durable, nous devons agir de manière à ne pas imposer de limitations aux options économiques, sociales et environnementales des générations futures. Durable signifie notamment utiliser intelligemment les matières premières et l'énergie.

La plupart des plastiques sont réalisés à partir de pétrole, matière première limitée et précieuse. La gestion des déchets de matières plastiques englobe donc de plus en plus le recyclage ou le réemploi, bien entendu dans la mesure où une telle opération est pertinente sur un plan écologique et économique. **[48].**

- **Pourquoi recycler ?**

Le recyclage et le réemploi permettent d'économiser une grande quantité d'énergie primaire, notamment du pétrole, la principale matière première de la plupart des matières plastiques.



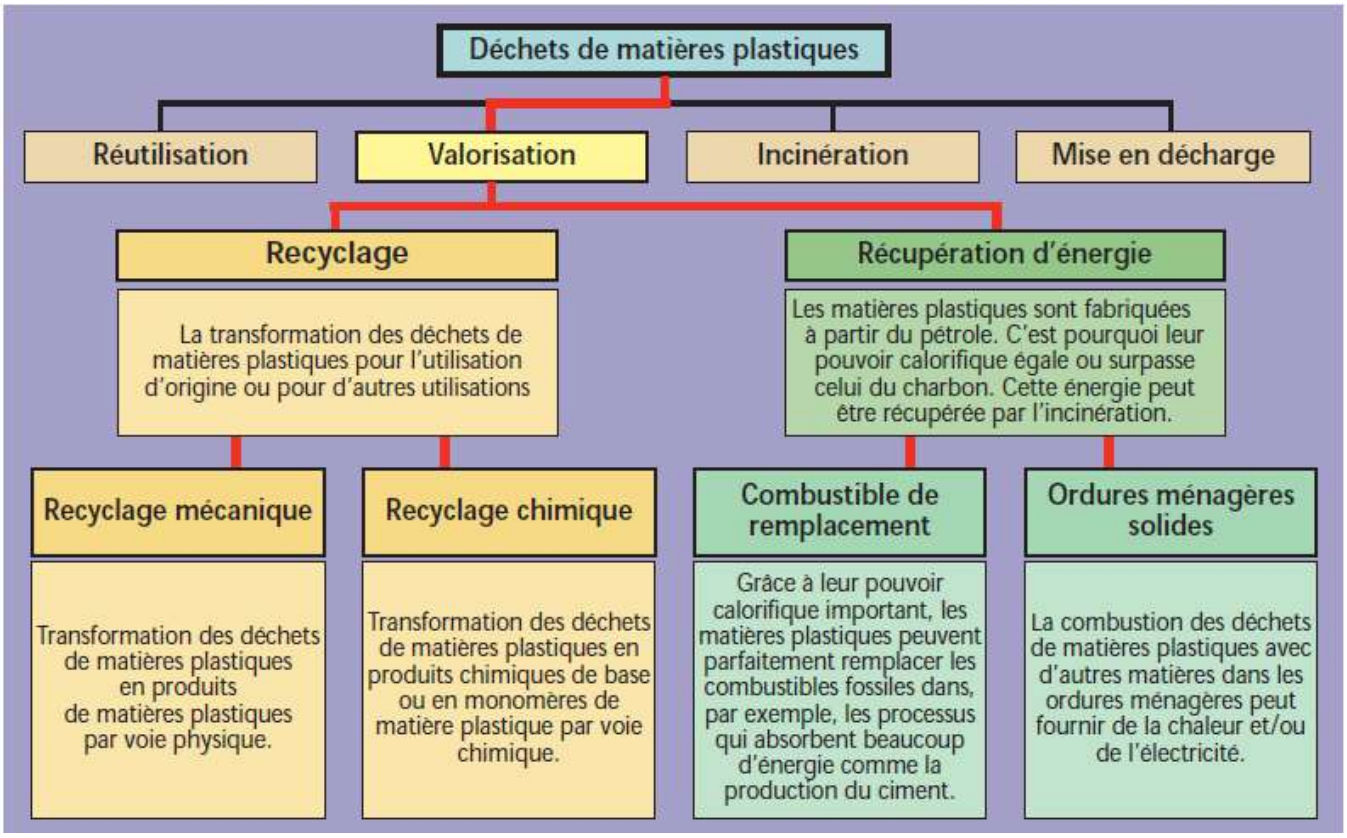


Figure I.34 : Les diverses options pour la gestion des déchets de matières plastiques

b. Applications primaires des plastiques

- **PEHD : polyéthylène haute densité**

Applications à parois épaisses rigides telles que bouteilles, flacons, seaux, bouchons, jouets, articles ménagers, réservoirs à carburant, tuyaux d'évacuation, feuilles pour sacs à ordures ménagères, caisses à claire-voie.

- **PEBD : polyéthylène basse densité**

Feuilles d'emballage, films pour l'agriculture et l'horticulture, films extensibles, jouets, revêtements, tuyaux d'irrigation, sacs pour fruits et légumes, sacs à ordures ménagères, sacs publicitaires.

- **PP : polypropylène**

Pots à yaourt, barquettes pour margarine, caisses à claire-voie, plats pour micro-ondes, emballages médicaux, pièces pour automobiles, tapis et fibres, pièces d'appareils électriques, meubles de jardin, bouchons de bouteilles/flacons.

- **PS : polystyrène**

Emballages à usage unique pour viande et charcuterie, glaces, et légumes, appareils électriques, gobelets à café, tasses et assiettes, cassettes vidéo et audio, trains miniatures.

- **PSE: polystyrène expansé**

Emballages tampons pour appareils ménagers, électronique et instruments, emballages pour oeufs, emballages pour restauration rapide, isolation thermique.

- **PVC: chlorure de polyvinyle**

Chassis de fenêtres, profilés pour la construction, tuyaux d'évacuation, revêtements de sols, rideaux, gouttières, isolation des câbles, cartes de crédit, produits médicaux (y compris poches pour plasma sanguin), blisters, bouteilles, revêtements.

- **PETP: polyéthylène téréphtalate**

Bouteilles pour boissons gazeuses, emballages pour l'industrie alimentaire, vêtements.

- **PUR: polyuréthane**

Mousse de confort pour coussins et matelas, appuie-têtes et accoudoirs, éponges, mousse d'isolation. (Voir annexe) **.[48]**

c. Principe du recyclage :

Les matières thermoplastiques, à la différence des matières thermodurcissables ou des élastomères, peuvent être récupérées, broyées et transformées pour être réutilisées.

Le recyclage est un procédé de traitement des matériaux qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. La problématique quant au recyclage des polymères provient essentiellement du fait que ces derniers sont rarement utilisés seuls. Pour faciliter la mise en forme, les procédés industriels ont souvent recours à des plastifiants et des charges. Cependant, des nouveaux procédés permettent de recycler les polymères en fin de vie.

De par leur pouvoir calorifique élevé, ils permettent par incinération d'en obtenir une valorisation énergétique (production d'électricité ou de chaleur à usage industriel ou domestique). On peut aussi procéder par :

- Traitement mécanique (lavage, tri, broyage, séparation) ;
- Traitement thermochimique (solvolyse, pyrolyse, réaction chimique).

La plupart des emballages des produits de la vie quotidienne sont à base de matières plastiques. De nombreuses étapes de transformation du polymère sont pour cela nécessaires. Chaque opération ajoute une valeur au produit. La tendance constatée est que le coût de recyclage augmente considérablement si l'on désire un matériau d'une grande pureté.

Pour aider au recyclage des articles jetables, la Société de l'industrie plastique a conçu en 1988 un système de marquage par type de matière plastique, le code d'identification des résines. Un emballage utilisant ce système est marqué d'un triangle fléché à l'intérieur duquel se trouve un numéro indiquant le type de plastique utilisé **: [48]**



Figure I.35 : Triangle marqués indique le type de plastique utilisé

I.6.7.3 Les Modes de traitement des déchets des matières plastiques

a. Procédés actuellement utilisés

a.1 <u>Enfouissement contrôlé</u>

Une forte part des ordures ménagères – et les plastiques qu'elles contiennent- sont encore éliminées par ce moyen qui est la forme la plus aisée de se débarrasser de ces résidus. Il a cependant, l'inconvénient d'être ni esthétique, ni valorisant. On peut même parler d'un véritable gâchis en ce qui concerne les plastiques puisqu'une tonne de ces matériaux est énergétiquement équivalente à deux tonnes de pétrole **[49].**

a.2 <u>Incinération sans récupération d'énergie</u>

C'est encore, pour le moment, la façon la plus efficace et la plus rapide pour faire disparaître les résidus urbains sans cesse croissants.

Elle demeure, de plus, intéressante pour les petites collectivités **[49]**

a.3 <u>Incinération avec récupération d'énergie ou valorisation énergétique</u>

Les plastiques constituent une source de chaleur considérable qui enrichit celle des ordures ménagère. En effet, alors qu'ils n'en représentent que 4 à 5 %, ils constituent de 15 à 20 % de l'énergie contenue valorisant ainsi la récupération de la chaleur produite qui peut être utilisée directement pour le chauffage ou sous forme d'énergie électrique. **[50,49].**

Cette solution n'est cependant pas parfaite car :

• Des matériaux coûteux partent en fumée.

• Elle peut induire une pollution par les gaz de combustion rejetés dans l'atmosphère.

La récupération de la chaleur restera toutefois une alternative intéressante tant que l'on ne saura pas séparer les produits.

a.4 Recyclage mécanique ou valorisation matière

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. L'inconvénient de cette méthode est que toute contamination ou tout mélange peut diminuer la chance de recycler le déchet d'une manière valorisante. **[51,50,49].**

a.5 Recyclage chimique ou valorisation en matières premières pour la chimie

Le recyclage des matières pour la chimie vise à décomposer les molécules constituantes des résines en matières premières utilisables à nouveau dans les raffineries, la pétrochimie et la chimie .

Un certain nombre de techniques sont actuellement à l'étude :

• Pyrolyse : décomposition des molécules par chauffage sous vide ; ce procédé conduit à des hydrocarbures liquides ou gazeux utilisables ultérieurement dans les raffineries.

• Hydrogénation : traitement par l'hydrogène et la chaleur des polymères qui sont craqués en huiles hydrocarbonées utilisables dans les raffineries et les usines de produits chimiques.

• Gazéification : les plastiques sont chauffés en présence d'air ou d'oxygène ; le gaz de synthèse résultant est constitué de monoxyde de carbone et d'hydrogène qui peut être utilisé dans la production de méthanol ou d'ammoniac ou encore comme agent réducteur dans la production d'acier.

• Décomposition chimique proprement dite : certains polymères peuvent être décomposés pour obtenir les monomères ou les produits de base correspondants, réutilisables pour une nouvelle polymérisation.

Toutefois tous ces procédés n'ont pas encore prouvé leur rentabilité économique. **[49,52].**

I.6.7.4 Procédés en voie de développement

a. Biodégradation

Bien que les polymères de synthèse soient prévus dans leur grande majorité pour avoir les meilleures résistances possibles à l'eau et aux micro-organismes et pour garder leurs propriétés mécaniques et leur stabilité dans l'environnement, on a essayé de développer des plastiques susceptibles de biodégradation Ce type de matériaux est déjà agrée en Allemagne pour la fabrication d'articles à usage alimentaires gobelets, assiettes et couverts jetables) **[53].**

b. Photo-dégradation

Par exposition aux radiations solaires, les matières plastiques (en général des films) dans lesquelles on a incorporé des agents sensibilisateurs photo-dégradants deviennent fragiles et se fragmentent.

On arrive à régler ainsi la durée de vie du film en fonction de la durée et de l'intensité de l'ensoleillement **[50,54].**

Si des matériaux tels que l'acier, l'aluminium ou le papier, bénéficient depuis longtemps de filières de recyclage en place, il n'en est pas de même pour les plastiques pour lesquels la question du devenir des déchets a été posée beaucoup plus tard **[55].** Les plastiques en fin de vie ont donc une très mauvaise image de marque du point de vue de l'environnement, d'autant plus qu'ils sont très voyants : ce qui fait la qualité de ces matériaux lors de leur utilisation pose problème lors de leur rejet. Les plastiques,

Légers, flottent dans l'eau, sont rejetés sur les berges et les plages ; ils résistent à l'humidité, aux agents chimiques, à la biodégradation.

Ils sont brillants et de couleurs vives et claires. Cette pollution est surtout visuelle ; les plastiques ont, en effet, dans la plupart des cas un comportement neutre en décharge Mais, le fait que la durée de vie des produits en utilisation est plus courte que la durée de vie effective des matériaux pose donc problème.

Il est dés lors clair que, pour éviter le gaspillage des ressources naturelles (les matières plastiques étant essentiellement produites à partir de la pétrochimie) et préserver l'environnement, le plastique, comme les autres matériaux, doit être recyclé. **[55].**

Le premier choc pétrolier de 1973 à fait prendre conscience d'une limitation de nos réserves d'énergie fossile et d'une nécessité impérieuse d'économie dans tous les secteurs d'utilisation **[55].** Cette crise de l'énergie a eu pour effet d'entraîner les régénérateurs et les transformateurs à investir simultanément dans les installations de recyclage **[51].**

Dans le cas de l'Algérie, le devenir des déchets des matières plastiques se pose également.

En plus de la pollution visuelle de l'environnement qu'ils provoquent, laisser de tels matériaux encombrer les décharges constitue un énorme gaspillage car les matières premières sont importées.

Cet article se propose donc de passer, tout d'abord, en revue les différents modes de traitement des déchets des matières plastiques utilisées actuellement ou en voie de développement.

Une description de l'unité de régénération TP1/ R de Rouiba sera ensuite donnée. Enfin, quelques résultats concernant les régénérés produits par cette unité seront présentés. **[50].**

c. Description de l'unité de régénération TP1/R de Rouiba

L'unité de régénération de Rouiba est une des unités de l'Entreprise Nationale des Plastiques et Caoutchoucs (ENPC). Elle s'étend sur une superficie de 10 000 m^2 et a été mise en service en **1990**. Le mode de recyclage utilisé par cette unité est le recyclage mécanique ou valorisation matière. Dans cette unité on procède au recyclage du polyéthylène basse densité (PEBD) seulement car l'appareillage utilisé n'est compatible qu'avec ce matériau. Les déchets utilisés sont de différentes provenances:

• Chutes et carottes de production.

• Déchets de films agricoles (90% de la production).

• Déchets de pochettes de lait.

La collecte et le tri de ces déchets se fait dans un premier temps par des particuliers qui les vendent au kilogramme à l'unité. Un second tri est effectué au niveau de l'unité de sorte que les déchets de films agricoles soient séparés des déchets de pochettes de lait. Le lavage se fait dans la ligne de régénération. La production actuelle de régénérés est de 2 tonnes / jour. Ces produits sont écoulés sur le marché National. Ils sont mélangés à du PEBD non régénéré et servent à la fabrication de caisses de limonade, bassines, corbeilles à papier**, [56].**

c.1 Présentation des matériaux utilisés dans cette étude.

• Le PEBD vierge est le B 24 / 2 produit au niveau du complexe CP 1/ K de l'Entreprise Nationale des Industries Pétrochimiques (ENIP) de SKIKDA.

• Les PEBD régénérés ont été produits au niveau de l'unité TP1/R de Rouiba. La description et la provenance des déchets utilisés pour l'obtention de ces régénérés sont portées sur le tableau **I.2**.

Tableau I.2 : Désignation et provenance des déchets utilisés

Désignation des régénérés	**Provenance des déchets utilisés pour la régénération**	**Etat des déchets**
R1	Chutes et carottes de production de film agricole neutre	Propres
R2	Chutes et carottes de production de film agricole neutre et stabilisé	Propres
R3	Déchets de films agricoles neutres	Sales
R4	Déchets de films agricoles neutres et stabilisés	Sales
R5	Déchets divers : films agricoles, pochettes de lait, tubes de canalisations,…	Sales

c.2 Méthodes de préparation, de caractérisation des échantillons et appareillages

• Les mélanges de PEBD régénérés et de PEBD non régénéré réalisés sont regroupés dans le tableau **I.3.**

Tableau I.3 : Echantillons analysés.

Produit	% en poids
Régénéré R_i (i =1 à 5)	100 75 50 25 0
PEBD non régé-néré	0 25 50 75 100

• La mesure de la masse volumique a été effectuée sur des disques obtenus à l'aide d'une presse à plateaux chauffants de marque « DARRAGON » (France) dans les conditions opératoires suivantes :

- Température : 180°C
- Pression : 120 bars
- Durée de compression : 24 h
- Durée de refroidissement : 24 h

Les mesures ont été effectuées selon la norme NF T51-561.

• Le test de traction a été effectué, sur des éprouvettes haltères de dimensions normalisées, à l'aide d'une machine de traction de marque « ADAMEL LHOMARGY » (France). l'essai consiste à étirer l'éprouvette à vitesse constante jusqu'à la rupture. L'allongement correspondant est déterminé. L'essai de traction a été effectué selon la norme NF T51- 034.

• La dureté a été mesurée à l'aide d'un duromètre Shore D selon la norme NF T51-109 sur les disques préparés .

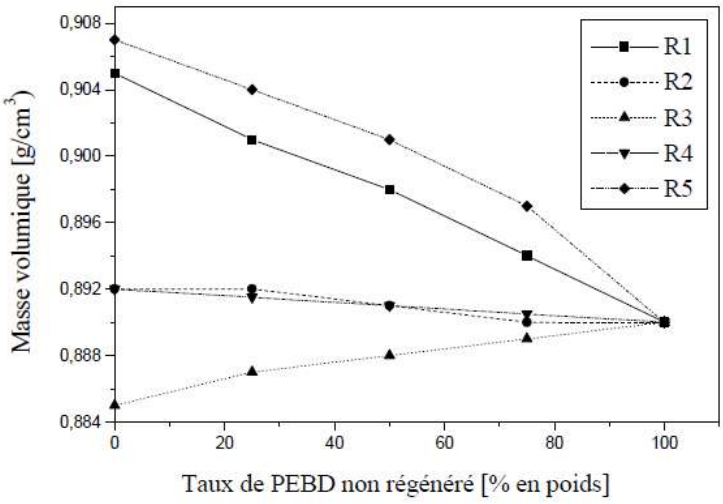


Figure I.36 : Variation de la masse volumique en fonction du taux de PEBD non régénéré

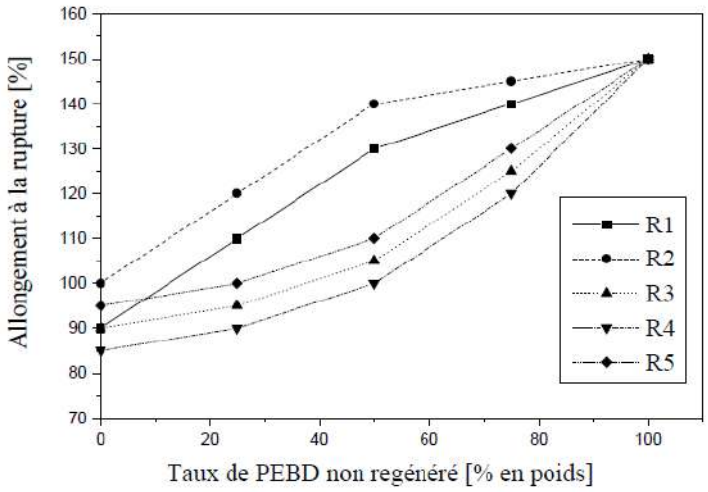


Figure I.37 : Variation de l'allongement à la rupture en fonction du taux de PEBD non régénéré.

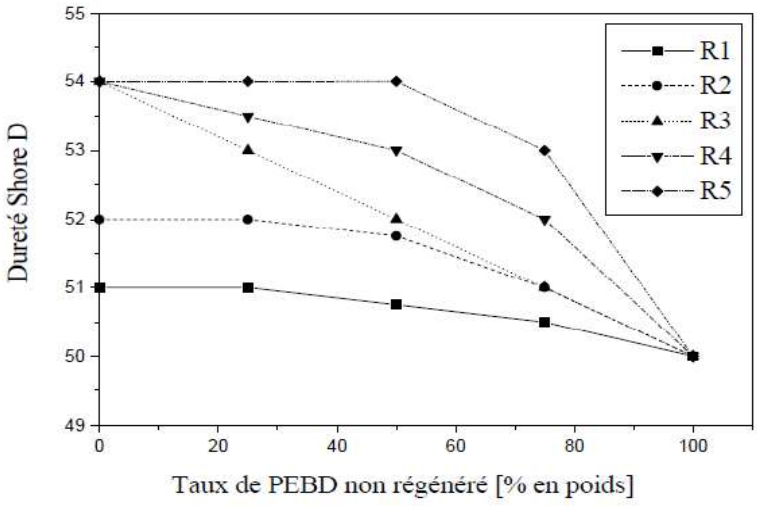


Figure I. 38 : Variation de la dureté Shore D en fonction du taux de PEBD non régénéré

CHAPITRE II

MATÉRIAUX ET ESSAIS



II.1 Introduction

Le travail expérimental mené a été établi dans le but d'observer et d'étudier l'effet et l'influence des déchets plastiques (poudre et fibres en plastique) sur le comportement physique et mécanique et la durabilité de mortier, Ce chapitre décrit en détail tous les essais expérimentaux faits en laboratoire et les matériaux utilisés au court de la présente recherche.

II.2 Programme expérimental et Protocole d'essais

Pour le besoin de cette étude, En plus du Mortier a base de sable naturel, Mortier témoin (MT), Trois Famille de mortiers a base de déchets plastiques sont fabriquées et sont comme suite :

MT : Mortier naturel sans déchets plastiques (Mortier Témoin).

MFPR : Mortier a base de fibres plastiques rectilignes.

MFPO : Mortier a base de fibres plastiques ondulées.

MPP : Mortier a base de poudre en plastique.

Comme pour tous les bétons et les mortiers, la formulation doit être définie avec le plus grand soin et les grandeurs caractéristiques sont classiques et bien connues à savoir :

- La nature et le type de squelette granulaire.
- Les dosages en sable, ciment, eau.

La caractérisation des mortiers renforcés de déchets plastique **(MDP),** à l'état durci, nécessite de définir les corps d'épreuve sur lesquels seront mesurées les grandeurs spécifiques du matériau et les technique d'essai. Les différents essais faits au cours de ce travail sont résumés dans le tableau **II.1** suivant :

Tableau II.1 : les Essais Réalisées Sur les Mortiers A l'Etat Frais Et à l'Etat Durci

	Essai	**Norme**
Etat Frais	Maniabilité	NF P 18-452 et NF P 15- 437 [59].
	Air occlus	NF P 18-353 [57]
	Densité	NF EN 12350-6 [80]
Etat Durci	Compression sur éprouvettes cubiques 4x4x16 cm	EN 196-1 [71]
	Traction par flexion sur éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm	EN 196-1 [71]
	Absorption d'eau par capillarité	NBN NE 13057 [60]
	Retrait	NF P 18-404 [61]

II.2.1 Matériaux utilisées

Pour confectionner des éprouvettes en mortier pour nos différents essais, nous avons besoins de ciment, des granulats (sable) et de l'eau de gâchage.

II.2.1.1 Le ciment

Un seul type de ciment est utilisé au cours de cette étude expérimentale **[62]**. 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 [63]**.

a. Définition

MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clincker 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 [63]**, **EN 197-1 [64]** et à la norme **NF P 15-301 [65]**.

b. Domaine d'application

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 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 autres constructions civiles) ;
- ✓ Secteur travaux publics (tunnels, ponts, ports, aéroports…etc) ;
- ✓ Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de dessalement…etc.) ;
- ✓ Secteur industriel ;

c. Analyse et caractérisation

c.1 Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clincker

Le tableau **II.2** résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du Clinker, selon la fiche technique du ciment (Annexes).

Tableau II.2 : l'Analyse chimique du ciment et composition du clinker

Analyse chimique du ciment	Perte au feu (%) (NA 5042)	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

c.2 Essais physique

- **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 [66]**.

- **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 [67]**.

- **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 [68]**.

Le tableau **II.3** résume les résultats des essais physiques sur le ciment utilisé.

Tableau II.3 : 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

c.3 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 [69]** 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.4.**

Tableau II.4 : Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge

Ages (jours)	Résistance à la Compression (MPa)
2	>20
28	≥ 42.5 et 62.5



Figure II.1 : Le ciment utilisé

II.2.1.2 Les granulats

Les premiers essais réalisés concernant l'identification et la caractérisation des différents constituants rentrant dans la composition de notre mortier dans ce que suit, On présente les résultats de nos propres essais sur les différents granulats utilisés (Sable).

II.2.1.3 Les sables

- Deux sables sont utilisés au cours de ce travail et sont comme suit :

a. Le sable roulé (S_R)

Le sable roulé utilisé dans cette étude est un sable fin de Hassi Bahbah de la région de Djelfa **[72]**, située à 300 Km au sud d'Alger, de classe granulaire est 0/3 **(Figure II.2.A)**.

b. Le sable de concassage (S_C)

Le sable de concassage utilisé est un sable grossier **(Figure II.2.B)** 0/5, provenant de la station de concassage de **MONT GORNO** situé à 25 Km au sud de Médéa**.**



A - Le sable de concassage (S_C)



B- Le sable roulé (S_R)

Figure II.2 : Les sables utilisés

La correction des deux Sables suscités selon la méthode d'Abrams nous a conduit a utiliser un troisième sable qu'on a appelé sable corrigé composé de 63% de S_R et 37%de S_C

II.2.1.4 L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des différents mortiers est l'eau potable de distribution **[8]**, exempte d'impuretés, conforme à l'exigence de la norme **NF EN 1008 [77]**.

II.2.1.5 Les déchets plastiques

Dans ce travail on a utilisé trois types de déchets plastiques (sous forme poudre, Fibres plastiques ondulées et Fibres plastiques rectilignes).

a. Les déchets de plastique sous forme d'une poudre (PEBD)

- Ce sont des déchets sous forme d'une poudres **(Fig:II.3)** Obtenue par le recyclage de **PEBD** (Polyéthylène Bas Densité) .Ce sont des déchets très légers leur densité est inférieure a celle de l'eau.
Cette poudre en plastique est incorporée dans le mortier par substitution par rapport a la masse de sable selon les pourcentages suivants : **5%,10%,15% et 20%.**



Figure II.3 : Déchets sous forme de poudre plastique

b. Les déchets plastiques de forme fibres (ondulées, rectilignes) (PET)

Ces déchets sont des fibres rectilignes et ondulée de 0.5 mm de diamètre et 4 cm de longueur **(Fig : II.4 ; II.5)** obtenue par le recyclage des bouteilles plastique de nature polyéthylène téréphtalate **(PET).**

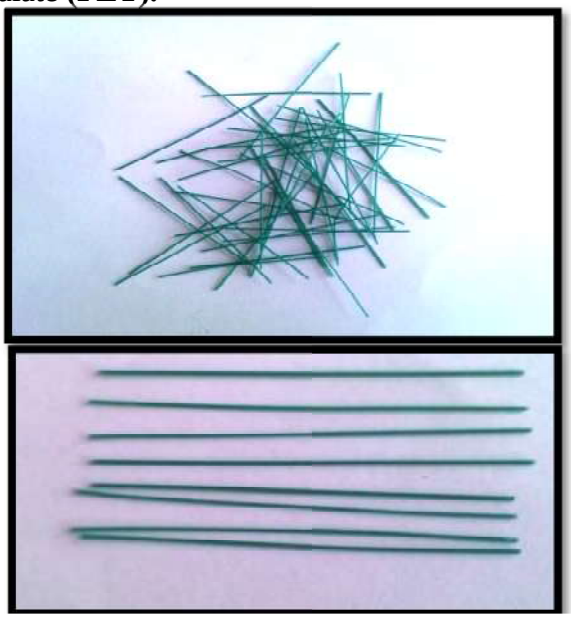


Figure II.4 : Les fibres de plastiques rectilignes

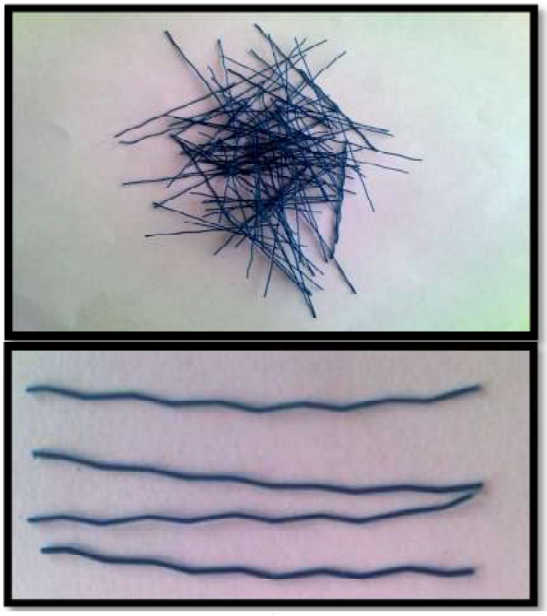


Figure II.5 : Les fibres de plastiques ondulés

Ces deux fibres plastiques sont ajoutés au mortier par rapport à la masse du ciment selon les pourcentages suivants : **0.5%, 1.0%, 1.5%, et 2.0 %**

FPO : Fibres Plastiques Ondulées.

FPR : Fibres plastiques rectilignes.

PP : Poudres Plastiques.

II.2.2 Protocol d'essais

A raison de trois éprouvettes par essai et trois âges (3, 7,28 j), trois différents types de déchets plastiques et quatre pourcentages de chaque type de déchet plastique, le nombre d'essais effectué sur les mortiers réalisés est résumé comme suite :

- 13 essais sur ouvrabilité ;
- 13 essais d'aéromètre ;
- 117 essais de traction par flexion ;
- 234 essais de compression simple ;
- 30 essais d'absorption d'eau ;
- 160 essais de retrait ;

II.2.3 Préparation des matériaux

II.2.3.1 Lavage du sable de concassage

Le lavage du sable doit se faire afin d'obtenir un constituant propre, exempte d'éléments nocifs et de fines, Le lavage est effectué sous l'eau de robinet en procédant au tamisage de sable avec un tamis de maille égale à 0.063 mm **[9]**.

II.3 Confection et Cure des éprouvettes

La norme **EN 196-1 [71]** décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai Le mortier préparé, est remplit dans un moule (4 cm x 4 cm x 16 cm). Le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux fois et en appliquant au moule 60 chocs à chaque fois. Après quoi le moule est arasé, recouvert d'une plaque de verre et entreposé dans la salle ou l'armoire humide. Entre 20 h et 24 h après le début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans un cure, dans l'eau à 20 C° ± 2 C° ou dans l'air libre selon la nature de l'essai, jusqu'au moment de l'essai de rupture.

Au jour prévu, les 3 éprouvettes sont rompues en flexion et en compression. Les normes **ENV 197-1 [64]** et **NFP 15-301 [65]** définissent les classes de résistance des ciments d'après leur résistance à 3, 7 et 28 jours.

Ces âges sont donc impératifs pour vérifier la conformité d'un ciment. Si des essais sont réalisés à d'autres âges (dans notre cas) ils devront être réalisés dans les limites de temps indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.5: Les limites du temps d'écrasement **[79].**

Age	**24h**	**72h**	**7j**	**≥ 28j**
Précision	± 15 min	± 45min	± 2h	± 8h



Figure II.6 : Conservation des éprouvettes a l'aire libre



Figure II.7 : Conservation dans l'eau a20 °C±2°C

II.3.1 Composition des mortiers

Trois différentes familles **(MFPR, MFPO et MPP)** de mortier sont fabriquées à base de sable corrigé contient et de déchets plastiques et comparés chacun par rapport au mortier témoin **(MT).** Pour les différents types de mortier, le rapport E/C est fixé à **0.58** correspondant à la composition qui a donnée une meilleure ouvrabilité.

Tenir compte de l'absorption d'eau des granulats utilisés **[79]**, l'eau de gâchage utilisé pour la réalisation des différents types de mortier est donné par l'équation suivante :

$$E_{eff} = E_{Libre} + E_{Abs}$$ **(Equation .II.1).**

E_{eff} : Eau efficace

E_{Libre} : Eau libre nécessaire au malaxage .

E_{Abs} : Eau absorbé par les granulats.

Tableau II.6 : Compositions des différentes familles de mortiers réalisés

		MT	MPP				MFPR				MFPO			
			5%	10%	15%	20%	0,50%	1,00%	1,50%	2,00%	0,50%	1,00%	1,50%	2,00%
Ciment (g)		450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
Sable (g)	S_R	850	807,5	765	722,43	679,9	850	850	850	850	850	850	850	850
	S_C	500	475	450	425,08	400,1	500	500	500	500	500	500	500	500
Eau (g)		261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261
E/C		0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
Déchets plastiques (g)		0	**Substitution**				**Incorporation**							
			11,08	22,17	33,25	44,34	2,5	4,65	6,85	9,25	2,25	4,5	6,75	9

- **Avec :**

MT : Mortier Témoin.

MFPR : Mortier a base de fibres plastiques rectilignes.

MFPO : Mortier a base de fibres plastiques Ondulées.

MPP : Mortier a base de poudre plastique.

S_R : Sable roulé.

S_C : Sable concassée lavée.

II.4 Malaxage des mortiers

La procédure de malaxage pour les deux types de mortier (sans et avec déchets plastiques) est représentée dans les tableaux **II.7 et II.8.**

Tableau II.7 : Opérations de malaxage du mortier sans déchets plastiques

Opérations	Durée	Etat du malaxeur
Introduction du ciment + l'eau	-	Arrêt
Malaxage	30 s	Vitesse lente
Introduction du sable	30 s	
Malaxage	30 s	Vitesse rapide
Raclage de la cuve	15 s	Arrêt
-	1min 15s	
Malaxage	60s	Vitesse rapide

Tableau II.8 : Opérations de malaxage du mortier avec déchets plastiques et sans adjuvant

Opérations	Durée	Etat du malaxeur
Introduction du sable + ciment + 1/2 de déchets plastiques	-	Arrêt
Malaxage	45 s	Vitesse lente
Introduction de l'eau	45 s	
+ 1/2 de déchets plastiques	-	Arrêt
Malaxage	30 s	Vitesse rapide
Raclage de la cuve	15 s	Arrêt
-	1min 15s	
Malaxage	60s	Vitesse rapide



Figure II.8 : Les étapes de fabrication des éprouvettes de mortier

II.5 Les essais

II.5.1 Equipement nécessaire

L'ensemble est décrit de manière détaillée par la norme **EN 196-1 [71]** et est illustré dans la (**Figure II.9)**

- Une salle maintenue à une température de 20 °C ± 2 °C et à une humidité relative supérieure ou égale à 50 % ;
- Un bac d'eau pour la conservation des éprouvettes maintenue à une température de 22 °C ± 2 °C et à une humidité relative supérieure à 90 % ;
- Un malaxeur à mortier normalisé avec une cuve de 5 L et pale de malaxage en inox;
- Des moules normalisé permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée (4cm x 4cm x 16cm);
- Une table à chocs pour le serrage des éprouvettes, permettant d'appliquer 60 chocs aux moules en les faisant chuter d'une hauteur de 15 mm ± 0,3 mm à la fréquence d'une chute par seconde pendant 60 s;

- Balances pour la mesure des petites et grandes quantités ;
- Tamiseuse électrique ;
- Les tamis de différentes mailles en inox ;
- Agitatrice ;
- Cône de sable, pour la mesure de la masse volumique apparente du sable ;
- Eprouvettes et béchers en verre et en plastique graduées ;
- Spatules flexibles en acier inox ;
- Pinceaux ;



- Table à chocs



-Moule Normalisé (4x4x16) cm



- Etuve



- Agitatrice

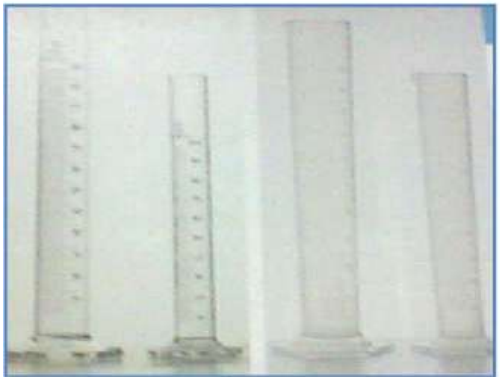




- Balances







- Eprouvettes et béchers en verre et en plastique graduées





- Bac d'eau -Spatules flexibles en acier inox



- Pinceaux ;

Figure II.9 : Equipement nécessaire

II.5.2 Les essais effectués sur les granulats

a. Masses volumiques

Les masses volumiques apparentes et absolues des différents sables utilisés ont été déterminées selon la norme **NA 451 [18]**.

a.1 Masse volumique apparente

Cet essai consiste à remplir un récipient de volume **1L** par le matériau, ensuite on mesure la masse de ce dernier et on applique l'équation suivante on obtient la masse volumique apparente (ρ app) **[9]:**

ρ app= M / 1 (kg/m3) **(Equation II.2)**



Figure II.10 : Le cône et le récipient

a.2 Masse volumique absolue

Cet essai **(Figure II.11)** consiste à mettre dans une éprouvette un volume d'eau de 200 ml puis on verse 100 g du matériau dedans et par le biais de l'équation suivante on calcul la masse volumique absolue **[9]**: ρ abs= M / V2-V1 (kg/ m3) **(Equation II.3)**

À la fin, on peut tirer les indices suivants: (porosité, compacité, indice des vides).

C = ρ app / ρ abs ; P = 1-C ; I = P / C **(Equations II.4)**

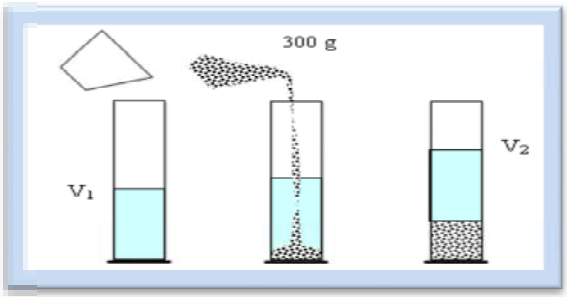


Figure II.11 : Les éprouvettes de mesure

b. Equivalent de sable

Selon la norme **NF P 18-598 [20]**, la procédure de mesure de l'équivalent de sable est comme suit **[14]:**

1. On remplies les éprouvettes avec la solution lavante, jusqu'au premier trait.
2. On verse la quantité de sable voulue en éliminant les bulles d'air.
3. On Bouche les éprouvettes et on les agite par des mouvements rectilignes horizontaux de20cm d'amplitude, 90 allers retours en 30 secondes (effectués de manière automatique par la machine.
4. On lave et on remplies les éprouvettes, avec le tube plongeur

- On rince le bouchon au dessus de l'éprouvette
- On faire descendre le tube laveur en le faisant tourner entre les doigts pour laver les parois intérieures de l'éprouvette
- On lave le sable en faisant descendre et on remonte lentement le tube laveur dans la masse de sable pour faire remonter les particules fines dans la solution supérieure

5. On faire Sortir le tube, et on ferme le robinet lorsque le niveau du liquide atteint le trait supérieur puis laisse reposer 20 mn en évitant toute vibration. La tolérance sur le temps de repos est faible (plus ou moins 10 sec) car la hauteur du floculat dépend fortement de celui-ci.
6. Puis on Mesure à vue les hauteurs h_1 et h_2

   La mesure de h_2 n'est pas toujours aisée donc l'ESV qui en découle contient des incertitudes. Il faut donc procéder de manière précise pour déterminer l'ES en utilisant la méthode du piston.
7. On descendre le piston taré dans le liquide à travers le floculat, le manchon prenant appui sur le bord supérieure de l'éprouvette, et l'immobiliser au contact du sable. On Mesure alors h_2'.

Ces opérations sont identiques pour les 2 éprouvettes réalisées sur chaque sable. Les mesures h_1, h_2 et h'_2 doivent être faites avec la précision du mm.



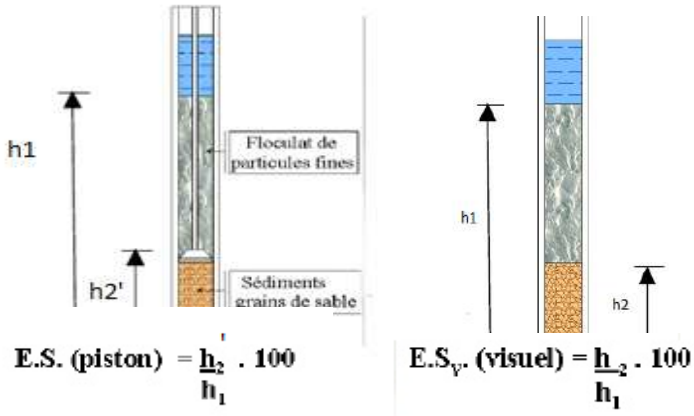


Figure II.12 : Procédure de mesure de l'équivalent de sable

b.1 Précautions:

- Matériel propre et solution lavante récente
- Attention aux orifices du tube laveur (à nettoyer si besoin est)
- Eviter toute vibration pour les éprouvettes en cours d 'essai

b.2 Expression des résultats:

On Calcul pour chaque éprouvette ESV et ES avec une précision décimale et retenir les moyennes arithmétiques, arrondies chacune à l'entier le plus proche.

ES =100. (h2**'** / h1) **(Equation II.5)**

ESV =100. (h2/ h1) **(Equation II.6)**

c. Granulométrie

L'analyse granulométrique a été réalisée conformément à la norme **NA 2607 [30]** où le sable passant à travers une série de maille décroissante **(figure II.13)** dont on pèse le refus de chaque tamis **[14]**.



Figure II.13 : Séries de tamis

On utilise une quantité de **1000 g** pour le sable de concassage et **1000 g** pour le sable roulé.

On trace les courbes granulométriques pour chaque sable, puis on tire les coefficients suivants :

- ✓ Le coefficient d'uniformité C_u ;
- ✓ Le coefficient de courbure C_c ;
- ✓ Le module de finesse M_f;

II.5.3 Les essais effectués sur le mortier

II.5.3.1 Sur mortier frais

a. Ouvrabilité du mortier

Selon les normes L.C.P.C **NF P 18-452 [58]** et **NF P 15-437 [59]** le but de cet essai est de quantifier l'ouvrabilité qui est une qualité, évolutive dans le temps, du mortier avant prise, et classer les mortiers suivant une échelle de fluidité croissante (ferme, plastique, très plastique et fluide) **[14]**.

Dans cet essai la consistance est caractérisé par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide. L'appareil utilisé est appelé Maniabilimètre à mortier LCPC **(figure II.14)** et comporte :

- ❖ Unique boîtier parallélépipédique métallique (30 cm x15 cm x15 cm) ;
- ❖ Une cloison amovible ;
- ❖ Un vibrateur ;
- ❖ Un chronomètre ;



Figure II.14 : Maniabilimètre à mortier avec la tige de piquage

Le principe de fonctionnement du maniabilimètre à mortier est résume comme suite :

- Huiler légèrement les parois internes de la cuve.
- Remplir le mortier.
- Le mortier est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison et mis en place en deux couches.
- Chaque couche piquée de 15 coups au moyen de la tige de piquage.
- Araser la dernière couche.
- La cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibrateur et le déclenchement d'un chronomètre en même temps que la cloison est retirée.

- Sous l'effet de la vibration le mortier s'écoule.
- Le chronomètre est arrêté quand le mortier atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier.

Le temps **t** mis par le mortier pour s'écouler caractérise sa consistance, L'état du mortier avant et après l'essai est illustré dans la **(figure II.16).**

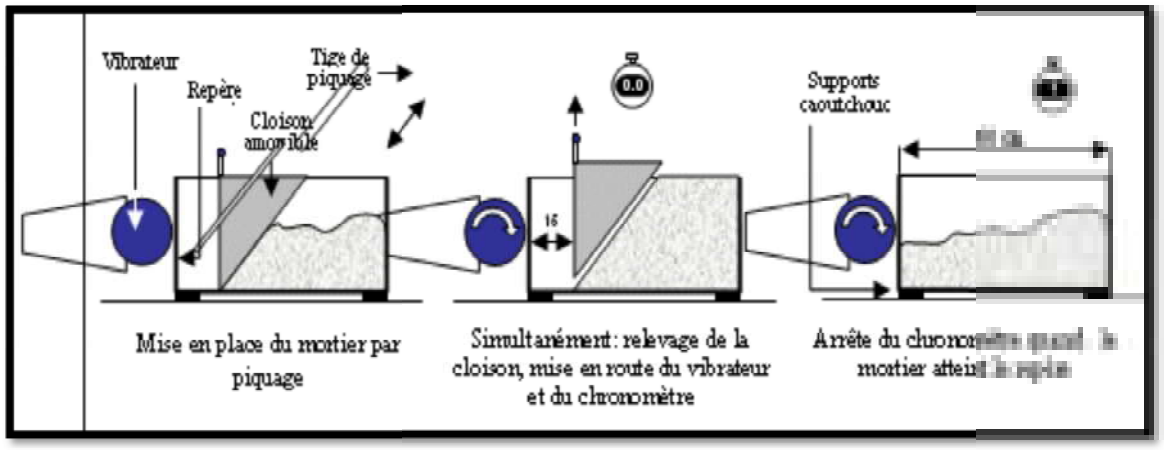


Figure II.15 : Principe de fonctionnement du Maniabilimètre à mortier

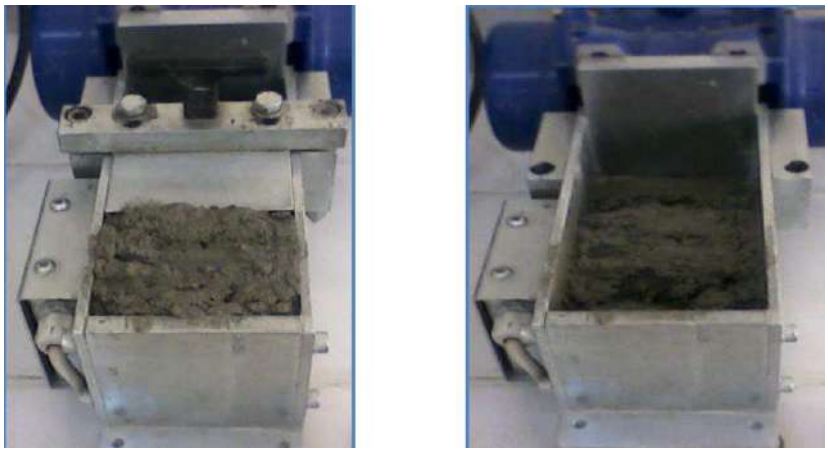


Figure II.16 : Etat du mortier avant et après mesure du temps d'écoulement

b. Air occlus

L'air occlus est le volume d'air relatif qui restera piégé dans le mortier ou le béton, même après la mise en œuvre. Pour réaliser un mortier 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.

Selon la norme **NF P 18-353 [57]**, une cuve hermétiquement close accueille un volume donné de mortier. Ce mortier contient de l'air, susceptible d'être comprimé sous l'action d'une pression **[14]**. Lorsque l'on applique une pression à l'ensemble mortier / air occlus par l'intermédiaire d'un fluide incompressible, la pression se transmet intégralement à l'air occlus (on suppose les autres éléments du

mortier incompressible). L'air est comprimé sous une pression permettant de négliger son volume final au regard de son volume initial.

Le fluide incompressible occupe la place de l'air occlus dans le mortier. Le rapport de son volume déplacé au volume total utilisé permet de déterminer le pourcentage volumique d'air occlus.

b.1 Equipement nécessaire

- Une balance permettant de peser à 1 g près,
- Un malaxeur normalisé est également requis pour la réalisation du mortier,
- Un aéromètre à mortier d'une capacité de 1L **(figure II.17).**



Figure II.17 : Aéromètre à mortier**.**

b.2 Exécution de l'essai

- Introduire le mortier dans la cuve de mesure en trois couches approximativement de même volume. Mettre en place chaque couche de mortier par 25 coups de tige de piquage également répartis sur toute la section, suite au piquage de chaque couche, tapoter de coups secs les parois du bol 10 à 15 fois avec un maillet, jusqu'à ce que tous les vides laissés par le piquage soient comblés et que de grosses bulles d'air n'apparaissent plus à la surface de la couche qui vient d'être mise en place par piquage ;
- Ajouter la couche de mortier finale de manière à éviter un trop plein excessif, araser la surface supérieure à l'aide d'une règle métallique ;
- Mettre en place le couvercle sur la cuve, le fixer en bloquant les attaches rapides diamétralement opposées **(Figure II.18);**
- Ouvrir les vannes rouges sur le couvercle ;

- Par la vanne de gauche, au moyen d'une pissette remplir l'aéromètre jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de bulles d'air et que l'eau parvienne à la vanne de droite. A la fin du remplissage, incliner légèrement l'appareil de façon à ce que la vanne de droite se trouve plus haut que la vanne de gauche. Fermer les deux vannes ;
- A l'aide de la pompe à main, amener l'aiguille du manomètre en face du repère rouge sur le cadran. Laisser s'équilibrer la pression (qui peut retomber) et pomper de nouveau de sorte à dépasser légèrement le repère. Ajuster alors précisément la position de l'aiguille à l'aide du bouton poussoir noir ;
- Tapoter légèrement sur le manomètre et l'aéromètre pour assurer que la pression ne change pas,
- Appuyer sur le bouton poussoir vert quelques secondes jusqu'à ce que les pressions entre cuve et chambre de compression s'équilibrent ;
- Le manomètre indique alors directement en pourcentage le volume d'air occlus dans le mortier **[9]**.



Figure II.18 : Etat final du mortier dans la cuve avant mesure

c. La densité

La masse volumique du mortier a été mesurée selon la norme **NF EN 12350-6 [80]. (Fig. II.19)**



Figure II.19 : Mesure de la densité du mortier

II.5.3.2 Sur mortier durci :

a. Essai de traction par flexion

Selon la norme **EN 196-1 [71]** c'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) **(Figure II.20),** une éprouvette prismatique de côté a et de longueur L **[14]**. Dans notre étude, cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à 3, 7, 28 jours.

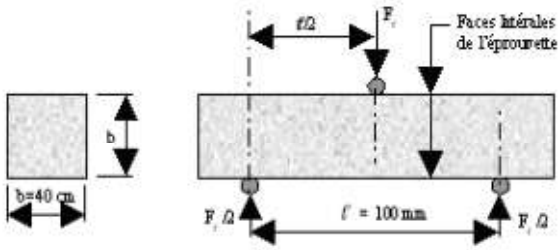


Figure II.20 : Dispositif pour l'essai de résistance à la traction

La contrainte de flexion sur la fibre inférieure est donnée par la formule suivante :

$\sigma_t = (M / I)\, \nu$ **(Equation II.7)**

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

$M = F_f L /4$ **(Equation II.8)**

I : Moment d'inertie de la section transversale : $I = a^4/12$ **(Equation II.9)**

ν : La distance de la fibre la plus éloignée : $\nu = a/2$ **(Equation II.10)**

La résistance à la traction par flexion est calculée donc par la formule suivante :

$\sigma_t = (1.5F_f L)/ a^3$ **(Equation II.11)**

$f_t28 = 0.9\ Ft.L / a^3$ **(Equation II.12)**

La rupture de chaque éprouvette en traction est effectuée conformément au dispositif décrit sur la **(Figure II.21)**



a/ L'éprouvette avant l'essai



b/ L'éprouvette après l'essa



c/ L'éprouvette après l'essai

Figure. II.21: Essai de traction par flexion

b. Essai de compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme **EN 196-1 [71]** par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à 3,7,28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 kN conforme a la norme **NF P 18-412 [81] (Figure II.22)** pendant l'essai la vitesse de chargement est constante, La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette correspond à la contrainte moyenne d'écrasement sur trois éprouvettes à chaque âge d'essai (3j.7j.28j) **[14]**.

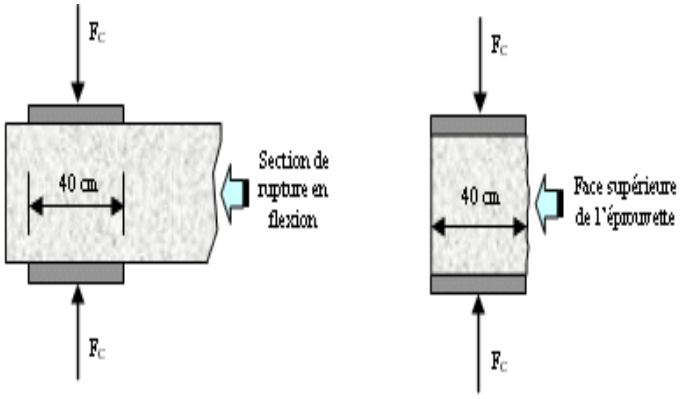


Figure II.22 : Dispositif de rupture à la compression

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture à la traction seront rompus à la compression comme indiquée sur la figure **II.24,** la contrainte de rupture est calculée comme suit :

$$R_c = F_c / b^2 \qquad \textbf{(Equation II.13)}$$



Figure II.23: Presse Hydraulique (2000kN)



A /L'éprouvette avant l'écrasement

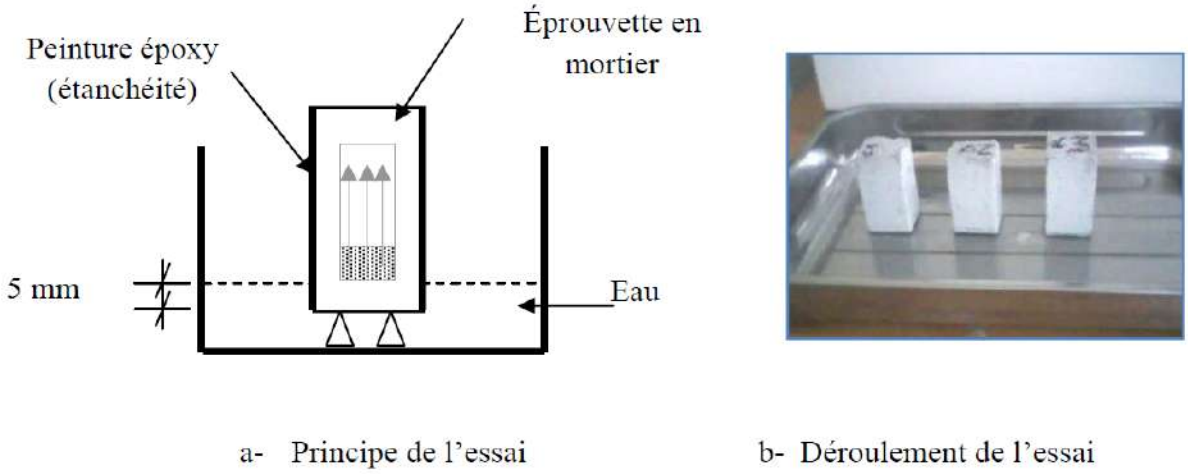


B/ L'éprouvette après l'écrasement

Figure II.24 : Essai de compression

c. Essai d'absorption d'eau par capillarité

Conformément à la norme **NBN NE 13057 [60]**, dans cet essai, on prend un morceau d'éprouvette de mortier déjà utilisé puis séché. On le pèse (m_0) au début, après on l'introduire dans un bac remplit d'un film d'eau (5 mm d'eau) **(figure II.25)** et pendant chaque intervalle de temps (12min, 30 min ,1 h ,2 h ,4h ,24h) on ressort les morceaux du bac et on les pèse (m_1) Le différent de poids entre $m_1$et m_0 est le poids de l'eau absorbée (m_1- m_0).



a- Principe de l'essai b- Déroulement de l'essai

Figure II.25 : Absorption d'eau par capillarité

d. Essai de retrait et gonflement

En l'absence de toute charge, le mortier 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 mortier. Le retrait dépend non seulement des conditions de conservation (humidité, température) mais dépend aussi des constituants du mortier **[14]**.

Les mesures du retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques (4x4x16 cm) conformément à la norme **NF P 18-404 [61]** , Ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24 h, placées dans un rétractomètre **(figure II.26)** munis d'un comparateur qui permet la mesure du retrait à tout moment à cours terme et moyenne terme (du 1j jusqu'a 5 semaines) La conservation des éprouvettes est faite dans les trois cures citées d'après avant.



Figure II.26 : Rétractomètre et son étalonnage

d.1 Mesure des variations de longueur

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 0.03 mm 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 160 mm de longueur et dont les extrémités reproduisent la forme des plots de l'éprouvette (la tige est réalisée en métal Invar et protégée contre les variations de température qu'elle est appelée à subir au cours des manipulations) même métal que l'appareil.

d.2 Mesure des variations de masse

La variation de masse est déduite après avoir, pesé à 0.1 g chaque éprouvette à chacun des temps utilisés pour mesurer de retrait.

d.3 Expression des résultats

Pour chaque éprouvette on calcul les rapports suivants:

$\Delta \mathbf{L}$: Variation de longueur par apport à la longueur origine,

L0 : Longueur de base, prise égale à 160 mm.

$\Delta \mathbf{M}$: 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).

d.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 = 160 mm. Soit dl(t) la valeur lue sur le comparateur au temps t; l'éprouvette a une longueur au temps considéré:

$$l = L + dl(t) \quad \text{(Equation II.14)}$$

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:

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0) \quad \text{(Equation II.15)}$$

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

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L} \quad \textbf{(Equation II 16)}$$

Δl(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 ou le froid, Δl(t) peut être positif: il y a alors gonflement) **[82].**

II.6 Variable étudiés

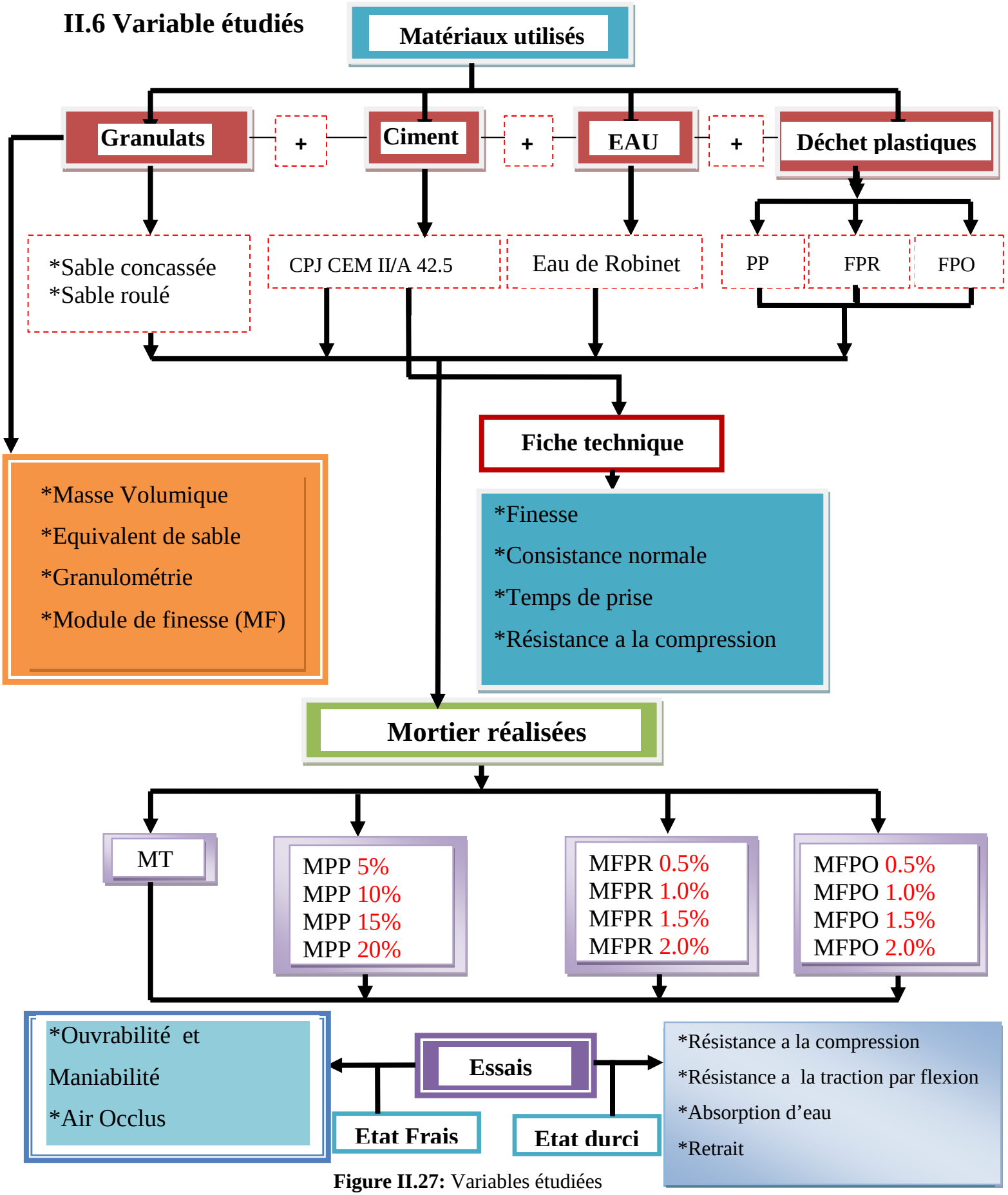


Figure II.27: Variables étudiées

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS



III.1 Introduction

Dans ce chapitre on présente les résultats obtenus pour les différents essais réalisés sur les granulats, sur le mortier frais et mortier durci.

Les résultats sont rassemblés ci-après et les valeurs données sont les moyennes arithmétiques des trois résultats d'essais.

III.2 Caractérisation des granulats

Les résultats des différents essais de caractérisation réalisée sur les sables sont résumés dans les deux tableaux suivants **(Tableau III.1) et (Tableau III.2) :**

Tableau III.1 : Caractéristiques des différents sables utilisés

Caractéristique	Type de Sable		Normes
	Roulé	Concassée	
Provenance	Hassi Bahbah	Mont Gorno	
Classe granulaire	0/3	0/5	NF EN 933-1**[73]**
Module de finesse	1.00	3.35	NF EN 933-1
Masse volumique absolue (g/cm3)	2.48	2.54	NF EN 1097-6**[74]**
Masse volumique apparente (g/cm3)	1.42	1.49	NF EN 1097-3 **[75]**
Equivalent de sable (%)	69.52	90.60	NF EN 933-8 **[76]**
Taux d'absorbation d'eau (%)	1	2	NF EN 1097-6

Tableau III.2 : Compacité, porosité et indice des vides des différents sables utilisés

Sable	Roulé	Concassé lavé
Compacité (%)	56.35	57.36
Porosité (%)	43.65	42.63
Indice des vides	0.774	0.743

- **Remarque :**

✓ A travers de ces résultats trouvés en équivalent de sables, On distingue que le sable concassé est un sable grossier tandis que le sable roulé est un sable très fin, Donc il est nécessaire de corriger le sable roulé par le sable concassée pour avoir un mélange convenable et avec un équivalent de sable acceptable.

- **Correction des sables**

Selon la méthode ***d'ABRAMS*** et le module de finesse souhaité (M*f* souhaité = 2.5), on calcul les paramètres S1, S2 et S suivants :

$Mf_{\text{souhaité}} = 2.5$

S1=3.35-2.5=0.85.

S2=2.5-1.00=1.5.

S=0.85+1.50=2.35.

Le sable mélange sera composé alors des portions suivants :

- Le pourcentage du sable roulé = (0.85/2.35).100 = 36.17 %
- Le pourcentage du sable concassé = (1. 50/2.35).100 = 63.83 %

Ou bien si on utilise une masse M =1000g de sable on prend les quantités suivantes :

- La masse du sable concassé = 630 g(approximativement)
- La masse du sable de roulé = 370 g(approximativement)

Pour la poudre en plastique on a **M*f* =2.47** → Le plastique utilisé en poudre convient pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante. A travers ces résultats trouvés, les courbes granulométriques des différents granulats utilisés sont illustrées dans la figure **III.1** suivante :

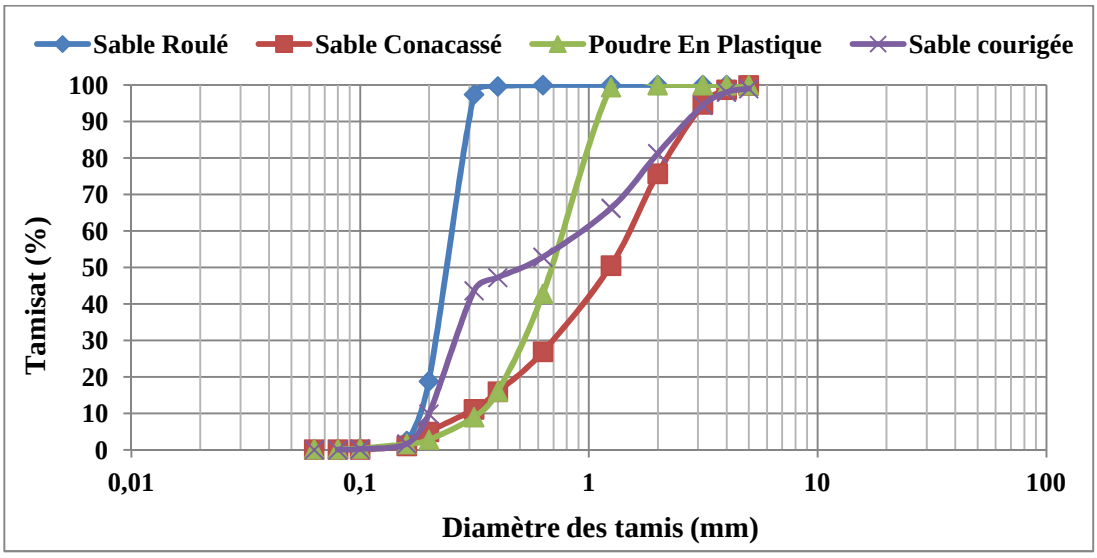


Figure III.1 : La courbe granulométrique des granulats utilisée.

III.3 Caractérisation des mortiers

Les résultats données ci-après sont regroupés selon deux modes : à l'état frais et à l'état durci.

III.3.1 Etat frais:

Tableau III.3 : Caractéristiques des différents types des mortiers réalisés à l'Etat Frais

		Temps d'écoulement (s)	Air Occlus(%)	Densité (kg/m^3)
	Type Mortier	**$T_{Moyenne}$**	**Air Occlus(%) $_{moyen}$**	**Densité $_{moyenne}$ (kg/m^3)**
	MT	12,39	2,50	2,38
MPP	**MPP 5%**	10,76	2,20	2,05
	MPP 10%	5,47	1,90	2,00
	MPP 15%	2,37	1,60	1,92
	MPP 20%	1,75	1,00	1,82
MFPR	**MFPR 0,5%**	12,45	2,70	2,35
	MFPR 1%	12,66	2,90	2,28
	MFPR 1,5%	13,00	3,00	2,21
	MFPR 2%	13,26	3,10	2,16
MFPO	**MFPO 0,5%**	12,56	2,40	2,32
	MFPO 1%	13,05	2,30	2,25
	MFPO 1,5%	13,54	2,10	2,14
	MFPO 2%	14,01	1,80	2,09

a. Ouvrabilité

Les résultats sont représentés sur un histogramme **(Figure III.2)** et le **(Tableau III.3)** nous permet de comparer les valeurs du temps d'écoulement des différentes mortiers réalisés.

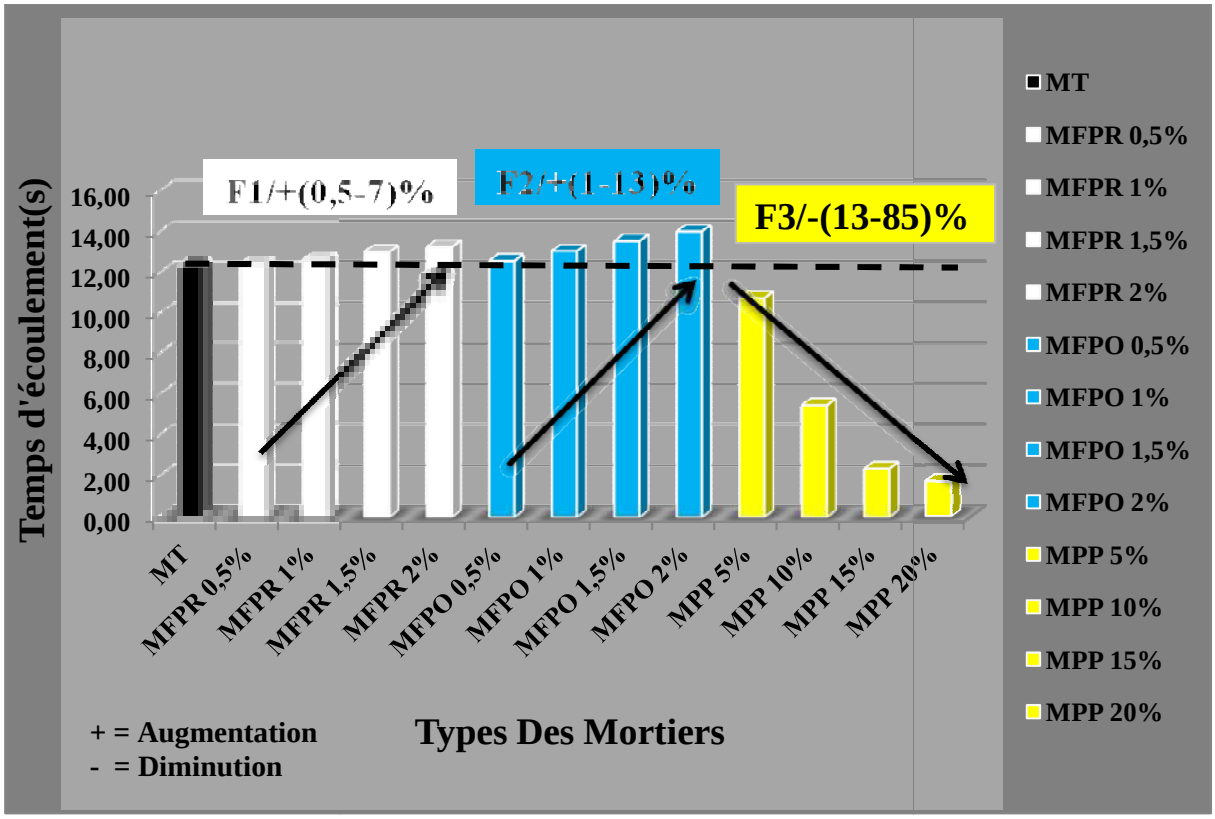


Figure.III.2 : Temps d'écoulement des différents mortiers réalisés

Pour pouvoir comparer les résultats, on a fixé le rapport E/C égale à 0.58 pour tous nos mortiers réalisés, D'après la lecture de ce graphe on peut dire que la maniabilité de mortier varie en fonction de pourcentage des déchets plastiques utilisé et selon la forme de ces dernières.

On remarque que le temps d'écoulement d'un mortier augmente avec l'augmentation de pourcentage des fibres plastiques utilisées que ce soit (rectilignes ou ondulées), Ou on a enregistrer une augmentation de (0.5 a 7% pour les fibres rectilignes et 1 a 13 % pour les fibres Ondulée) Ceci confirme que Le mortier a base de fibres plastique et mieux ductile que le mortier témoin.

Par contre la poudre en plastique utilisé influe positivement sur l'ouvrabilité du mortier car on a enregistré une chute estimé jusqu'à 85% pour un dosage de 20% de PP.

On constate alors que la maniabilité du mortier améliorer avec l'augmentation de pourcentage de la poudre en plastique.

b. Air occlus

Dans cet essai on a mesuré l'air occlus en (%) pour chaque gâché de mortier réalisé, et les résultats obtenus sont résumés dans la **(Figure III.3)** et le **(Tableau III.3).** ces résultats sont représentés sur un histogramme qui permet de comparer les valeurs des différents familles de mortier.

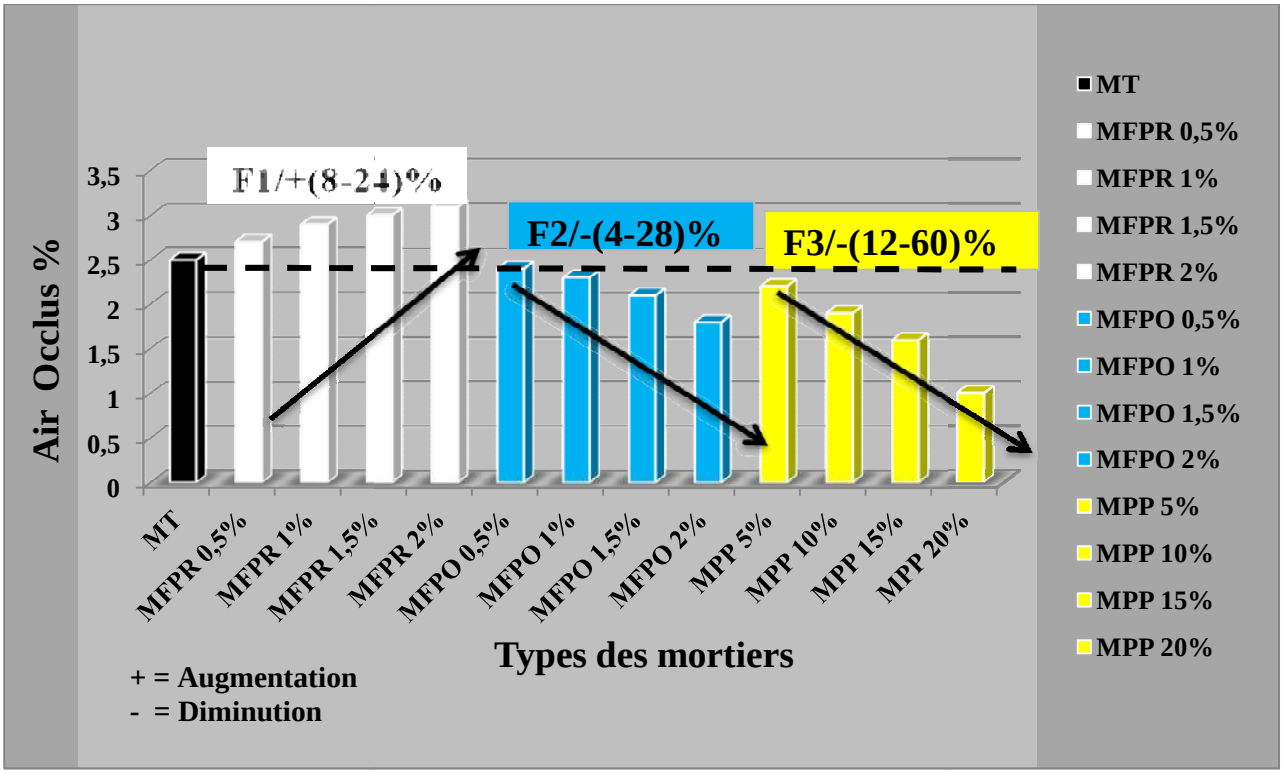


Figure III.3 : Air occlus des mortiers réalisés

.

D'après cette figure (**III.3**) et les résultats obtenus présenté sur le tableau **(III.3)** on remarque que les fibres plastiques de forme rectiligne causent plus d'air occlus dans le mortier par rapport à l'autre type de fibre ondulé et par rapport au mortier témoin.

Cela explique que le mortier à base de fibre rectiligne est mal compacté par rapport à l'autre type, et par conséquence plus poreux. Et cela pour un même pourcentage.

On constate ainsi que par apport au mortier témoin les fibres plastique rectiligne influe négativement sur la compacité de mortier (une augmentation de pourcentage d'air estimé jusqu'à 24 % Pour un dosage de 2% de FR)

Par contre l'utilisation des fibres plastiques ondulée et des déchets en poudres plastique dans notre mortier influe positivement sur la réduction des pourcentages d'air dans le mortier et cela avec l'augmentation de pourcentages des ces derniers, Ou on a enregistrer une chute de (4-28)% de pourcentage d'air dans le cas d'utilisation des fibres Ondulées parallèlement pour un dosage de 20 % de PP on a enregistrer une diminution de pourcentage d'air allant jusqu'à 60 %

D'autre part les résultats obtenus montrent que les déchets en poudre plastiques causent moins d'air occlus dans le mortier par rapport aux deux types de fibres utilisées. Cela explique que le mortier à base de déchets de poudre plastiques est bien compacté et par conséquence moins poreux par rapport au mortier témoin et par rapport aux mortiers de fibres plastiques.

c. Densité

La densité des différents mortiers réalisés est résumée dans l'histogramme suivant **(Figure III.4)** et le **(Tableau III.3):**

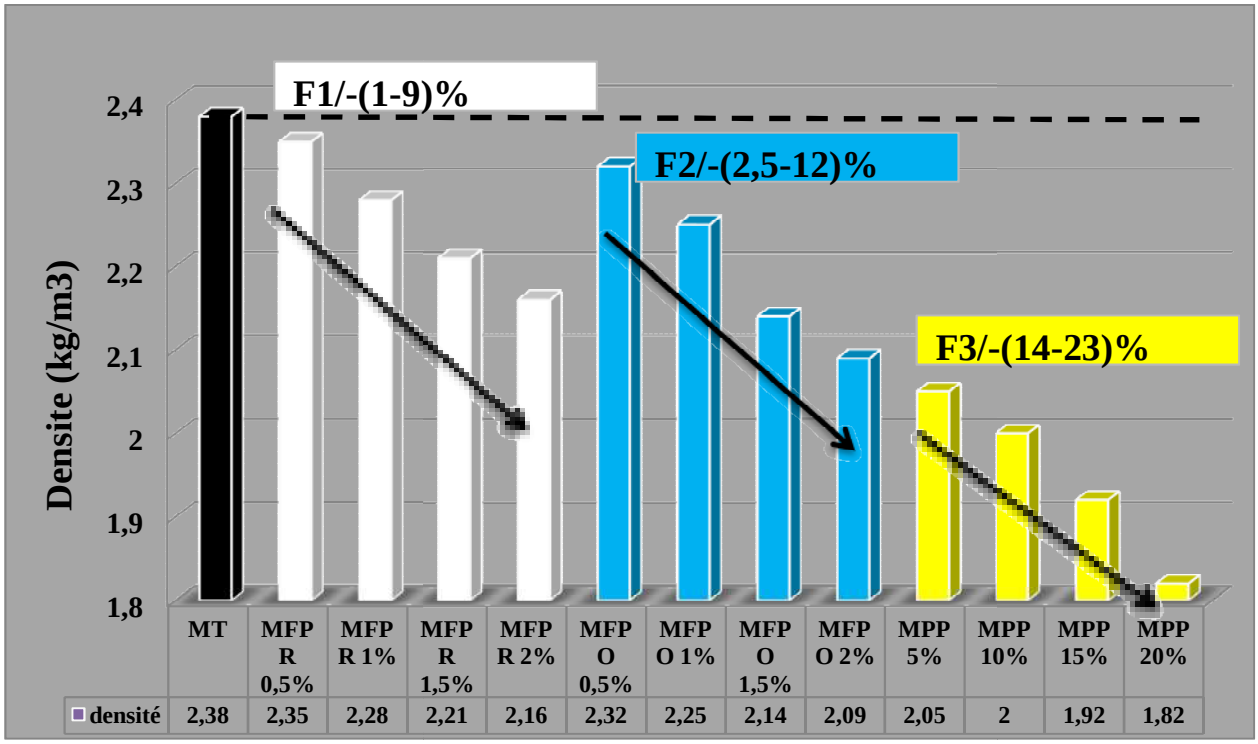


Figure III.4: Densité des différents mortiers réalisés

D'après la lecture de ce graphe (**Figure III.4)** et les résultats obtenue sur le **(Tableau III.3)** on remarque que l'utilisation des trois forme plastique (poudre, fibre ondulée, fibre rectiligne) influe d'une façon négative sur la densité de mortier, on remarque ainsi que la densité de mortier à base des poudres plastiques est la plus faible en comparant avec le mortier a base de fibre plastique ,une chute de jusqu'à 23% dans le cas d'utilisation de 20 % de PP , cet résultat semble être logique et attendu, a cause de la substitution du sable par la poudre en plastique qui est plus léger que celle du sable ou ciment.

Alors plus le pourcentage de déchets plastiques dans le mortier augmente plus que le mortier devient plus léger.

III.3.2 Etat durci

a. Résistance à la compression

Pour chaque essai, les résultats est la moyenne de 3 mesures prisent sur 3 éprouvettes à l'âge de 3,7 et 28j avec des dosages en déchets de 5% ,10% ,15 % ,20% pour des mortiers réalisé avec des déchets de poudre en plastiques, et de 0.5% ,1% ,1.5% ,2% pour des mortiers réalisées avec des fibres plastiques (ondulé et rectiligne), les résultats sont illustrés dans les **Figures (III.5,III.6,III.7)** et le **Tableau (III.4)** suivants :

Tableau III.4 : Variation de la Resistance a la compression des mortiers réalisé a (3j,7j,28j)

	Type de Mortier	RC moyenne (MPA)			
	(Age j)	0j	3j	7j	28j
	MT	0	16,58	21,22	35,80
MPP	**MPP 5%**	0	15,80	20,86	31,88
	MPP10%	0	15,20	18,73	28,33
	MPP15%	0	14,65	18,17	26,85
	MPP20%	0	13,78	17,56	24,58
MFPR	**MFPR 0,5%**	0	16,52	20,62	33,49
	MFPR 1,0%	0	16,08	20,12	32,55
	MFPR 1,5%	0	15,29	19,15	31,86
	MFPR 2,0%	0	14,92	17,89	30,79
MFPO	**MFPO 0,5%**	0	16,61	21,95	35,92
	MFPO 1,0%	0	17,22	22,23	36,12
	MFPO 1,5%	0	17,81	23,56	37,19
	MFPO 2,0%	0	17,92	24,36	37,94

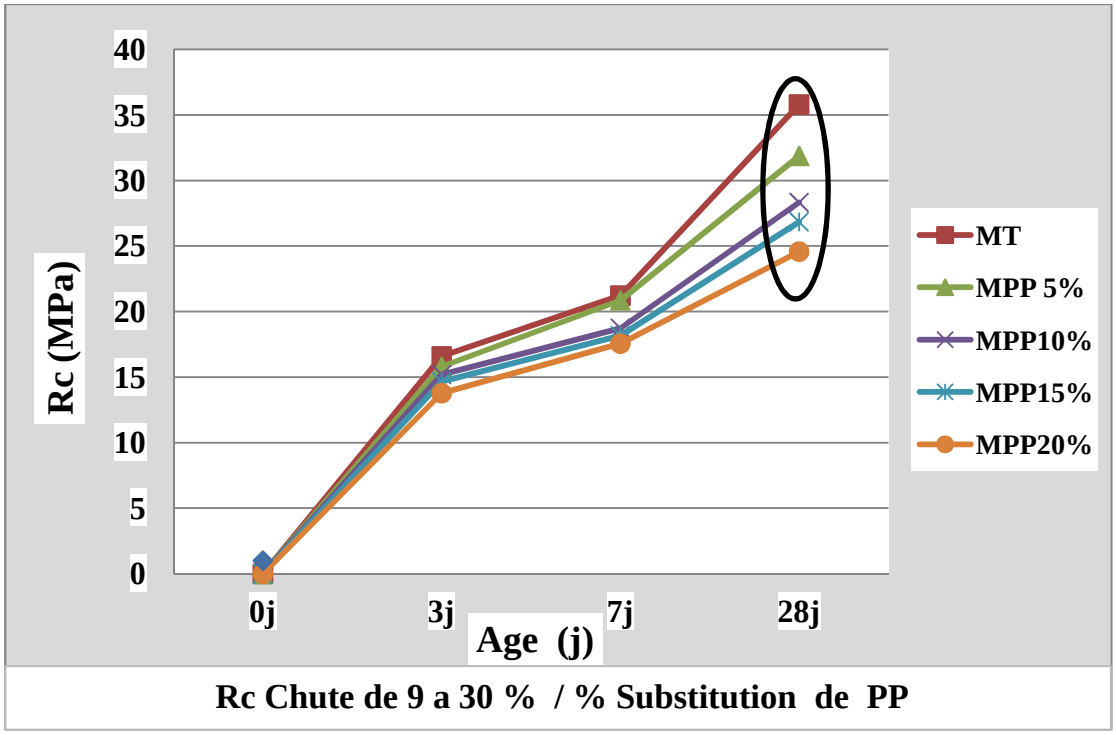


Figure III.5 : Variation de la Résistance à la compression des mortiers Type MPP

D'après la lecture de ce graphe on remarque une augmentation continue de la résistance à la compression pour les différents pourcentages des MPP, en fonction de l'âge (3, 7, et 28 jours).
Cette augmentation est due à l'hydratation du ciment au cours du temps ce qui provoque l'évolution de la compacité.

Par contre aux résultats trouvés au l'air occlus On remarque une diminution de la résistance mécanique en fonction de l'augmentation de pourcentage de déchet en plastique dans les mortiers, mais reste toujours proche à ce dernier pour tous les pourcentages où on a enregistré une chute de résistance à la compression estimé a 30 % pour un dosage de 20 % de PP et à L'âge de 28 jours par apport au mortier témoin. Cette chute de résistance semble être logique est due principalement à :

- La substitution du sable par la poudre plastique qui est plus faible et moins dur comme granulat et par conséquent donne naissance a un produit moins résistant
- La forme fin de la poudre en plastique
- La faible rugosité (surface lisse) de la poudre qui rend l'adhérence entre les grains et la pâte de ciment faible.

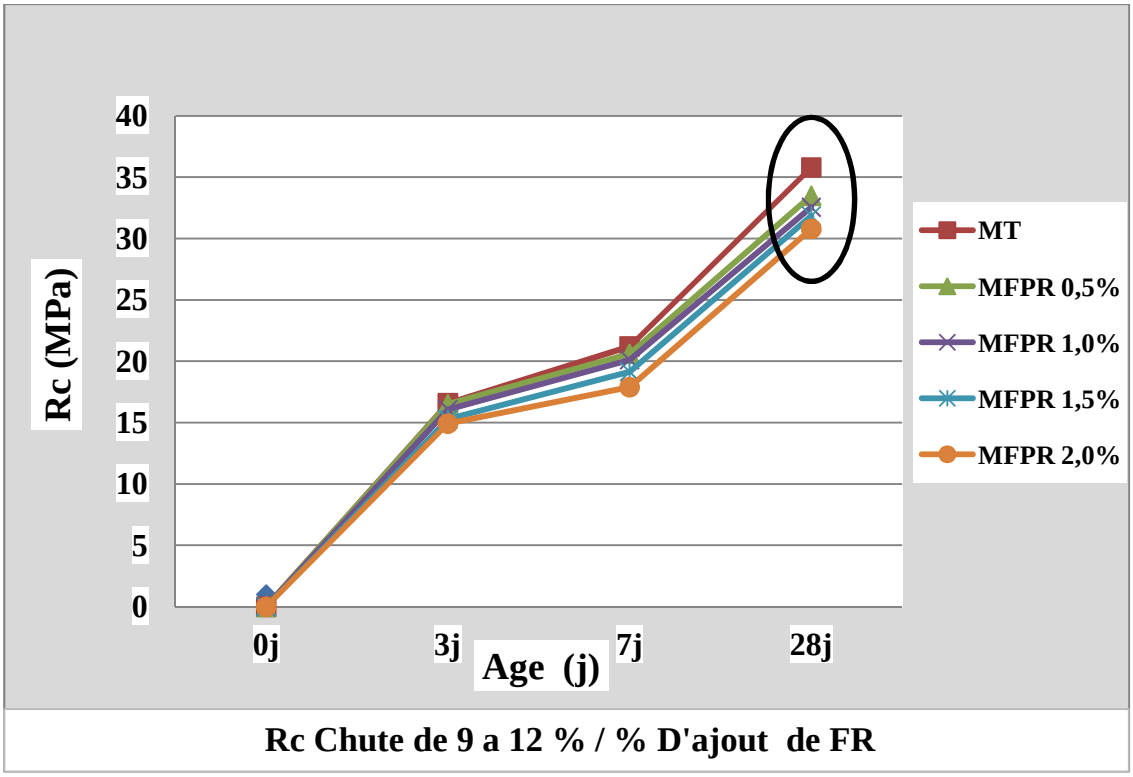


Figure III.6 : Variation de la Résistance à la compression des mortiers Type MFPR.

D'après la figure **(III.6)** on remarque que la cinétique de résistance du MFPR est la même que celle de mortier témoin et que la résistance est diminue avec l'augmentation du pourcentage d'ajout en fibres, on constate que le mortier de fibre plastiques rectilignes à des évolutions différentes de la résistance par rapport au mortier témoin, avec une chute de (9 a12 %) de la résistance a l'âge de 28 en fonction de % d'ajout des FR , Cette chute de résistance peut être due à la porosité en plus apportée par le pourcentage élevé en fibre rectilignes.

On peut dire que l'augmentation du pourcentage en fibres plastiques rectilignes influe négativement sur la résistance à la compression de notre mortier.

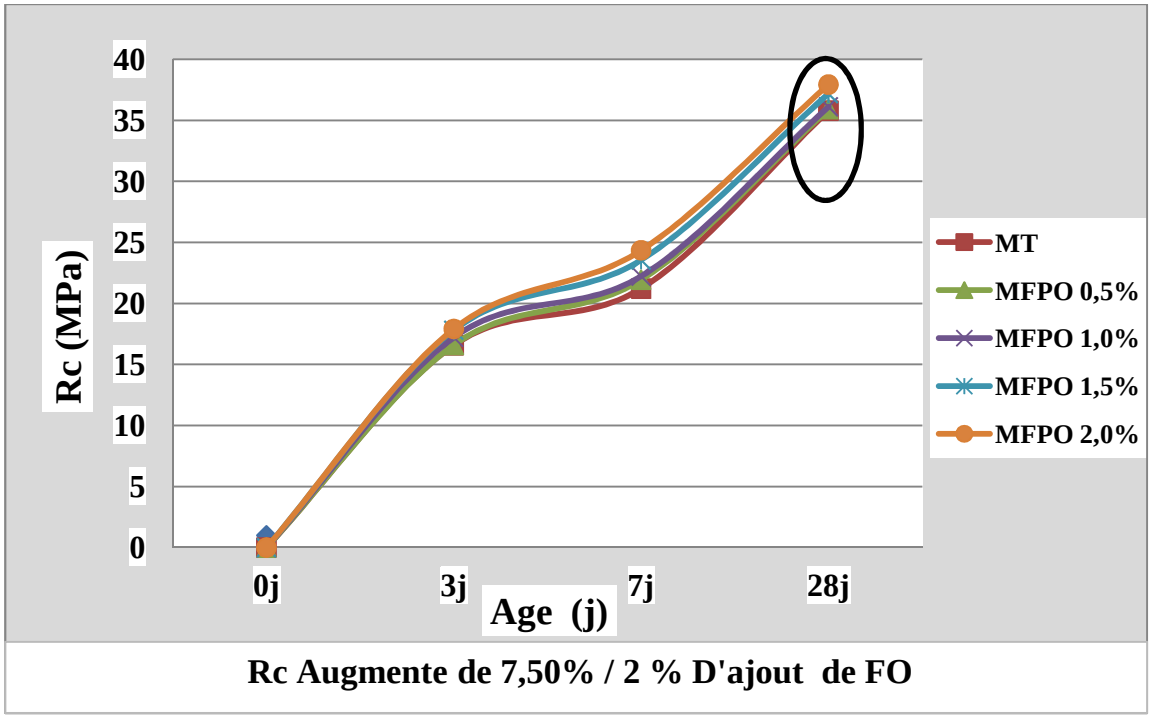


Figure III.7 : Variation de la Résistance à la compression des mortiers Type MFPO

D'après la figures **III.7** ci-dessus, on remarque que le mortier a base de fibres plastiques ondulée suit la même cinétique de résistance que celle de mortier témoin et que le mortier gagne de résistance avec l'augmentation du pourcentage de fibres plastiques ondulée, Le gain en résistance est estimé de 7.50 % pour un pourcentage d'ajout de FPO égale à 2.0% a l'âge de 28 jour ,Autrement on observe que le MFPO donne une résistance a la compression mieux que l'autre type.

On peut dire que la forme (rectiligne ou ondulée) influe d'une façon directe et remarquable sur la variation de la résistance à la compression.

b. Résistance à la traction par flexion

La mesure de la résistance à la traction par flexion est importante surtout pour identifier l'adhérence ciment / grains. Les résultats sont présentés dans les **Tableau III.5** et les **Figures III.8-III.9-III.10** l'analyse des résultats est faite de la même façon que celle de la résistance à la compression.

Tableau III.5 : Variation de la Resistance a la Traction par flexion des mortiers réalisées (3j,7j,28j)

	Type Mortier	**R_t moyenne (MPA)**			
	Age (j)	**0j**	**3j**	**7j**	**28j**
	MT	0	2,52	2,75	3,49
MPP	**MPP 5%**	0	2,32	2,62	2,80
	MPP10%	0	2,12	2,28	2,36
	MPP15%	0	1,98	2,04	1,98
	MPP20%	0	1,92	1,90	1,82
MFPR	**MFPR 0,5%**	0	2,54	2,82	3,56
	MFPR 1,0%	0	2,65	2,96	4,02
	MFPR 1,5%	0	2,59	2,81	3,67
	MPFR 2,0%	0	2,55	2,72	3,38
MFPO	**MFPO 0,5%**	0	2,72	3,12	4,18
	MFPO 1,0%	0	2,73	3,28	4,65
	MFPO 1,5%	0	2,64	2,95	3,92
	MPFO 2,0%	0	2,58	2,86	3,68

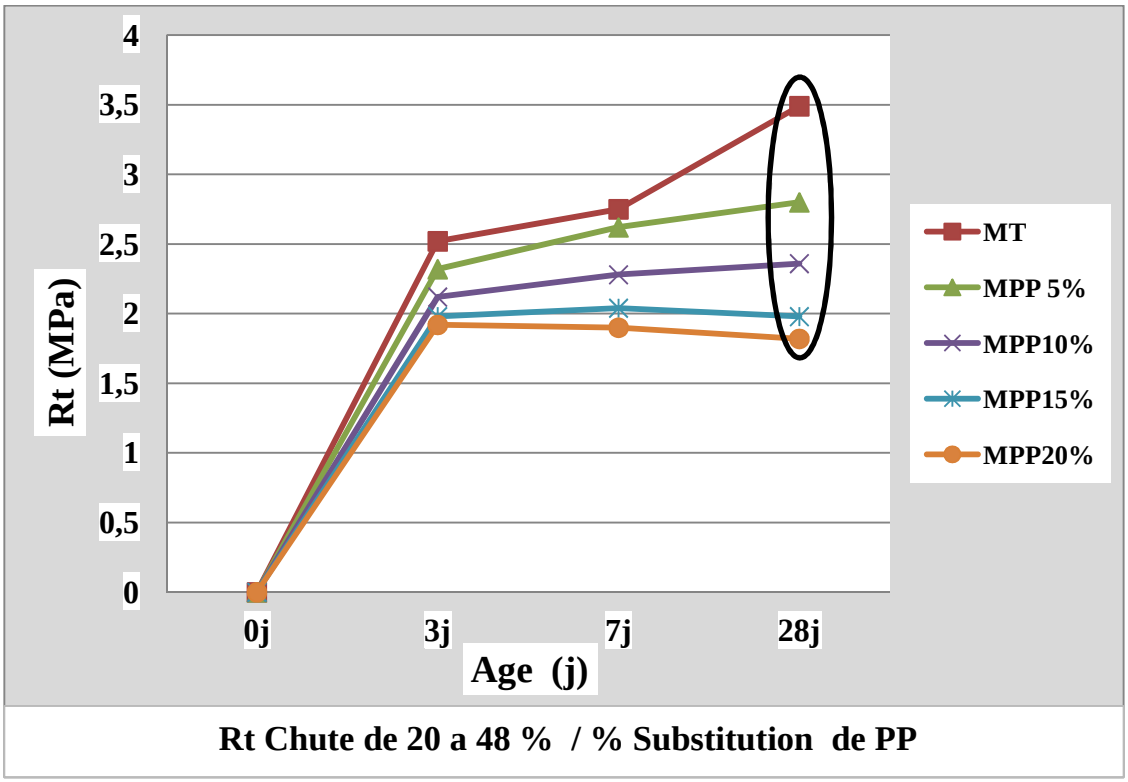


Figure III.8: Variation de la Résistance à la traction par flexion des mortiers type MPP

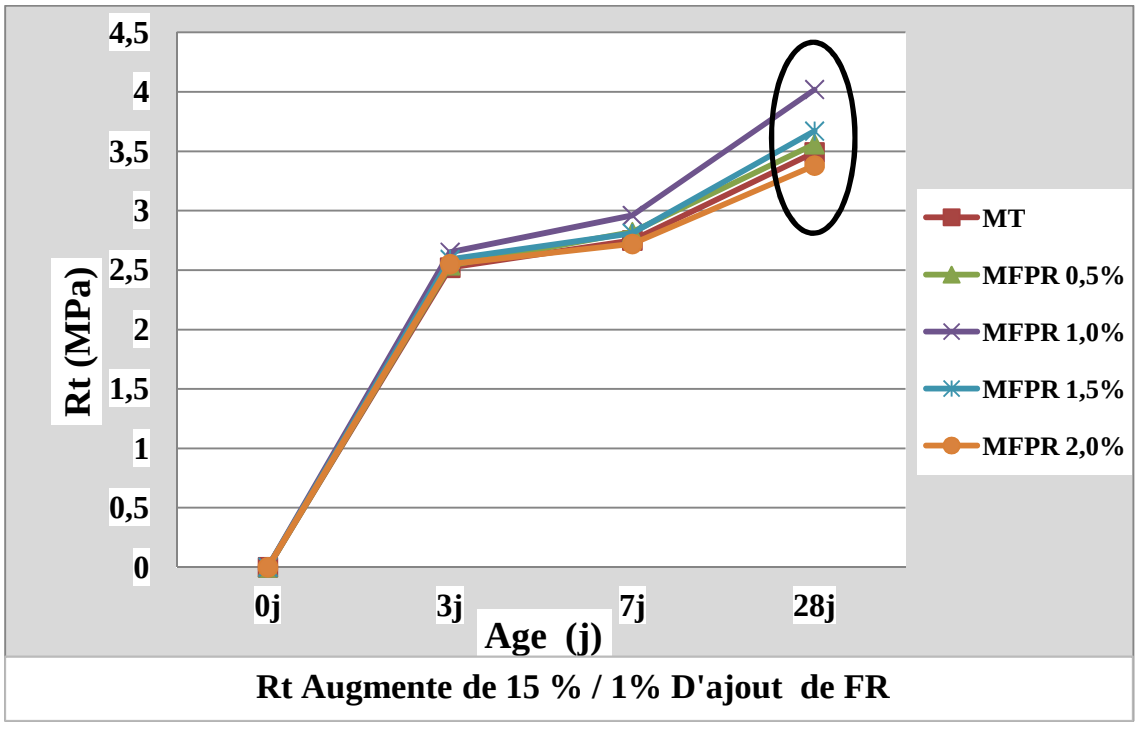


Figure III.9 : Variation de la résistance à la traction par flexion des mortiers de type MFPR

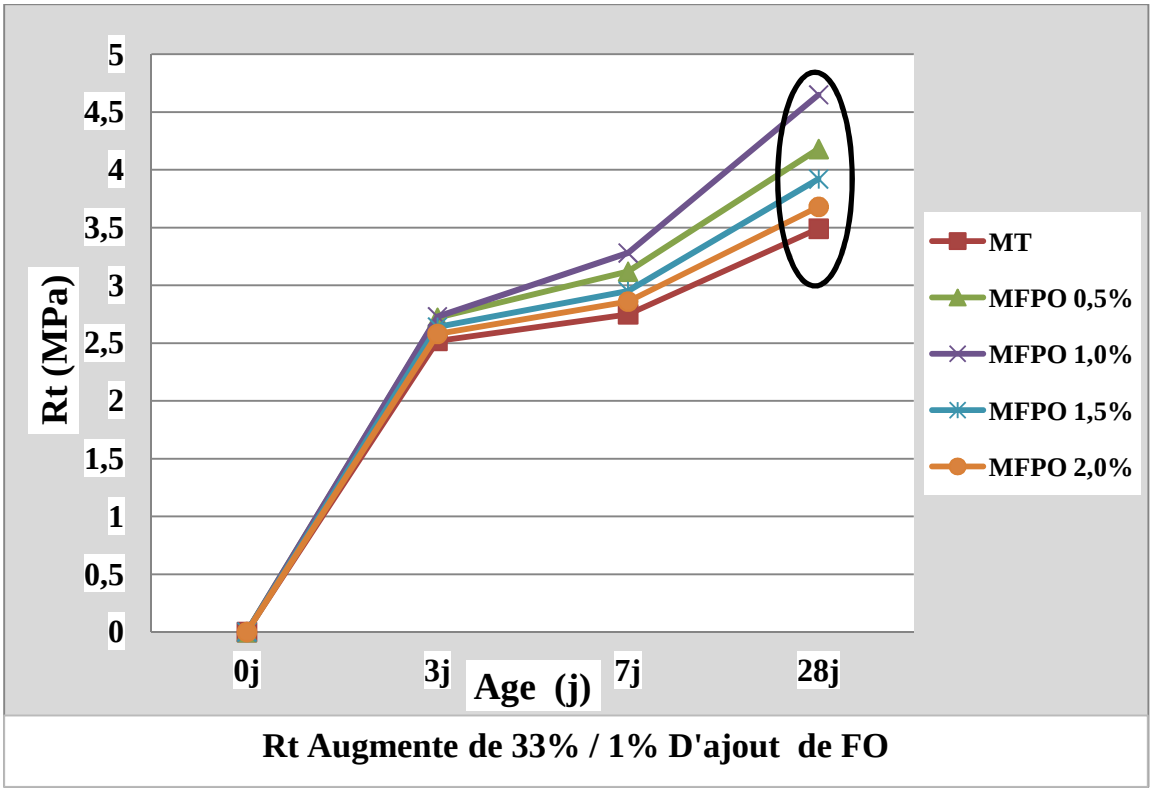


Figure III.10 : Variation de la résistance à la traction par flexion des mortiers de type MFPO

Concernant la résistance a la traction, comme il été attendu, le renfort du mortier par les fibres plastique est bénéfique et conduisent a une amélioration de la résistance jusqu'à **(15 et 33 %)** respectivement pour les fibres (ondulées ou rectilignes)

D'une façon générale, Les fibres plastiques ondulées plus efficaces que l'autre type.

Par contre la poudre plastique agit négativement et contribue a la chute de la résistance jusqu'au 48 %pour un taux de substitution de sable de 20%

Donc l'utilisation de plastique sous forme de poudre dans le mortier n'est pas efficace si on veut augmenter la résistance à la traction par flexion des mortiers.

Encore une fois, on confirme ici l'importance de la forme des fibres (rectilignes ou ondulée) sur la variation de la résistance à la traction.

- ✓ **Remarque :** pour les résistances mécanique (a la compression et a la traction) on remarque que l'âge suit la même cinétique que celle du mortier de référence ceci confirme les résultats de plusieurs autres recherches investis depuis plusieurs années dans le domaine **[34.35]** .

c. Absorption d'eau par capillarité

Les résultats de l'essai d'absorption d'eau par capillarité des différents mortiers réalisés sont résumés dans le **Tableau III.6** et les **Figures III.11 à III.13.**

Tableau III.6 : Absorption d'eau des mortiers réalisés a (28j)

	Type Mortier	**Eau Absorbé (kg/m2) à 28j**						
	Age (heure)	**0**	**0,5**	**0,7**	**1**	**1,4**	**2**	**5**
	MT	0	0,66	0,95	1,65	2,06	3,25	4,86
MPP	**MPP 5%**	0	0,64	0,96	1,45	1,95	3,18	4,56
	MPP 10%	0	0,58	0,92	1,35	1,68	3,10	4,22
	MPP 15%	0	0,62	0,98	1,38	1,65	2,91	4,23
	MPP 20%	0	0,58	0,93	1,35	1,65	2,76	3,58
MFPR	**MFPR 0.5%**	0	0,70	1,08	1,66	2,00	3,38	4,97
	MFPR 1.0%	0	0,72	1,16	1,78	2,20	3,52	5,16
	MFPR 1.5%	0	0,74	1,27	1,75	2,32	3,54	5,23
	MFPR 2.0%	0	0,82	1,38	1,80	2,31	3,66	5,62
MFPO	**MFPO 5%**	0	0,67	0,90	1,55	1,89	3,22	4,66
	MFPO 10%	0	0,58	0,89	1,54	1,72	3,12	4,42
	MFPO 15%	0	0,58	0,99	1,44	1,68	3,02	4,32
	MFPO 20%	0	0,63	0,93	1,42	1,65	2,86	3,89

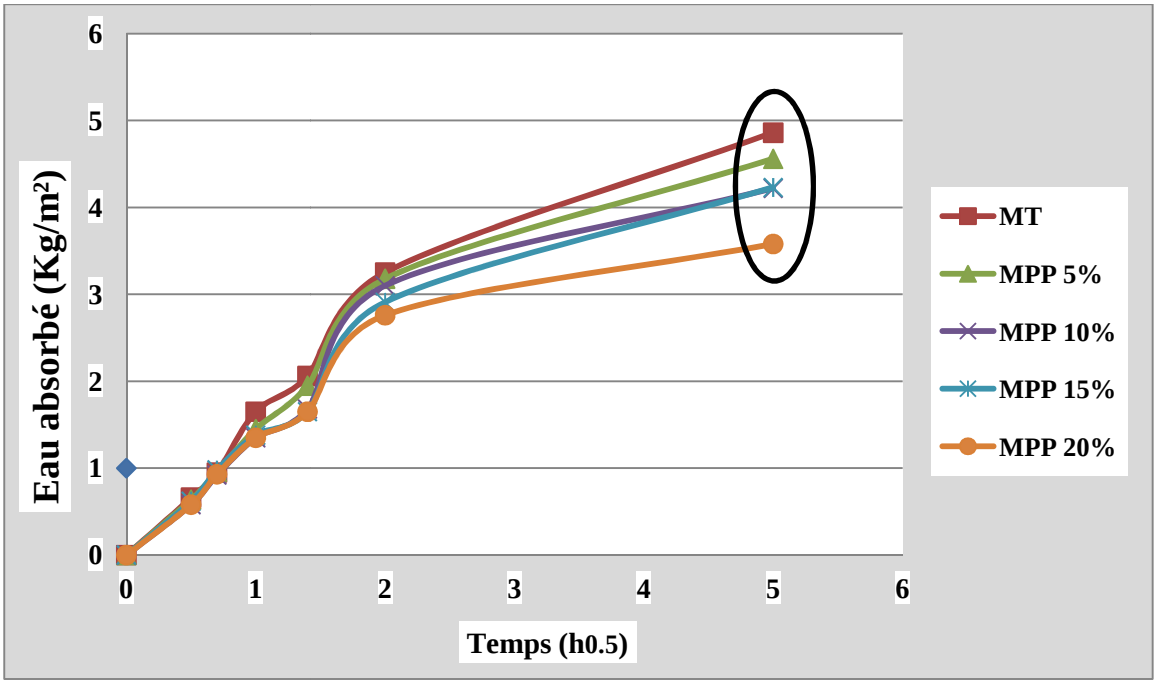


Figure III.11 : Absorption d'eau des mortiers de type MPP (28j)

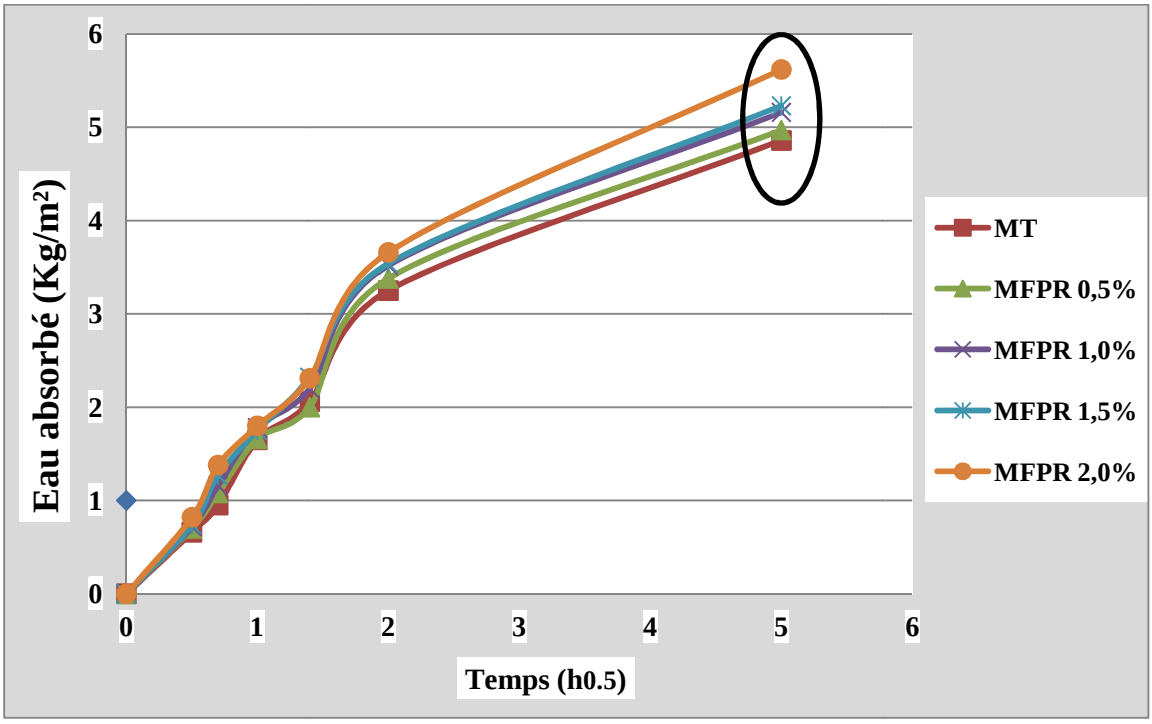


Figure III.12 : Absorption d'eau des mortiers de type MFPR (28j)

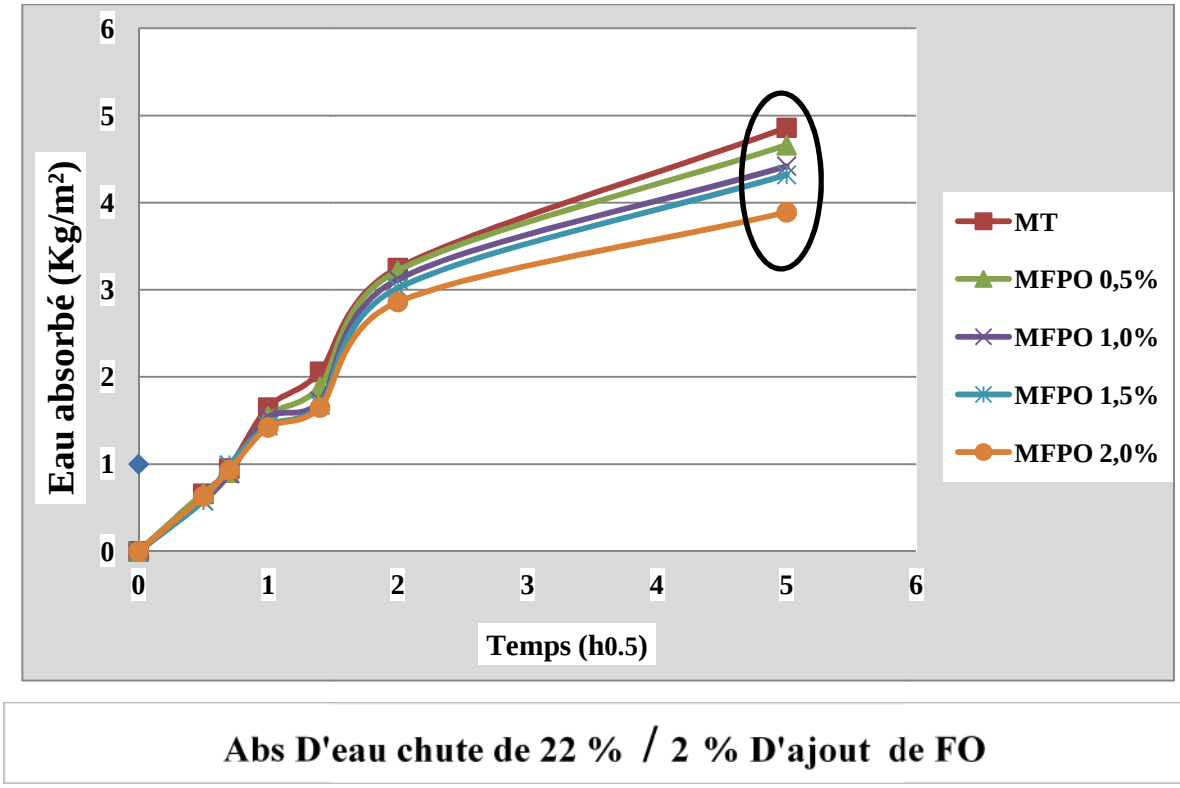


Figure III.13 : Absorption d'eau des mortiers de type MFPO (28j)

Les résultats montrés sur les figures (**III.11 a III.13**) et le tableau (**III.6**) illustrent la cinétiques d'absorption d'eau des différents mortiers confectionnés ,d'après l'allure des courbes , il est nettement visible que le processus d'absorption d'eau par les mortiers de déchets plastiques est similaire a celui du mortier témoin (naturel) ,en référence aux travaux de Balayssac ,Zahariva et Hall **[38]** ,la première partie des courbes situé entre 0 et 15 mn ,traduit le remplissage des gros pores et caractérise l'absorptivité initiale , par contre la deuxième partie qui reste d'allure plus linaire , définie comme la pente de droite prise entre 15 et 90 mn , représente le remplissage des capillaires plus fins.

Les figures montrent que la poudre et les fibres plastiques de forme ondulées contribuent a la diminution de l'absorption d'eau des mortiers, ces résultat est conforme au résultat trouvées en air occlus.

Ceci est totalement le contraire lorsqu'on ajoute dans le mortier des fibres plastiques de forme rectilignes : une augmentation de l'absorption d'eau , Ce résultat semble être intéressant et délicat en même temps pour les utilisateurs en pratique dans la mesure ou il est conseillé de ne pas utilisé les fibres plastiques rectilignes dans le mortier destiné a l'utilisation dans la réparation des béton a risque d'absorption d'eau plus élevé.

d. L'essai de retrait

Les résultats (**ε)** des essais de retrait en air libre sont illustrés dans les suivantes **(Figures III.14**, **III.15** et **III.16**) et le **(Tableau III.7)** :

Tableau III.7 : Retrait des mortiers réalisés

	Type Mortier Age (j)	Retrait µm/m					
		0	**1**	**3**	**7**	**14**	**28**
	MT	0	110	280	420	640	769
MPP	**MPP 5%**	0	135	335	512	626	779
	MPP 10%	0	122	365	462	669	809
	MPP 15%	0	138	322	455	692	864
	MPP 20%	0	175	376	463	702	893
MFPR	**MFPR 0,5%**	0	132	283	433	665	732
	MFPR 1,0%	0	133	285	463	685	856
	MFPR 1,5%	0	142	279	486	715	903
	MFPR 2,0%	0	166	368	498	761	983
MFPO	**MFPO 0,5%**	0	125	262	433	666	723
	MFPO 1,0%	0	118	285	463	675	833
	MFPO 1,5%	0	132	269	475	695	889
	MFPO 2,0%	0	166	368	461	732	923

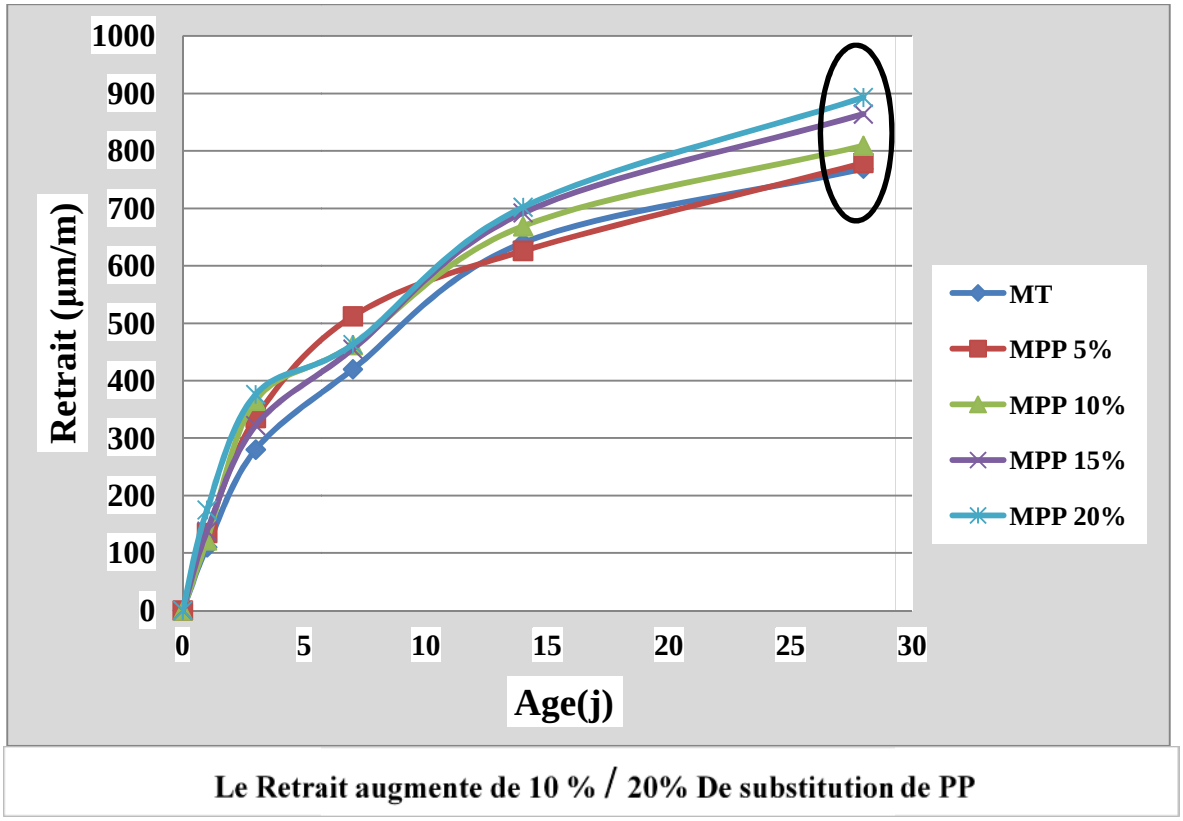


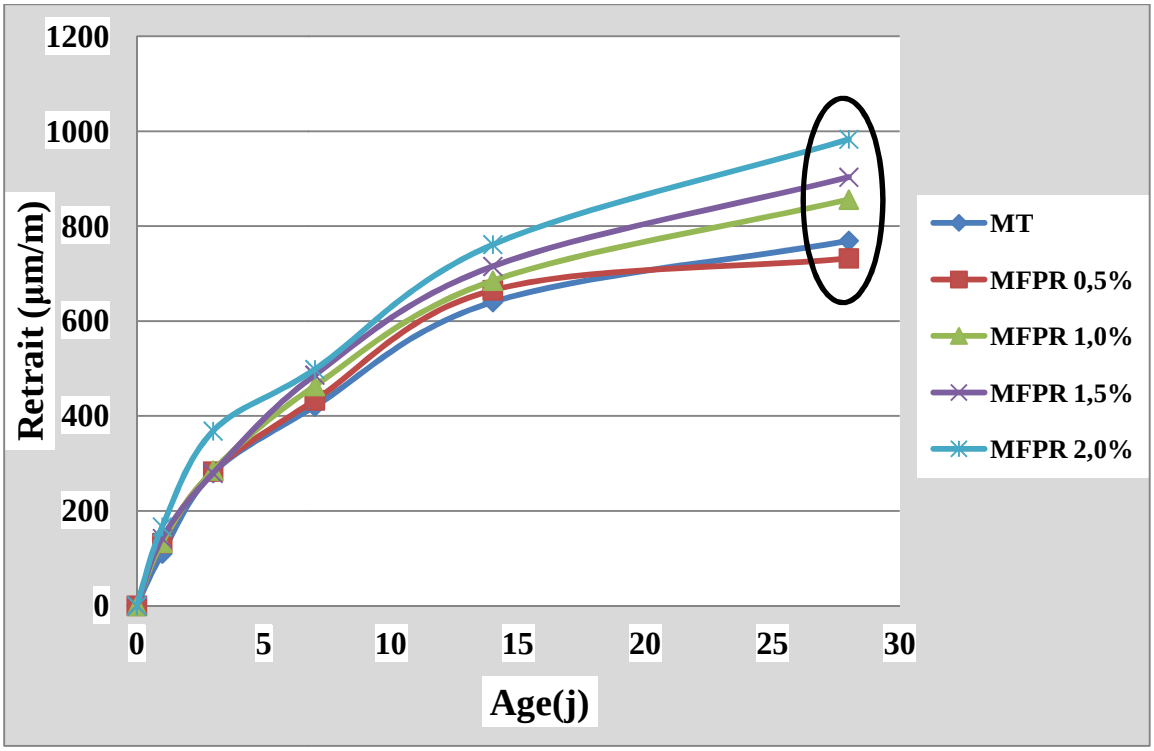
Figure III.14 : Retrait des mortiers type MPP

D'après la figure ci-dessus **III .14**, on remarque que les valeurs de retrait augmentent en fonction du temps. Les courbes de la Figure permettent de mettre en lumière l'influence du dosage en P.P. sur le retrait total du Mortier incorporant des P.P.

En générale l'augmentation du retrait total est d'autant plus importante que le taux de substitution en Poudre plastique est élevé ; atteint 10% pour une substitution de 20 % de PP.

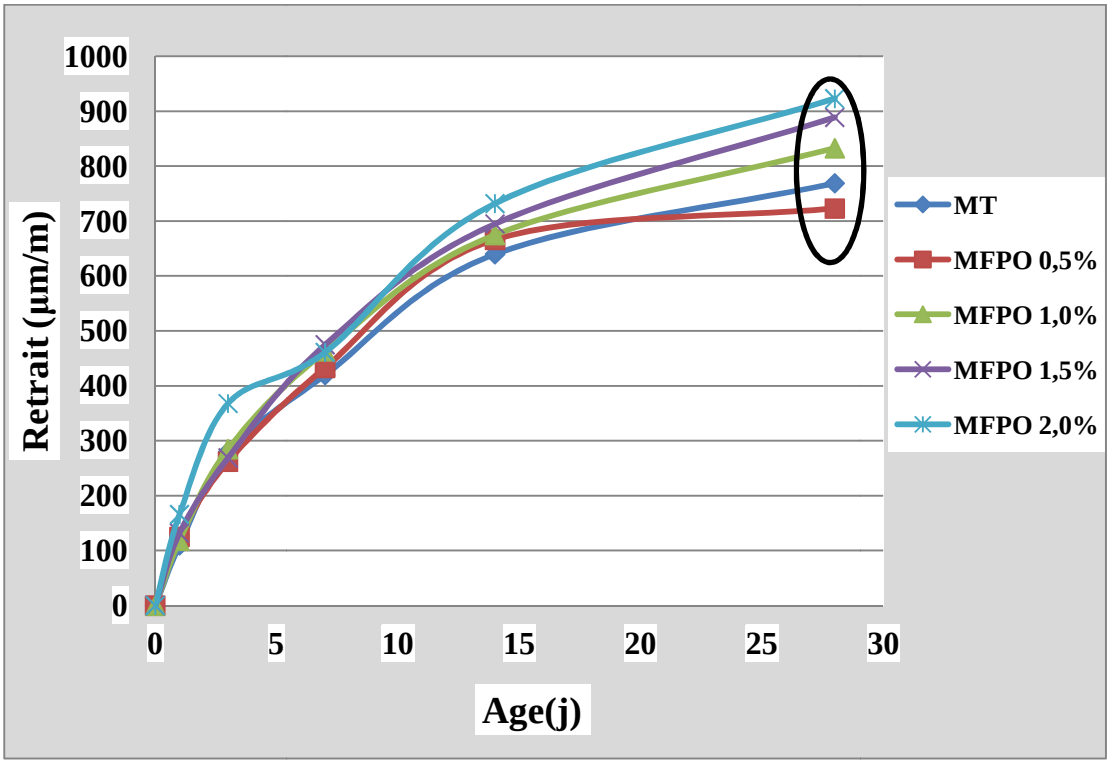
Si l'on ne peut pas remettre en cause l'incidence de la perte d'eau sur le retrait on est aussi Obligé de constater que la présence de la poudre en plastique. Contribue à le gouverner. Cette influence peut être expliquée et démontré la corrélation entre le retrait de et le module d'élasticité du mortier, qui dépend lui-même de la rigidité du granulat employé. En effet, au cours du retrait, la matrice cimentaire étant mise en traction, les granulats confectionnés s'opposent à la déformation de retrait en fonction de leur module de déformation en compression. La faible rigidité de la poudre en plastique. Est certainement un facteur important qui influe sur les variations dimensionnelles de retrait du MPP.

Donc contrairement au résultats précédentes (Air occlus et absorption d'eau) les résultats obtenus ici montrent que les déchets de poudre en plastique causent un retrait très important, La figure **III.14** montre que tout les pourcentages de Mortier ont des retrait très important par rapport au mortier témoin, et on remarque que plus le pourcentage augmente plus le retrait augmente donc on peut souligné ici que la méthodes d'incorporation des poudre en plastique **substitution ou ajout**) a une influence sur les résultat des retraits



Le retrait augmente de 22 % /2 % D'ajout de FR

Figure III.15 : Retrait des mortiers type MFPR



Le retrait augmente de 14 % / 20% D'ajout de FO

Figure III.16 : Retrait des mortiers type MFPO.

D'après les deux figures ci-dessus **(III.15, III.16)** On remarque en général que le retrait en air libre du mortier à base de fibre plastique (MFP) est nettement plus important que celui du mortier témoin (MT).

A part quelques particularités, on remarque aussi que le retrait augment en fonction de l'augmentation des pourcentages en fibres plastiques **incorporés par ajout** (rectilignes ou ondulée). On remarque aussi que la forme des fibres influe sur la variation du retrait, la forme ondulée influe mieux que la forme rectiligne. Ceci semble logique car la forme rectiligne créent plus de vide à l'intérieur du mortier a celle du forme ondulée ce qui favorise la naissance des poches d'eau supplémentaires qui induisent plus de retrait par évaporation d'eau par rapport au MFPO.

III.4 Conclusion

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

- **<u>A cause de la forme :</u>**

PP ⟶ augmente la fluidité du mortier jusqu'à (85%)

FP (R & O) ⟶ diminue la fluidité du mortier jusqu'à (13 %)

- **<u>A cause de la légèreté des déchets plastiques :</u>**

PP ⟶ diminue la densité du mortier jusqu'à (23%)

FP (R & O) ⟶ diminue la densité du mortier jusqu'à (12 %)

- PP ⟶ diminue **Rc** de (9 à 30) % et **Rt** de (20-48%)
- FPR ⟶ diminuent **Rc** de (9 a 12 %) et augmentent **Rt** de (15 %)
- FPO ⟶ augmentent **Rc** de (7.50 %) et augmentent **Rt** de (33 %)

- Diminution de l'Abs d'eau de mortier de 26 % pour un dosage de 20 % de substitution de PP, PP absorbe moins d'eau ⟶ Chute de la capacité d'abs d'eau de Mortier.
- Abs d'eau du Mortier ⟶ augmente de 12 % pour un dosage de 2 % d'ajout de FR

⟶ Chute de 22 % pour un dosage de 2 % d'ajout de FO

Dans ce cas on peut dire que la forme des fibres influe sur la squelette granulaire du mortier (les FO améliorent La Compacité pas contre les FR diminuent la compacité)

- Le retrait du Mortier augmente

⟶ De 10 % pour un dosage de 20 % de PP

⟶ De 14 % pour un dosage de 2 % de FO

⟶ De 22 % pour un dosage de 2 % de FR

Le retrait augmente Quelque soit la nature et la forme du déchet plastique

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

CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET RECOMMANDATIONS



Conclusion générale

Malgré une domination indiscutable du marché de la construction moderne, les matériaux à base cimentaire ne sont pas parfaits. Leur principal handicap est une faible résistance en traction combinée à une faible capacité de déformation qui les rend fragiles. Il en résulte en particulier une forte propension à la fissuration due aux déformations imposées à l'origine de désordres particulièrement sévères et souvent rédhibitoires pour les éléments à grandes surfaces comme le dallage ou chaussée en béton. Améliorer la capacité de déformation du composite cimentaire est donc un enjeu majeur pour améliorer la durabilité des applications.

C'est l'objet de ce projet. Le moyen mis en œuvre pour atteindre cet objectif est l'adjonction des déchets plastiques déformables : nous avons utilisé des poudres en plastique et des fibres en plastique ondulée et rectilignes issus de broyage des bouteilles d'eau minérale.

Les fibres plastiques (F.P) dont la dimension est de 4 mm de longueur ainsi la poudre sont utilisés en remplacement volumique partiel du sable, La valorisation de ce sous produit industriel confère ainsi à ce travail un intérêt environnemental.

L'objectif de ce travail est de déterminer l'influence des déchets plastiques sur les performances du mortier à l'état frais et durci. Sur la base des résultats obtenues on conclut que :

1-Une bonne amélioration de la maniabilité avec l'augmentation des pourcentages de la poudre en plastique par contre l'incorporation des fibres plastique dans le mortier présent une mauvaise maniabilité par rapport au mortier témoin.

2-L'utilisation de la poudre et des fibres plastiques ondulées permet de réduire le volume des pores dans le mortier ce qui donne un mortier bien compacté et moins poreux d'autre part les fibres plastique rectiligne influe négativement sur la compacité du mortier.

3- La résistance à la compression chute en fonction du pourcentage de substitution en déchets pour la poudre en plastique et les fibres plastiques rectilignes par contre elle augmente avec l'augmentation des pourcentages des fibres plastique ondulée.

4- La résistance à la traction diminue avec l'augmentation du dosage de substitution en poudre plastique, Nous avons expliqué cette chute de résistance par une rigidité plus faible des poudres plastiques, conjuguée à leur faible adhérence avec la matrice cimentaire ,par contre cette résistance améliorer avec l'augmentation des pourcentages des deux types de fibres plastiques qui donne une valeur maximale pour un dosage de **1%** de fibres.

5- La cinétique d'absorption d'eau par capillarité est la même quelque soit le type de déchets, elle moindre lorsqu'on utilise le type de déchets poudre plastique et fibre plastique ondulée.

6- En ce qui concerne les variations dimensionnelles de retrait, nous avons constaté que la présence de déchets plastique est un facteur qui amplifie les déformations de retrait. Vis-à-vis du risque de fissuration de retrait, cet excédent de variation dimensionnelle de retrait est en opposition du bénéfice obtenu de la capacité de déformation avant localisation de la macro fissuration, donc les déchets plastiques influent négativement par augmentation du retrait de mortier.

Recommandations

Les observations et les analyses qu'on a effectuées dans le cadre de cette recherche pourraient mener à des développements futurs dans le domaine du recyclage des déchets plastiques dans le mortier mais ils restent encore à aborder :

1-En perspective, nous recommandons d'étendre les investigations sur les bétons et les mortiers et de valider les conditions permettant d'améliorer la déformabilité avec des granulats de plus grande dimension. Dans tous les cas, il est nécessaire de compléter ce travail par des investigations sur les valeurs optimales et sur les valeurs « seuil » du dosage en poudre et fibres plastique utilisées. Par ailleurs, grâce aux propriétés du plastique, la loi des mélanges est une invitation à prêter d'autres vertus au composite incorporant des différentes compositions (plastique + déchet métallique par exemple) et des différentes formes (grains+fibre ; fibres + poudres ……etc.)

2-La suite des recherches sur le mortier de déchets plastiques avec des pourcentages différents de substitution en déchets plastiques, et différentes types de mortier.

3-Plus des essais sur les mortiers de déchets pour améliorer les propriétés, les caractéristiques et essentiellement minimisation des points de faibles du mortier et bétons.

4-L'influence des adjuvants sur la composition (mortier + déchets plastiques)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] :Y.CHERAIT « Optimisation de la composition des bétons renforcés de fibres en fonte amorphe » séminaire National de Génie - civil **M'sila 16, 17 Novembre 1997**.

[2] :Y. Ghernouti[1], B. Rabehi[2]. « Récupération Et Valorisation De Déchets des sacs en plastiques dans le domaine de construction », SBEIDCO – 1st International Conférence on Sustainable Built Environnement Infrastructures in developing Countries ENSET **Oran (Algéria) - Octobre 12-14, 2009.**

[3] CIM béton, Fiche technique édité par le centre d'information sur le ciment et ses applications : « Les mortiers », **Tome 3**, **Paris, 12/2008**.

[4] A.H.Paul Maurenbrecher, **et all,** « Les mortiers de rejointoiement pour les bâtiments de maçonnerie ancienne », Notice technique édité par l'Institut de recherche en construction du CNRC, **Canada, 04/2008.**

[5]Groupe des ingénieurs « Mortiers et bétons hydraulique, matériaux deconstruction », Edition , Eyrolles ,**Paris, 1997.**

[6] BRAHMA.A «Le béton», Office des publications universitaires, **Alger, 1996.**

[7] Bessa A, Philippe J. B. & Gallias J. L,2004, « Évaluation de la contribution liante des additions minérales à la porosité, à la résistance en compression et à la durabilité des mortiers », 22iemes Rencontres universitaires de Génie Civil, Université de Cergy-Pontoise, France, 8p.

[8] J.BARON, J.P.OLLIVIER : « LES BETONS », bases et données pour leur formulation, édition Eyrolles,1999.

[9] Dr. CHERAIT Yacine, Mr NAFA Zahredine : « Eléments de matériaux de construction et essais », Direction de la publication universitaire **de Guelma, 2007.**

[10] ADAM M.NEVILLE, **Michel Pigeon :** « Propriétés des bétons », traduit par CRIB Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton SHERBOOKE Laval- **éditions Eyrolles 2000-paris.**

[11] GEORGES DREUX, JEAN FESTA « Nouveau guide du béton et ses Constituants, 8éme édition, Eyrolles ,1998.

[12] FD ENV 197-2, Normes AFNOR, Ciment – partie 2 : « évaluation de la conformité (indice de classement : P15-101) », **mars 1996**

[13] Riçal K, Nabil R. & Muzahim A,2006, « Influence des ciments a base d'ajouts minéraux locaux sur les propriétés mécaniques des mortiers et des bétons », 22iemes rencontres AUGC, France, p 24.

[14] DUPAIN.R et all, « Granulats, sols, ciment et béton : Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire » ,2éme édition
CASTEILLA , Paris,2000.

[15] XP P18-540, Normes AFNOR : « Granulats-Définitions ConformitéSpécifications (indice de classement P18-540) », **Octobre 1997.**

[16]NF P18-561, Norme françaises : Granulats Mesure du coefficient d´aplatissement (indice de classement P18-561) », **Septembre 1990.**

[17]NF P18-301, Norme françaises : Granulats Mesure du coefficient volumétrique (indice de classement P18-3011), **mars 1990.**

[18] NA 451, Normes Algérienne : « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Détermination de la teneur en eau par séchage en étuve ventilée », **1989**.

[19] XP P18-595, Norme françaises : Granulats valeur de bleu méthylène (indice de classement P18-3931), **décembre 1990.**

[20] XP P18-598, Norme françaises : Granulats équivalent de sable (indice de classement P18-3938), **Octobre 1991.**

[21] NA 5017, Normes Algérienne : «Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats -Détermination de la matière organiques dans les sables par l'essai colorimétrique », **1990.**

[22] NA 2608, Normes Algérienne : «Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Détermination du coefficient de friabilité des sables (FS),», **1990.**

[23] NA 461, Normes Algérienne : «Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats -Détermination de soufre totale (s) des sables (S) », **1991.**

[24] NA 462, Normes Algérienne : « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Détermination de La teneur en chlorures solubles », **1989**.

[25] (C.N.E.R.I.B) Centre national d'étude et de recherche intégrés du bâtiment « Les sables de concassage », **Alger ,2005.**

[26] CIM béton, Fiche technique édité par le centre d'information sur le ciment et ses applications : « L'eau de gâchage, les adjuvants et les produits de cure », Tome 3, Paris, **12/2008.**

[27] XP P18-558, Norme françaises : « Granulats –Détermination de la masse volumique absolue des fines (indice de classement P18-558) », **Décembre 1990.**

[28] XP P18-559, Norme françaises : « Granulats –Détermination du pourcentage des impuretés dans les graviers (indice de classement P18-559) », **Septembre 1990.**

[29] XP P18-597, Norme françaises : « Granulats – Détermination de la propreté des sables : équivalent de sable à 10 % de fines (indice de classement P18-597) », **Décembre 1990.**

[30] NA 2607, Normes Algérienne : « Granulats - Analyse granulométrique par tamisage », **1990.**

[31] XP P18-541, Norme françaises : « Granulats – Définition, conformités spécification des sables (indice de classement P18-541) », **Décembre 1990.**

[32] XP P18-573, Norme françaises : « Granulats – Définition, Essais los Angeles (indice de classement P18-573) », **Décembre 1990.**

[33] NEVILLE A. M. « Propriétés des bétons. » Paris- Eyrolles. 205 pages.

[34] F.Debieb ,S.Keni The Use Of The fine and coarse crushed bricks as aggregates in concrete Constr Build Mater 2008;22(5): 886-93.

[35] F.Debieb, L.Courard ,S.Keni, R.De geimbre . Mechanical anddurability properties of concrete using contaminated recycled aggregates.Cem Comp 2010 ;32 (8) 421-426

[36] PIMIENTA. P & REMOND. ‘‘Bétons de déchets : prévenir les risques’’, CSTB magazine, n° 109, novembre 1997, pp. 28-30

[37] Courard.L ‘‘ valorisation des déchets et sous produits dans le génie civil’’, note de cour (université de Liège, Facultés des science appliquées, Service des matériaux de construction, 1998) 195 p.

[38] J.P BALAYSSAC, Relation entre performances mécaniques, microstructures et durabilité des béton .Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse ,1992.

ZAHARIEVA. R, WIREQUIN.E &BUYLE-BODIN Durability of concete made of recycled aggregates (CRA) .Congress Proceeding R’99, Vol 3, Geneva Switzerland,1999,pp.237-242

C.HALL .Water sorptivity of mortars and concrete”, maguazine of concrete research41 num, juin 1989,pp 51-61.

[39] http://bouchons14.free.fr/Pages/recyclage.htm [archive]

[40] R. Deterre et G. Froyer, Introduction aux matériaux polymères, Tec & Doc Lavoisier, Paris, 1997, **ISBN 2-7430-0171-2**

M. Fontanille et Y. Gnanou, Chimie et physico-chimie des polymères, 2e éd, Dunod, 2010, 560 p., ISBN 978-2-10-054761-6

[41] Deterre R, Froyer G. : Introduction aux matériaux et polymères. Technique et documentations, 1997, Paris

[42] Ruyter I.E. : Monomer systems and polymerization, dans : Vanherle G., Smith D. C,ed. Posterior Composite Resin Dental. Netherland : Peter Szulc Publishing Co.,1985 Page109- 135.

[43] Ogolnik R, Picard B : Les composites. Encycl. Med. Chir. (Paris-France), Odontologie. 23065 E10 ,9-1988, 12p.

[44] J.-P. Trotignon A .Dobraszynski M. Piperaud: Matières plastiques –Structure -propriétés Mise en ouvres , Normalisation. **AFNOR.**

[45] Anderson GC, Schulte JK, Arnold TG. Dimensionalstability of infection and conventional processing of denture base acrylic resin. Dental Technology 1988; 60 : 394-398.

[46] Auzias F,Bonnel A., Pot D. Les polymères Chimie et physico-chimie des polymères, 2e éd, Dunod, 2010, 160 p

[47] R.J. Crawford, Plastics Engineering, 3e éd., Butterworth-Heinemann, 1998, ISBN 0-7506-3764-1

[48] Prof. Dr R. Valcke, LUC roland.valcke@luc.ac.be''Le recyclage des plastiques''

[49] P. Gautron. « Plastiques : valorisation et recyclage des déchets », Techniques de l'Ingénieur, A3830, (1993).

[50] M. Maes. « Déchets industriels : mode d'emploi », Technique & Documentation Lavoisier, Paris (1986).

[51] M. Reyne « Les plastiques : polymères, transformations et applications » Hermes, Paris(1991).

[52] H. Bockhorn, J.Hentschel, A. Hornung & U. Hornung.

« Environmental engineering ; stepwise pyrolysis of plastic waste », Chemical Engineering science, 54, pp 3043-3051 (1999).

[53]F. Khabbaz, A.C. Albertsson & S. Karlsson.« Chemical and morphological changes of environmentally degradable polyethylen films exposed to thermo-oxydation », polymer degradation and stability, 63, pp 127-138 (1999).

[54] A.C . Abertsson & S.karlsson. « Degradable polymers for the future », Acta polymer,46, pp 114-123 (1995).

[55] Ir. F. Monfort-Windels. « Recyclage des produits manufacturés : le recyclage mécanique des polymères », Européen journal of mechanical and environmental engineering, vol 42, n01, pp32-40 (1997).

[56]- Renseignements fournis par la direction technique de l'unité TP1/R de Rouiba.

[57] [NF P 18-353], Normes AFNOR : « Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis - Mesure du pourcentage d'air occlus dans un béton frais à l'aéromètre à béton », 2007.

[58] [NF P 18- 452], Normes AFNOR : « Béton- mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers aux maniabilimètre », Mai 1988.

[59] [NF P 15-437], Normes AFNOR : « Liants hydrauliques –Techniques des Essais – Caractérisation des ciments par mesure de la fluidité sous vibration des Mortiers », Juin 1987.

[60] 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.

[61] [NF P 18-404], Normes AFNOR : « Essais pour béton durci - Partie 1 : Forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules », Décembre 1989.

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

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

[64] [EN 197-1], Normes Européenne : « Ciments courants »,1994.

[65] [NF P 15-301], « Liants hydrauliques – définitions, classification et Spécification des ciments », Juin 1994.

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

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

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

[69] [NF P 15- 471], Normes AFNOR : « Méthodes d'essais des ciments -

Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques », Aout 1995.

[70] Fiche technique : « Sable normalisé », 2009.

[71] CEN EN 196-1, Normes AFNOR : « Méthodes d'essais des ciments -Partie 1 : détermination des résistances mécaniques (indice de classement P15-471) », Aout 1995.

[72] OULD ROUIS Kheir-Eddine, OUDJOUADJ Zakaria, Thèse D'ingéniorat : « Influence de la combinaison du sable de dunes avec le sable de Concassage sur les performances du mortier », Université de Médéa, Juin 2010.

[73] NF EN 933-1, 1997,<< Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats, Partie 1 :Détermination de la granularité ,Analyse granulométriques par tamisage >>,AFNOR.

[74]NF EN 1097-6,2001, <<Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats, Partie 6 :Détermination de la masse volumique réelle du coefficient d'absorption d'eau >>,AFNOR

[75] NF EN 1097-3 ,1998, <<Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats, Partie 3 :Détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter granulaire >>,AFNOR

[76] NF EN 933-8 ,1999, <<Essais pour déterminer les caractéristiques géométrique des granulats, Partie 8 :Evaluation des fines , Equivalent de sable >>,AFNOR.

[77] [NF EN 1008], 2003**,** <<Eau de gâchage pour béton :Spécificationd'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude a l'emploi , y compris les eaux des processus de l'industrie du béton >>,AFNOR.

[78] ADAM M.NEVILLE « Propriétés des bétons », Edition Eyrolles, Paris, 2002.

[80] NF EN 12350-6,1999, << Essais pour béton frais .partie 6 : masse volumique >>AFNOR

[81] [NF P 18-412], 1981, << Essais pour béton frais .partie 6 :masse volumique >>

[82] NASR-EDDINE KEDJOUR « Le laboratoire de béton » : office desPublications universitaires, Alger, 2003.

ANNEXES



Essais d’équivalent de sable



Tamiseuse électrique

LAFARGE
لافارج

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM I 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.

LAFARGE

MATINE

Ciment pour bétons exigeants

CEM II/A-L 32,5 N

FICHE TECHNIQUE

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 – 68.00
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

Fiche technique du ciment



Ciment

MATINE

Ciment pour béton exigeant

- Classe : 42,5 N
- Conforme aux normes algériennes
- Approprié à la réalisation des ouvrages courants, routiers, ouvrages d'art, etc.

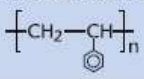
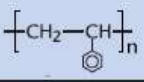
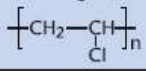
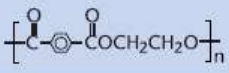


Remarque : Des dosages ou ciments autres que ceux indiqués, les résultats de nos formulations peuvent varier selon la nature des matériaux locaux et les conditions de chantier.

Tableau 1 - Les principales résines, leurs utilisations courantes et les produits à contenu recyclé

Code	Nom	Utilisations courantes	Exemples de produits à contenu recyclé
1	**Polyéthylène téréphtalate (PET)**	Bouteilles de boissons gazeuses et d'eau de source, pots de beurre d'arachide, contenants d'œufs.	Tapis, fibres de polyester, vêtements de tissu polaire (polar), feuilles de PET, bouteilles.
2	**Polyéthylène haute densité (PEhd)**	Bouteilles de savon à lessive et de shampooing, contenants de lait ou de jus, sacs d'emplettes.	Bacs de récupération, tuyaux de drainage, mobilier urbain (ex.: bancs de parc, tables de pique-nique), planches de plastique (ex.: patio).
3	**Polychlorure de vinyle (PVC)**	Cadres de fenêtres, tuyaux, stores, boyaux d'arrosage, certaines bouteilles.	Revêtements, tuyaux, cônes de déviation, tuiles de plancher.
4	**Polyéthylène basse densité (PEbd)**	Sacs d'emplettes, à ordures et à pain, pellicules d'emballage, pellicules extensibles.	Planches de plastique, sacs d'emplettes et à ordures.
5	**Polypropylène (PP)**	Contenants de yogourt et de margarine, bouchons pour bouteilles.	Bacs à fleurs, palettes de manutention, planches de plastique, caisses de lait.

Applications primaires des plastiques		Applications secondaires après recyclage mécanique
	**PEHD: polyéthylène haute densité** Applications à parois épaisses rigides telles que bouteilles, flacons, seaux, bouchons, jouets, articles ménagers, réservoirs à carburant, tuyaux d'évacuation, feuilles pour sacs à ordures ménagères, caisses à claire-voie. $\left[CH_2—CH_2\right]_n$	Sacs à usage industriel, conteneurs de déchets, flacons pour produits de nettoyage, couvercles, fûts, palettes, seaux, plaques, caisses à claire-voie, emballages et produits de remplacement du bois
	**PEBD: polyéthylène basse densité** Feuilles d'emballage, films pour l'agriculture et l'horticulture, films extensibles, jouets, revêtements, tuyaux d'irrigation, sacs pour fruits et légumes, sacs à ordures ménagères, sacs publicitaires. $\left[CH_2—CH_2\right]_n$	Sacs à ordures ménagères, sacs publicitaires, films pour l'agriculture, films pour la construction, palettes, tuyaux
	**PP: polypropylène** Pots à yaourt, barquettes pour margarine, caisses à claire-voie, plats pour micro-ondes, emballages médicaux, pièces pour automobiles, tapis et fibres, pièces d'appareils électriques, meubles de jardin, bouchons de bouteilles/flacons. $\left[CH_2—\underset{CH_3}{CH}\right]_n$	Caisses à claire-voie, palettes, emballages pour des liquides techniques comme pots de peinture, pièces pour automobiles, châssis cachés, pièces pour du matériel électrique, batteries pour automobiles, caisses à outils, mobilier de jardin, textile, bacs à fleurs.

	**PS: polystyrène** Emballages à usage unique pour viande et charcuterie, glaces, et légumes, appareils électriques, gobelets à café, tasses et assiettes, cassettes vidéo et audio, trains miniatures. 	Cintres, articles utilitaires, films, emballages, isolation, profilés, meubles, matériel électrique et électronique.
	**PSE: polystyrène expansé** Emballages tampons pour appareils ménagers, électronique et instruments, emballages pour œufs, emballages pour restauration rapide, isolation thermique. 	Pièces pour CD, armatures d'appareils-photos à usage unique, pots de fleurs ornementaux, cintres, plaques d'isolation, emballages pour le transport, agglomérés légèrement isolants (poroton), substrat pour plantes
	**PVC: chlorure de polyvinyle** Chassis de fenêtres, profilés pour la construction, tuyaux d'évacuation, revêtements de sols, rideaux, gouttières, isolation des câbles, cartes de crédit, produits médicaux (y compris poches pour plasma sanguin), blisters, bouteilles, revêtements. 	Revêtement de tuyaux, panneaux de façade, tuyaux, éléments pour systèmes de stockage, revêtement de sol, grillage, rails, conteneurs, chaussures, mobilier de jardin
	**PETP: polyéthylènetéréphtalate** Bouteilles pour boissons gazeuses, emballages pour l'industrie alimentaire, vêtements. 	Bourre pour anoraks, coussins et sacs de couchage, corde, tapis, bouteilles, films, bandes d'emballage
	**PUR: polyuréthane** Mousse de confort pour coussins et matelas, appuie-têtes et accoudoirs, éponges, mousse d'isolation. 	Couche sous-jacente de tapis, tatamis, isolation acoustique, pièces pour automobiles, tapis pour bétail, mortier isolant