



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Génie Civil
Spécialité : matériaux de construction

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
Gasmi zahra

Le : mercredi 30 septembre 2020

L'effet de la présence des granulats plastiques PA sur la durabilité du béton.

Jury :

Dr.	1ier membre du jury	MCB	Université de Biskra	Président
Dr.	Haouara selma	MAA	Université de Biskra	Rapporteur
Dr.	3e membre du jury	MCB	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2019 - 2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

DEDICASES

DEDICASES



Je dédie ce travail

A ceux qui m'ont fait découvrir le goût et le sentiment de la vie

Merci chère maman.

À la personne qui a toujours été mon inspiration

Et pour le courage. Merci cher père.

À mes bien-aimés et chers frères

A la famille Gasmi,

A tous mes amis en particulier (Khawla, Iman, Fadhela, Wafa, Aziza)

*Pour la promotion du génie civil option matériaux de construction en
Génie civil 2020/2021.*





REMERCIEMENTS



Merci d'abord à Dieu qui nous a permis d'être dans cette situation et de compléter cette formation

Merci, professeur Hawara Salma, qui a supervisé ce travail dans son travail

Disponibilité ainsi que pour l'accompagner tout au long de la réalisation de ce projet.

Merci et vos chers cadeaux, vous êtes la source de mon énergie dans la vie, la base du succès de mon pays et mon soutien à tout moment.

Tous mes amis sont des majors des matériaux de construction.

Tous mes professeurs du département de génie civil sont issus du secteur privé.

Je remercie également les membres du jury.



Résumé

Aujourd'hui, beaucoup de déchets s'accumulent, en particulier les bouteilles de nettoyage et les sacs en plastique, et sont une source potentielle de nombreux problèmes environnementaux et économiques. Afin de mieux protéger l'environnement et face aux évolutions de la législation en vigueur, de nombreuses mesures de réutilisation ont été prises, notamment dans le domaine des matériaux de construction. Le travail présenté vise à contribuer à l'étude des propriétés physiques et de la durabilité du béton avec l'ajout de particules plastiques. Pour atteindre cet objectif, nous avons substitué le sable par des granulats issus de recyclage de déchets plastique en proportions de 10%, 20% et 30% au béton. Nous avons comparé les résultats au béton normal. Les résultats confirment que la présence de plastique dans le béton entraîne une diminution des propriétés physiques et augmente la porosité et la perméabilité à l'eau.

Mots clés: déchets - béton - particules - plastique - recyclage - durabilité.

ABSTRACT

Today, a lot of waste accumulates, especially cleaning bottles and plastic bags, and is a potential source of many environmental and economic problems. In order to better protect the environment and in the face of changes in current legislation, many reuse measures have been taken, particularly in the field of construction materials. The work presented aims to contribute to the study of the physical properties and durability of concrete with the addition of plastic particles. To achieve this objective, we have replaced the sand with aggregates from recycling plastic waste in proportions of 10%, 20% and 30% for concrete. We compared the results to normal concrete. The results confirm that the presence of plastic in concrete results in decreased physical properties and increases porosity and water permeability.

Keywords: waste - concrete - particles - plastic - recycling - sustainability.

ملخص

يعرف العالم اليوم، تراكم كبير من النفايات، وخاصة بسبب المواد البلاستيكية، وهي مصدر محتمل للعديد من المشاكل البيئية والاقتصادية. من أجل حماية البيئة بشكل أفضل وفي مواجهة التغييرات في التشريعات الحالية، تم اتخاذ العديد من تدابير إعادة الاستخدام هذه المواد البلاستيكية، لا سيما في مجال مواد البناء. يهدف العمل المقدم إلى المساهمة في دراسة الخواص الفيزيائية وديمومة الخرسانة مع إضافة جزيئات البلاستيك. لتحقيق هذا الهدف، قمنا باستبدال الرمل بالركام ناتج من إعادة تدوير النفايات البلاستيكية بنسب 10% و 20% و 30% للخرسانة. قارنا النتائج بالخرسانة العادية.

تؤكد النتائج أن وجود البلاستيك في الخرسانة يؤدي إلى انخفاض الخصائص الفيزيائية وزيادة المسامية ونفاذية الماء.

الكلمات المفتاحية: النفايات - الخرسانة - الحبيبات - البلاستيك - إعادة التدوير - الديمومة

SOMMAIRE**DEDICACE****REMERCIEMENTS****RESUME****LISTE DES FIGURES****LISTE DES TABLEAUX****LISTE DES PHOTOS****INTRODUCTION GENERALE.....1****La partie I : Partie théorique****CHAPITRE I : Généralités sur le plastique**

I.1. INTRODUCTION.....	03
I.2. L'histoire de la matière plastique	03
I.3. Définition du plastique	04
I.4. La chimie du plastique	05
I.5. Les différents types de plastiques	06
I.5.1. Le polyéthylène téréphtalate (PET).....	06
I.5.2. Polypropylène (PP).....	07
I.5.3. POLYSTYRENE EXPANSE (PSE)	07
I.5.4. CHLORURE DE POLYVINYLE (PVC).....	07
I.5.5. POLYETHYLENE TEREPHTALATE (PETP).....	08
I.5.6. POLYURETHANE – (PUR).....	08
I.5.7. Polyéthylène Basse Densité (PEBD).....	08
I.5.8. Polyéthylène haute densité (PEHD).....	09
I.6 .Le recyclage des plastiques	09

I.7. Polyéthylène (PE)	11
I.7.1. Définition.....	11
I.7.2. Structure	11
I.7.3. Les différents types de polyéthylène	12
I.7.4. Le polyéthylène haute densité (PEHD)	13
I.7.4.1. Propriétés des polyéthylènes hautes densité.....	13
I.7.4.2. Caractéristiques du PEHD.....	15
I.7.4.3. Avantages et Inconvénients du PEHD.....	15
I.7.4.4. Domaines d'application du PEHD.....	15
I.8. Plastiques et environnement	17
I.9. La gestion des déchets plastiques.....	20
I.10. Les déchets plastiques dans le domaine de Génie civil.....	20
I.11. Conclusion	21

CHAPITRE II : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES BÉTONS

II.1. Historique du béton	22
II.2. Définition de BÉTON	23
II.3. Constituants Des Bétons	23
II.3.1 La pâte	23
II.3.2. Granulats	24
II.4. Domaines d'Application Du Béton	25
II.5. Les Avantages et les Inconvénients de l'Emploi du Béton.....	25
II.6. Différents types de bétons	26
II.6.1. Béton autoplaçant (BAP).....	26

II.6.2. Béton de haute performance (BHP)	26
II.6.3. Béton de fibre.....	26
II.6.4. Béton a durcissement.....	26
II.6.5. Béton léger.....	26
II.6.6. Béton lourd.....	26
II.6.7. Béton ordinaire.....	26
II.7 Formulation du béton	27
II.7.1 Généralités	27
II.7.2. Les différentes méthodes de formulation des bétons.....	27
II.7.3. La méthode de DRAUX-GORISSE.....	28
II.7.3.1. Dosages Des Bétons	28
II.8. Les propriétés des bétons.....	32
II.8.1. Les propriétés des bétons à l'état frais.....	32
II.8.1.1. Ouvrabilité.....	32
II.8.1.2. Masse volumique.....	33
II.8.2. Les propriétés des bétons à l'état durci.....	34
II.8.2.1. Résistances mécaniques.....	34
II.9 Durabilité	35
II.9.1 Définition de la durabilité.....	35
II.9.2. Dégradations par l'attaque chimique	36
II.9.3. Présentation des essais expérimentaux	36
II.9.3.1. L'absorption	37
II.9.3.2. L'essai d'absorption d'eau des bétons	37

a.1) Absorption par immersion totale	37
a.2) Absorption d'eau par capillarité	38
II.9.3.3. Porosité accessible à l'eau	39
II.10. CONCLUSION	40

Partie II : Partie pratique

Chapitre I : CARACTERISATION DES CONSTITUANTS

I.1. Introduction	41
I.2. Matériaux utilisés	41
I.2.1 Le Liant	42
I.2.1.1 Composition chimique	42
I.2.1.2 Propriétés physiques	43
I.2.1.3 Caractéristiques Physico-mécaniques	43
a.1) Masse volumique des liants	44
I.2.2 Les granulats	46
I.2.2.1 Les graviers	46
a) Caractérisation des graviers utilisés.....	46
a.1) La masse volumique.....	47
a.2) la teneur en eau des graviers.....	50
a.3) Analyse granulométrique	51
a.4) Essai Los Angeles.....	53
I.2.2.2 Le sable.....	55
a) caractérisation du sable utilisé.....	55

a.1) La masse volumique.....	55
a.2) La teneur en eau du sable.....	58
a.3) L'équivalent de sable.....	59
a.4) Analyse granulométrique.....	62
I.2.2.3 Les granulats en plastique PA	66
a) caractérisation des PA	66
a.1) La masse volumique.....	66
a.2) Analyse granulométrique.....	68
I.2.2.4. Eau de gâchage NA1966.....	70
I.3 Conclusion	70
Chapitre II : Formulation de et Préparation des éprouvettes	
II.1 Introduction.....	71
II.2 Calcul de la formulation du béton ordinaire (BT).....	71
II.3 Calcul de la formulation du béton avec le remplacement par les PA.....	76
II.4 Préparation des bétons et confection des éprouvettes	79
II.4.1 Equipement utilisé pour la préparation.....	79
II.4.2 Procédure de gâchage.....	79
II.4.3 Confection des éprouvettes.....	80
II.4.4 Démoulage.....	81
II.5. Conclusion.....	82
Chapitre III : Les résultats expérimentaux et discussions	
III.1. INTRODUCTION.....	83
III.2. Les essais programmés avec nombre d'éprouvettes confectionnées.....	84

III.3. Caractérisation des bétons à l'état frais	84
III.3.1. Essai d'affaissement NF P18 451.....	84
III.3.2. Mesure de la densité des bétons à l'état frais	86
III.4. Synthèse bibliographiques sur les travaux réalisés.....	88
III.4.1. Aperçu des études précédentes.....	88
III.4. 2. Etudes des propriétés physiques et les performances de durabilité des bétons avec substitution en GP.....	89
III.4.2.1. Maniabilité (Affaissement)	89
III.4.2.2. Densité	91
III.4.2.3. Performances de la durabilité.....	93
a.1).Porosité accessible à l'eau et l'absorption capillaire	93
a.2). Pénétration des ions chlorures.....	93
III.5.Conclusion	95
CONCLUSION GENERALE	96

Bibliographie

Annexe

Liste des figures

Numéro de figure :	Titre de figure :	Page :
La partie I : Partie théorique		
CHAPITRE I : Généralités sur le plastique		
Figure 01	Marché d'utilisation du plastique.	04
Figure 02	Différents objets d'origine plastique.	04
Figure 03	Structure chimique de polymères.	05
Figure 04	Bouteilles en PET.	06
Figure 05	Film en PET.	06
Figure 06	Emballage alimentaire en PP	07
Figure 07	Pare-choc en PP.	07
Figure 08	Gobelet en PS.	07
Figure 09	Emballage alimentaire en PS	07
Figure 10	Emballage Alimentaire en HIPS.	07
Figure 11	Isolant en PVC plastifié.	07
Figure 12	Tuyaux en PVC.	07
Figure 13	Polyéthylène téréphtalate - PETP .	08
Figure 14	PUR.	08
Figure 15	Sac réutilisable en PEbd.	08
Figure 16	Bouteille de lait en PEhd.	09
Figure 17	Matière plastique (PEHD) sous forme de granulés.	11
Figure 18	Structure chimique du Polyéthylène (PE).	12
Figure 19	polyéthylène haute densité (PEHD).	13
Figure 20	Ge membrane a base de polyéthylène à haute densité.	16
Figure 21	granulats de plastiques (PEHD).	17

Figure 22	(1) Micro plastiques retrouvés Dans des intestins de poisson ;(2)Pollution due aux plastiques dans le lac Bicz (Roumanie) ;(3) Etranglement dû à un anneau de plastique ;(4) tortue de mer ingérant du plastique ;(5) Baleine avale des sacs en plastique débris ;(6) Estomac d'un oiseau plein de plastique.	19
CHAPITRE II : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES BETONS		
Figure 23	les constituants de béton.	23
Figure 24	Photos des différents types de granulats.	24
Figure 25	Dosage en ciment.	29
Figure 26	<i>la courbe granulaire de référence.</i>	31
Figure 27	Mesure de l'affaissement au cône d'ABRAMS.	32
Figure 28	Différents essais sur les résistances d'un béton en traction.	35
Figure 29	Les trois types de porosité présente dans les matériaux.	37
Figure 30	Échantillons complètement immergés dans l'eau.	38
Figure 31	Eprouvettes imperméabilisées l'essai.	38
Figure 32	Schéma du dispositif de d'absorption capillaire.	38
Partie II : Partie pratique		
Chapitre I : CARACTERISATION DES CONSTITUANTS		
Figure 33	Les matériaux utilisés.	41
Figure 34	<i>Procédé utilisé pour la mesure de la masse volumique apparente du liant.</i>	44
Figure 35	granulat naturel (gravier).	46
Figure 36	<i>Procédé utilisé pour la mesure de la masse volumique apparente des graviers.</i>	48
Figure 37	<i>Mesure de la masse volumique absolue des graviers.</i>	49
Figure 38	<i>Détermination de la teneur en eau des graviers.</i>	50
Figure 39	<i>La tamiseuse utilisée.</i>	51

Figure 40	Courbe granulométrique des granulats concassés (3/8), (8/16).	53
Figure 41	Essais de Los Angeles.	54
Figure 42	<i>Mesure de la masse volumique apparente du sable concassé.</i>	56
Figure 43	<i>Mesure de la masse volumique absolue du sable concassé.</i>	57
Figure 44	<i>Détermination de la teneur en eau par étuvage.</i>	58
Figure 45	<i>Mesure de la propreté du sable (ES).</i>	59
Figure 46	La tamiseuse utilisée.	63
Figure 47	Courbe granulométrique du sable concassé et plastiques.	64
Figure 48	granulats de plastiques (PEHD) .	66
Figure 49	<i>Mesure de la masse volumique apparente du plastique.</i>	67
Figure 50	<i>Mesure de la masse volumique absolue du Le plastique.</i>	68
Figure 51	<i>Eau de gâchage.</i>	70
Chapitre II : Formulation de et Préparation des éprouvettes		
Figure 52	<i>Dosage en ciment.</i>	74
Figure 53	<i>Courbe Granulométrique.</i>	75
Figure 54	Balance électronique.	79
Figure 55	moule pour éprouvette Cubique (10×10×10).	79

Figure 56	Malaxeur.	80
Figure 57	Etapes de formulation des bétons et conservation des éprouvettes de bétons.	81
Figure 58	Mise en place du béton et conservation des échantillons dans le réservoir d'eau.	81
Chapitre III : Les résultats expérimentaux et discussions.		
Figure 59	L'affaissement au cône d'Abrams pour les différents bétons étudiés.	84
Figure 60	Affaissement au cône d'Abram's des quatre bétons confectionnés.	85
Figure 61	Mesure de la densité des bétons à l'état frais.	86
Figure 62	L'effet de la substitution en PA sur la densité du béton à l'état.	62
Figure 63	La variation de l'affaissement du béton avec le niveau de la substitution des agrégats plastiques.	90
Figure 64	L'influence de l'incorporation des matières plastiques comme agrégat sur la densité du béton/mortier.	92
Figure 65	La densité du béton en fonction du pourcentage d'E- plastique à 28 jours.	92
Figure 66	Total charges passed in coulombs of concrete mixtures	94

Liste des tableaux

Numéro de tableau :	Titre de tableau :	Page :
La partie I : Partie théorique.		
CHAPITRE I : Généralités sur le plastique.		
Tableau 01	quelques dates importantes concernant l’histoire du développement des matières plastiques.	03
Tableau 02	Les propriétés du PEHD.	14
Tableau 03	Les principaux avantages et inconvénients du polyéthylène haut densité.	15
CHAPITRE II : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES BETONS.		
Tableau 04	<i>Valeurs de G coefficient granulaire.</i>	28
Tableau 05	<i>valeur du terme correcteur K.</i>	30
Tableau 06	coefficient de compacité.	31
Tableau 07	Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône.	33
Partie II : Partie pratique		
Chapitre I : CARACTERISATION DES CONSTITUANTS		
Tableau 08	composition chimique du ciment utilisé.	42
Tableau 09	Caractéristiques du ciment.	43
Tableau 10	Propriétés du ciment du fiche techniques.	43
Tableau 11	La masse volumique apparente du liant.	44
Tableau 12	La masse volumique absolue du liant.	46
Tableau 13	Caractéristiques du ciment.	46

Tableau 14	<i>Masse volumique apparente du gravier.</i>	48
Tableau 15	<i>Masse volumique absolue du gravier.</i>	50
Tableau 16	Degré d'absorption d'eau des agrégats (3/8), (8/16).	51
Tableau 17	<i>Tamis utilisés pour le tamisage des graviers.</i>	52
Tableau 18	L'analyse granulométrique de gravier concassé (3/8).	52
Tableau 19	L'analyse granulométrique de gravier concassé (8/16).	52
Tableau 20	Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé.	54
Tableau 21	Estimation de la dureté des agrégats en fonction du coefficient LA .	54
Tableau 22	résultats de l'essai sur le gravillon 3/8 et 8/16.	55
Tableau 23	<i>Masse volumique apparente du sable concassé.</i>	56
Tableau 24	<i>Masse volumique absolue du Sable concassé .</i>	57
Tableau 25	<i>Degré d'absorption d'eau du sable concassé.</i>	58
Tableau 26	Equivalent du sable.	60
Tableau 27	Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable ESV et ESP.	61
Tableau 28	Séries des tamis utilisés pour le tamisage du sable.	62
Tableau 29	<i>Analyse granulométrique du sable concassé.</i>	63
Tableau 30	résultats des essais sur le sable.	65
Tableau 31	<i>Masse volumique apparente du plastique.</i>	67
Tableau 32	<i>Masse volumique absolue du Plastique.</i>	68
Tableau 33	<i>Séries des tamis utilisés pour le tamisage du Plastique.</i>	69

Tableau 34	<i>Analyse granulométrique du Plastique.</i>	69
Chapitre II : Formulation de et Préparation des éprouvettes.		
Tableau 35	Correction du dosage en eau en fonction de Dmax .	74
Tableau 36	Dosages Des Bétons.	78
Chapitre III : Les résultats expérimentaux et discussions.		
Tableau 37	Récapitulatif des résultats des essais d'affaissement au cône.	85
Tableau 38	valeurs de la masse volumique pour les 04 formulations du béton.	87
Tableau 39	Types et quantités de substitutions de sable par des agrégats plastiques dans les études considérées comme références.dans les études considérées comme références.	88
Tableau 40	L'évaluation des propriétés des bétons à base des agrégats légers.	89

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le plastique est un matériau polyvalent, il se distingue par sa résistance et sa durabilité, car il s'agit d'un matériau polymère; Autrement dit, il est constitué de grosses molécules liées par des liaisons sans fin sous forme de longues chaînes, et il convient de noter que la plupart des plastiques sont utilisés pour fabriquer des produits à usage unique, ou utilisés dans l'emballage de produits. Les consommateurs utilisent de nombreux types de plastiques dans un seul but, puis ils sont soit recyclés, soit éliminés, et ils finissent dans les décharges, sur les routes, dans les parcs et dans les plans d'eau, mais il faut de nombreuses années pour se dégrader, il se décompose en fines particules de plastique, qui précède une grave pollution est libérée.

Au cours des 20 dernières années, les plastiques représentent la grande partie des déchets solides municipaux. De plus, c'est un problème grave car il est visible dans la nature. Par conséquent, sa gestion est nécessaire d'un point de vue environnemental, économique ou social. Les premiers procédés mis en place pour le traiter ont été la mise en décharge et l'incinération. Cependant, la croissance explosive des déchets d'emballages plastiques crée d'autres filières de recyclage. Les matériaux de construction peuvent vraiment être un débouché intéressant, car des études ont montré qu'il est possible d'utiliser des déchets plastiques dans le béton, le mortier et même d'autres types de déchets tels que les granulats recyclés issus de la démolition de bâtiments.

Ce travail vise à étudier la possibilité d'utiliser du polyéthylène haute densité (PEHD) dans le béton avec deux objectifs, le premier étant la préservation de l'environnement et la valorisation des matières plastiques. Le second est de ne pas épuiser la nature en diminuant la consommation des matériaux naturels tels que les granulats. Dans ce cadre, une étude est envisagée sur une analyse de l'effet du substitution de sable en granulats plastiques sur la durabilité du béton. Les différents pourcentages d'agrégats plastiques utilisés sont : 10%, 20% et 30% proportionnellement au volume de sable.

Ce mémoire contient deux parties

- ❖ La première partie est la partie théorique divisée en deux chapitres

- ✚ Le premier chapitre qui est une recherche bibliographique sur les plastiques et leurs risques pour l'environnement, avec une présentation de leurs différents types, avec un détail précis sur le type utilisé dans cette l'étude.
- ✚ Le deuxième chapitre est un rappel théorique sur le béton et de ses composants ainsi que le calcul de formulation du béton avec les différents essais sur les paramètres de durabilité du béton.
- ❖ La deuxième partie est la partie pratique qui a un aspect expérimental et qui est divisée en trois chapitres
 - ✚ Le premier chapitre présente les caractéristiques des matériaux utilisés dans la préparation des mélanges
 - ✚ Le deuxième chapitre concerne la formulation des bétons et la confections des éprouvettes pour chaque essai.
 - ✚ Le troisième et dernier chapitre de ce mémoire est consacré à la présentation et à la discussion des résultats des tests effectués sur les paramètres de durabilités du béton contenant des granulats plastiques, mais en raison de la situation épidémiologique causée par le Covid19, le travail expérimental a été interrompu le 12 Mars par le confinement ce qui a changer la contenu de ce chapitre en le consacrant à une synthèse sur les études et recherches sur la valorisation des granulats à base de déchets plastiques recyclés une discussion des résultats obtenus avec une comparaison des résultats, en résumant les études précédentes de différents chercheurs qui ont réalisé la même étude avec le changement de type de plastique ou de forme des granules ou des proportions ajoutées.
- ✚ Enfin, nous terminons ce travail par des conclusions générales.

La partie I : Partie théorique

CHAPITRE I : Généralités sur le plastique

I.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est définir les notions générales concernant le plastique, il présente une synthèse des connaissances qui ont un lien avec cette étude, pour qu'elle soit suffisante à la compréhension et aux analyses proposées. On a présenté certaines généralités sur le plastique qui sont essentiels à la compréhension de l'ensemble des thèmes intéressants.

I.2. L'histoire de la matière plastique

Les polymères synthétiques sont apparus à la fin du dix-neuvième siècle vers les années 1860, mais ce n'est seulement qu'après la seconde guerre mondiale que "l'essor des plastiques" a vraiment commencé. Depuis, nous observons un accroissement progressif de leur production, qui atteint ces dernières années plusieurs millions de tonnes/an.

Le tableau1 ci- dessous représente les différentes dates de découverte de quelques matières plastiques.

Tableau01 : quelques dates importantes concernant l'histoire du développement des matières plastiques. [1]

Date	Matériaux
1868	Celluloïd
1927	Feuilles de poly (chlorure de vinyle)
1937	Polystyrène (PS)
1938	Fibre de Nylon
1939/1944	Vulcanisation du caoutchouc
1957	-polyéthylène à haute densité (PEHD) -polypropylène(PP) -polycarbonate(PC)

Sa consommation mondiale est passée de 1.500.000 tonnes en 1950 à 311.000.000 de tonnes en 2014.[10] Ses performances le rendent indispensable dans plusieurs domaines.

I.4. La chimie du plastique

Les plastiques sont des polymères constitués d'enchaînement de groupes identiques d'atomes, les monomères. Ce sont donc des macromolécules qui sont d'ailleurs très grandes comparées à celles constituant les produits organiques courants [3] Celles-ci sont principalement constituées de carbone, d'hydrogène, de silicium, d'oxygène, de chlore et d'azote [4] Les polymères peuvent aussi comporter des monomères de natures différentes. Ils sont alors appelés copolymères, en opposition avec les homopolymères. Cette chaîne peut aussi comporter des ramifications. La structure chimique de certains polymères est reprise à la Figure 3.

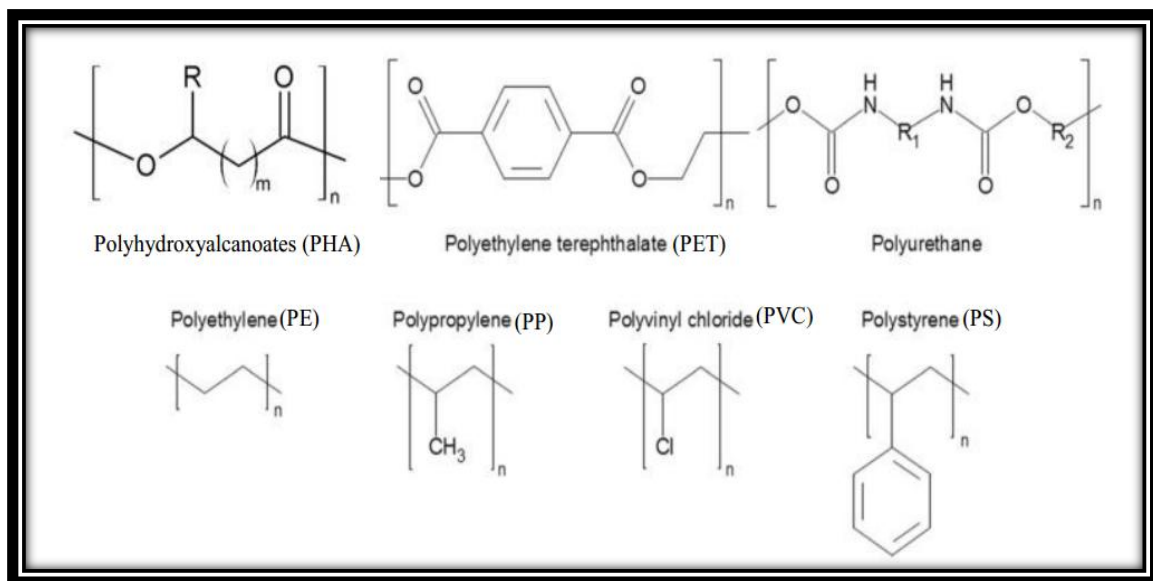
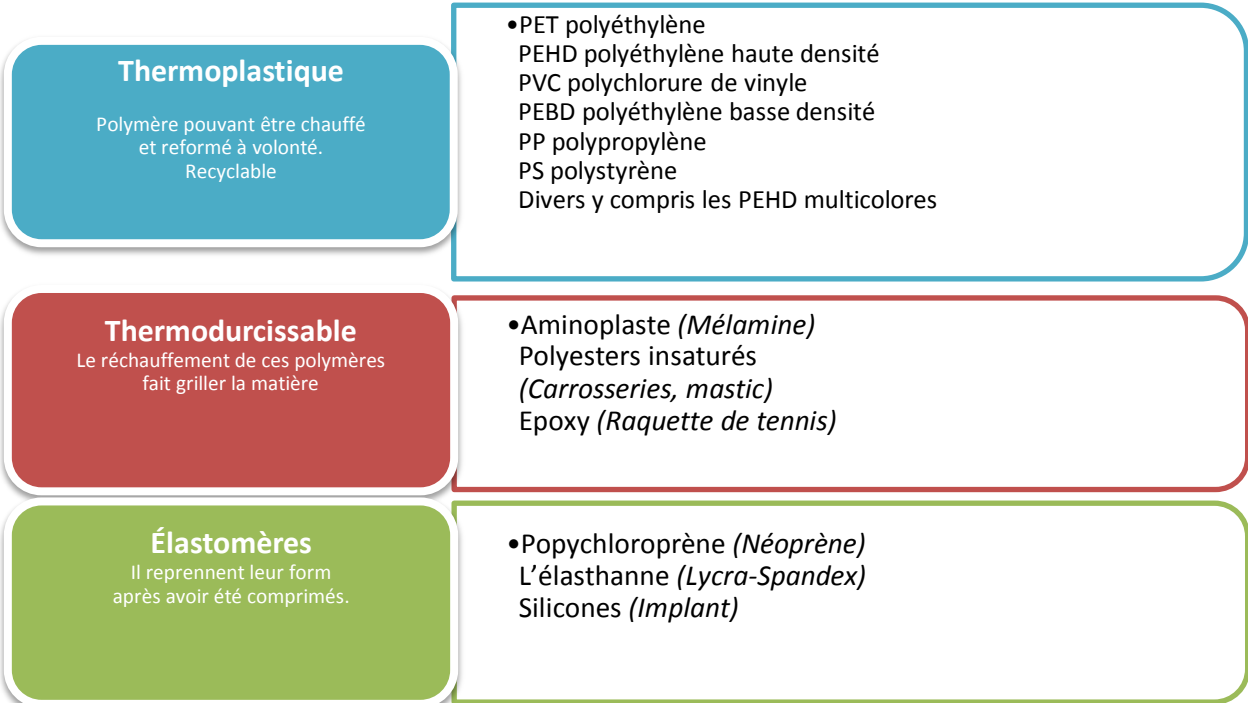


Figure 03 : Structure chimique de polymères [5]

I.5. Les différents types de plastiques sont :

On peut les diviser en 3 familles : les thermoplastiques, les thermodurcissables, et les élastomères.



❖ Nous mentionnons certains de ces types en utilisant les images ci-dessous.

I.5.1. Le polyéthylène téréphtalate (PET)

Le PET est le thermoplastique le plus communément utilisé. C'est un produit de polycondensation de l'acide téréphtalique (C₈H₆O₄) avec l'éthylène glycol (C₂H₆O₂)



Figure .4 : Bouteilles en PET

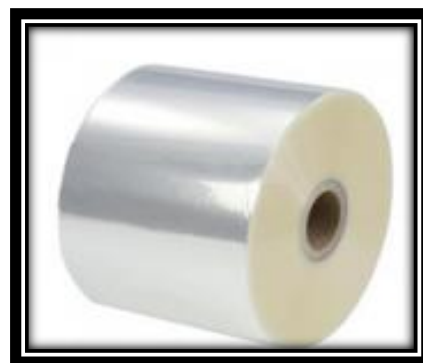


Figure .5 : Film en PET

I.5.2. Polypropylène (PP) :

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.



Figure .6 : Emballage alimentaire en PP



Figure .7 : Pare-choc en PP

I.5.3. POLYSTYRENE EXPANSE (PSE) :

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



Figure .8 : Gobelet en PS



Figure .9 : Emballage alimentaire en PS



Figure .10: Emballage

Alimentaire en HIPS

I.5.4. CHLORURE DE POLYVINYLE (PVC) :

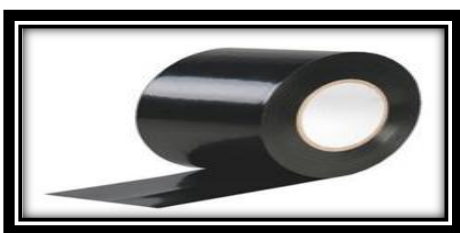


Figure .11 : Isolant en PVC plastifié



Figure .12 : Tuyaux en PVC

I.5.5. POLYETHYLENE TEREPHTALATE PETP :

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



Figure .13 : Polyéthylène téréphtalate - PETP

I.5.6.POLYURETHANE – PUR :

Mousse de confort pour coussins et matelas, appuie-têtes et accoudoirs, éponges, mousse d'isolation.



Figure 14 : PUR

I.5.7. Polyéthylène Basse Densité (PEBD) :

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.



Figure .15 : Sac réutilisable en PEbd

I.5.8. Polyéthylène haute densité (PEHD) :

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



Figure .16 : Bouteille de lait en PEhd

I.6. Le recyclage des plastiques :

Vous pouvez reconnaître le plastique recyclable au symbole en forme de triangle que l'on peut habituellement trouver au bas d'une bouteille avec une abréviation en lettres et en chiffres pour indiquer le type de plastique dont il s'agit.

Ainsi, les matériaux plastiques recyclables sont codifiés de 1 à 7 à ce jour, de la façon suivante :



I.7. Polyéthylène (PE)

I.7.1. Définition :

Le polyéthylène fait partie des polyoléfines ou matière thermoplastiques comme le polypropylène (PP) ou le polychlorure de vinyle (PVC). Sur le plan mondial de part ses propriétés, il occupe la deuxième place en matière de consommation après le PVC. Il est obtenu par la polymérisation de l'éthylène ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) qui constitue le monomère de base. Lors de la polymérisation, les doubles liaisons du monomère éthylène se rompent et se lient les unes aux autres permettant l'édification de la chaîne macromoléculaire du polyéthylène

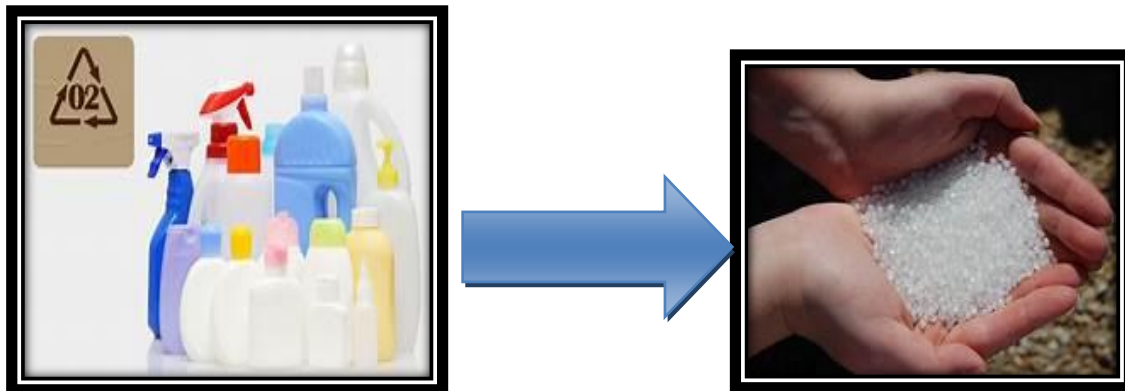


Figure .17 : Matière plastique (PEHD) sous forme de granulés

I.7.2. Structure :

Le polyéthylène présente une importance majeure puisque sa production mondiale annuelle dépasse 10 millions de tonnes.

Le polyéthylène est un matériau thermoplastique de la famille de polyoléfines contenant uniquement des carbones hybridés de types sp^3 . Sa molécule se présente sous forme de chaînes contenant 1000 à 2000 monomères. [6]

La formule chimique du polyéthylène est:

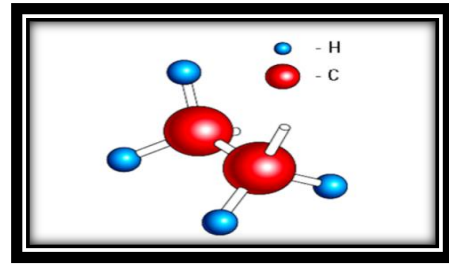
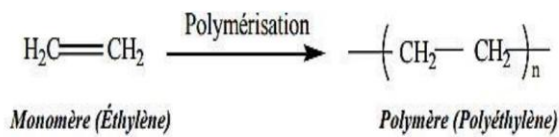


Figure .18 : Structure chimique du Polyéthylène (PE).

- ❖ Partiellement cristallin, le polyéthylène contient deux phases:
 - Une zone amorphe dans laquelle les chaînes sont disposées de manière désordonnée.
 - Une zone cristalline dans laquelle les chaînes est disposée de manière ordonnée ; formant ainsi des cristallites. Les chaînes dans les zones cristallines se regroupent sous forme de lamelles (fibrilles lamellaires) de quelques entraines d'Angströms. Ces lamelles sont typiquement arrangées comme des sphéroïdes. [7]

I.7.3. Les différents types de polyéthylène:

Il existe différents types de polyéthylène Les polyéthylènes sont classés en fonction de leur densité qui dépend du nombre et de la longueur des ramifications présentes sur les chaînes moléculaires.

- PE-BD, polyéthylène basse densité.
- PE-BDL, polyéthylène à basse densité linéaire
- PE-HD, polyéthylène haute densité
- PE-UHPM, polyéthylène à masse molaire élevée.
- PE-R, polyéthylène réticulé
- PE-RHD, polyéthylène réticulé à haute densité.
- PE-MD, polyéthylène à moyenne densité.
- PE-TBD, polyéthylène à très basse densité. [8]

I.7.4. Le polyéthylène haute densité (PEHD) : est un polymère employé dans des applications à parois épaisses rigides telles que bouteilles, flacons, seaux, bouchons, jouets, articles ménagers, réservoirs à carburant, tuyaux d'évacuation. a été synthétisé en 1953 par le chimiste allemand Karl Ziegler.



Figure .19 : polyéthylène haute densité (PEHD)

I.7.4.1. Propriétés des polyéthylènes hauts densité :

✓ Propriétés physiques :

La différence entre le PEHD et le PEBD est le point de ramollissement, puisqu'il se situe au-dessus du point d'ébullition de l'eau pour l'un et au-dessous pour l'autre. Les articles fabriqués, avec le polyéthylène de haute densité, peuvent ainsi être stérilisés à la vapeur [9].

✓ Propriétés chimiques:

Le polyéthylène possède une très bonne stabilité chimique :

- Inattaquable par les acides (sauf les oxydants), par les solutions de sels ;
- Résistants aux solvants organiques au-dessus de 80°C ;
- Pratiquement insoluble, à des températures inférieures à 60 °C ;
- Sensible à la fissuration sous contrainte en présence de savon, alcools, détergents ;
- Il refroidi lentement et plus cristallin et moins perméable aux solvants. [10]

✓ **Propriétés électriques :**

Le PE présente d'excellentes propriétés d'isolation électrique quelles que soient sa masse moléculaire et sa cristallinité. Sa faible permittivité relative et son faible facteur de Dissipation diélectrique font de lui un matériau de choix en isolation électrique. [11]

✓ **Propriétés thermiques :**

En l'absence de contrainte, le polyéthylène haut densité peut supporter une température de 110 à 120°C (stérilisation par exemple). Ce comportement est caractérisé par la température de ramollissement Vicat (1kg) ou par la température de fléchissement sous charge qui augmente avec le taux de cristallinité ou le niveau de réticulation. [12]

✓ **Propriétés mécaniques :**

A 23°C, les matériaux semi-cristallins sont au-dessus de leur température de transition vitreuse (environ - 120°C) ; leur phase amorphe est caoutchouteuse, ce qui affecte leurs propriétés mécaniques. [13]

Tableau .02 : Les propriétés du PEHD. [14]

Propriétés	PEBD	PEHD
Masse volumique (g/cm ³)	0.91–0.94	0.95–0.98
Module de Young (20°C, 100s) (GPa)	0.15–0.24	0.55–1.00
Résistance à la traction (MPa)	7-17	20-30
Ténacité (20°C) (MPa m ^{1/2})	1-2	2-5
Température de transition vitreuse T _g (°K)	270	300
Température de ramollissement T _s (°K)	355	390
Chaleur massique (J Kg ⁻¹ K ⁻¹)	2250	2100
Conductivité thermique (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0.35	0.52
Coefficient de dilatation thermique (M K ⁻¹)	160-190	150-300

I.7.4.2. Caractéristiques du PEHD :

- le polyéthylène PEHD est un matériau blanc ou coloré, conforme aux normes sanitaires FDA (naturel) et avec une bonne résistance aux produits chimiques.
- disponible dans un fini luisant ou autre, il se caractérise par sa rigidité, sa soudabilité et propriétés thermo formables.
- cette formulation de polyéthylène est reconnue pour sa stabilité. [10]

I.7.4.3. Avantages et Inconvénients du PEHD :

Les principaux avantages et inconvénients du polyéthylène haut densité ce présenté sur le tableau suivant :

Tableau .3 : Les principaux avantages et inconvénients. [15]

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Mise en œuvre aisée - Excellentes propriétés d'isolation électrique - Résistance aux chocs - Grande inertie chimique. - Qualité alimentaire. <p>Perte du caractère perméable des PE que ce soit à l'eau, et aussi à l'air et aux hydrocarbures.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilité aux UV en présence d'oxygène - Sensibilité à la fissure sous contrainte - Mauvaise tenue à la chaleur <p>Collage important.</p>

I.7.4.4. Domaines d'application du PEHD :

Le PEHD doit répondre à plusieurs utilisations aux usages très variés on donne ici des exemples pour quelques applications : [11]

• Films :

- La sacherie ;
- L'industrie : les emballages,
- L'hygiène : couches-bébés ;

- L'agriculture : serres, tunnels...

• **Objets moulés** : Dans le domaine des objets moulés, le polyéthylène haute densité s'est développé dans le secteur industriel : manutention, eaux, bouchonnage, et dans les applications techniques telles que le mobilier urbain.

• **Extrusion-soufflage** : Le domaine de l'extrusion-soufflage est réservé principalement au polyéthylène haute densité pour fabriquer des : bouteilles, flacons, bidon de lait, récipients pour lessive, détergents...

• **Tuyaux** : Dans l'application des tuyaux, le polyéthylène haut densité est employé pour la réalisation de tuyauteries de gaz, et pour les tuyaux sous pression, eau chaude, chauffage par le sol. [32]

❖ **Construction**: Ce type de plastique HDPE est ajouté sous deux formes:

➤ Premièrement: films pour la construction



Figure .20: Ge membrane a base de polyéthylène à haute densité

➤ Deuxièmement: Il est ajouté sous forme de granulés plastiques bien sûr recyclés avec le mélange de béton dans différentes proportions de gravier ou de sable pour conserver la matière première pour la construction et non pour exploiter les carrières et vallées

d'une part, ainsi que d'autre part l'exploitation du recyclage des déchets plastiques dans le domaine de la construction



Figure .21 : granulats de plastiques (PEHD)

I.8. Le Plastique et l'environnement :

Les plastiques sont devenus une partie inséparable et intégrale de notre vie, la quantité de plastiques consommés annuellement s'est développée considérablement. La légèreté, la résistance, la conception facile, la durabilité, et son coût bas sont les facteurs derrière une telle croissance phénoménale de leurs utilisations.

Selon un rapport de l'agence américaine de l'environnement de l'année 2003, 80% des déchets plastiques sont envoyés à l'enfouissement, 8% sont incinérés et seulement 7% sont recyclés.

La production mondiale de plastique en 2012 aurait atteint 288 millions de tonnes [16]. Plus de la moitié de cette quantité a été utilisée pour des produits de consommation jetables, ce qui a contribué à la production de déchets liés aux matières plastiques. La plupart des types de plastiques ne sont pas biodégradables et sont chimiquement non réactifs dans l'environnement. Certains types de plastiques tels que le polychlorure de vinyle (PVC) et le polycarbonate (PC) peuvent libérer lentement des composés toxiques dans l'air. Zhou et al. [17], Papon et al. [18], Badai et al. [19], ont révélé que des milliers d'années sont nécessaires pour la biodégradation des plastiques. Cela entraîne l'accumulation de déchets plastiques et provoque des graves problèmes environnementaux dus à leur mise en décharge et leur enfouissement illégal ou leur incinération.

Par conséquent, les déchets plastiques sont considérés comme un problème environnemental sérieux universellement. La production du plastique comprend également l'utilisation des produits chimiques potentiellement nocifs, qui sont ajoutés comme

stabilisateurs ou colorants. Beaucoup d'entre eux n'ont pas subi une évaluation des risques environnementaux et leur impact sur la santé humaine et l'environnement, sont actuellement incertain, à titre d'exemple les pH talâtes, qui sont employés dans la fabrication de PVC.

Avec de plus en plus de produits plastiques, en particulier les emballages, étant débarrassé peu de temps après leur achat, les espaces d'enfouissement requis pour les déchets plastiques sont une préoccupation croissante.

Le plus grand composant de ces déchets plastiques est le polyéthylène à basse densité à environ 23% (PEBD), suivi de 17,3% du polyéthylène à haute densité (PEHD), 18,5% de polypropylène (PP), 12,3% du polystyrène (PS), 10,7% du polychlorure de vinyle (PVC), 8,5% polyéthylène téréphtalate (PET) et 9,7% d'autres types de déchets [20].

Actuellement, les produits polymères sont largement utilisés dans presque tous les domaines, en particulier dans les domaines de l'emballage, de l'automobile, de l'électricité, de la construction, de l'électronique, l'agriculture et d'autres industries. Subramanian [21] a signalé que les plastiques représentent un faible taux de la quantité des déchets mais qui est très significative.

Dans notre pays, la production de déchets ménagers est estimée à 9 millions de tonnes par an. Ce chiffre est en constante augmentation. Les estimations chiffrées font état de 0,8 kg/habitant/jour et ont atteint 1 kg/habitant/jour pour l'agglomération de grandes villes. En Algérie et partout dans le monde, l'utilisation de produits emballés a induit une augmentation des déchets de matières plastiques et une difficulté de leur enfouissement ou retrait [22].

❖ Quelques photos qui montrent le danger du plastique pour l'environnement



(1)

(2)



(3)



(4)



(5)



(6)

Figure 22 : (1) Micro plastiques retrouvés Dans des intestins de poisson (2)Pollution due aux plastiques dans le lac Bicz (Roumanie)(3) Etranglement dû à un anneau de plastique(4) tortue de mer ingérant du plastique(5) Baleine avale des sacs en plastique débris(6) Estomac d'un oiseau plein de plastique

I.9. La gestion des déchets plastiques :

La gestion des déchets plastiques s'avère donc plus qu'inévitable en vue de pallier ce problème de pollution qui ne cesse de croître d'années en années. Toutefois, cela nécessite la mise en place des filières de traitement ou de valorisation des déchets. Parmi les difficultés de transformation qui nécessite une main d'œuvre qualifiée, mais cela n'entrave en principe nullement d'engager une politique de gestion et de valorisation des déchets pour limiter les dégâts écologiques.

De nombreux travaux de recherche ont été menés à travers le monde sur l'utilisation des produits plastiques. Ce domaine de recherche occupe une place importante dans le contexte des matériaux de construction durables [23]. Dans ce contexte, les déchets plastiques tels que le polyéthylène (PE), polychlorure de vinyle (PVC), le caoutchouc, sont utilisés comme agrégats dans les mortiers et bétons. L'Algérie reste loin derrière la plupart des pays en termes de recherches et d'applications des matériaux de construction durables tels que la substitution des agrégats par les plastiques dans le béton ou mortier.

Toutefois, l'absence de procédés de transformation de ces matériaux peut fortement empêcher leur application dans le domaine de la construction. L'utilisation des déchets plastiques dans le domaine de la construction peut jouer un rôle important dans le contexte économique du pays.

La substitution des agrégats naturels par les plastiques dans un mortier ou béton permet d'améliorer une partie des propriétés essentielles (caractéristiques mécaniques, propriétés thermiques, durabilité, masses volumiques, etc.....) et de répondre au mieux aux problèmes technico-économiques que le matériau classique.

I.10. Les déchets plastiques dans le domaine de Génie civil:

Parmi les différents types d'approches de la gestion des déchets, on cite la réutilisation des déchets et des matières plastiques recyclées dans l'industrie de la construction, qui est considérée comme une méthode idéale pour l'élimination des déchets plastiques.

Divers types des matières recyclables d'origine industrielle sont actuellement utilisées dans les applications de génie civil telles que : les particules de déchets polymériques (caoutchouc [24], le polychlorure de vinyle PVC [25, 26], le polyéthylène téréphtalate PET

[27-28], les fibres de PET [29], le polyéthylène à haute densité PEHD [30, 31], la mousse du polyuréthane rigide PUR [32]...etc.), la céramique [33], le polystyrène expansé PSE [34, 35], le bois [36], le verre [37, 38], le liège [39, 40], les fibres d'acier [41], les coproduits issus de l'exploitation agricole (lin [42], olive [43], coquille de riz [44], jute [45], fibre de palmier [46,47]...etc.).

Chacun de ces déchets a donné un effet spécifique sur les propriétés des matériaux cimentaires à l'état frais et durci.

L'utilisation des matériaux plastiques dans le mortier et le béton a fait l'objet de nombreuses recherches.

les plastiques étaient principalement utilisés dans le béton sous deux formes:

- ✓ les granulats plastiques, qui remplaçaient les granulats naturels
- ✓ les fibres plastiques, utilisés dans le béton fibré.

Par ailleurs, les matériaux de construction traditionnels d'origine naturelle sont confrontés, à terme, à l'épuisement. Il est donc important de penser à l'élaboration de matériaux composites à base des agrégats légers provenant des déchets industriels et agricoles.

I.11) Conclusion :

Le plastique, né il y a une cinquantaine d'années, est considéré comme le matériau du troisième millénaire. Il peut être polluant s'il n'est pas traité. Donc c'est à nous, citoyens, de le recycler afin de préserver la stabilité de notre environnement. Le plastique est notre avenir car nous l'utilisons en permanence. Toutes les nouvelles technologies, les domaines de l'innovation, la recherche de nouveaux objets, utilisent les matières plastiques. Les plastiques sont financièrement à la portée de tous, car fabriqués industriellement. De plus nous pouvons le trouver partout. Mais nous polluons la planète si nous ne recyclons pas les matières plastiques et que nous les jetons dans la nature. Le recyclage des déchets en général et des déchets plastiques en particulier représente un secteur presque vierge en Algérie. La collecte, le tri, et la valorisation sont trois tronçons qui se succèdent mais qui peuvent être dissociées, ce qui offre des opportunités d'investissement promoteurs pour les jeunes algériens qui désirent se lancer dans ce domaine.

CHAPITRE II : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE
SUR LES BETONS

II.1.Historique du béton :

Le béton est un composite qui résulte d'un mélange de ciment, de granulats, d'eau et parfois, d'ajouts minéraux et de faible quantité d'adjuvants. Ces constituants sont dosés de manière à obtenir, après le durcissement, un produit solide dont les capacités de résistance dépassent celles des meilleures roches naturelles. Cette roche artificielle résiste bien à la compression et mal à la traction, C'est pourquoi son utilisation ne s'est véritablement développée qu'avec l'invention du béton armé en 1784, ce qui permit de compenser son insuffisance de résistance à la traction.

En 1930, un pas conceptuel important est alors franchi avec l'invention du béton précontraint qui permet la distribution des contraintes dans la matière, qui donnent une grande résistance à la compression, tout en évitant les inconvénients dus à sa faible résistance à la traction. Depuis 1970, des recherches menées sur le béton, et particulièrement sur ses constituants actifs conduisent à un nouveau bond qualitatif et quantitatif de ses propriétés, tels que les bétons à hautes performances dont la résistance à la compression atteint 100 MPA. Ce béton fabriqué est mis en place en 1980. Par la suite, des bétons de poudres réactives qui sont utilisées pour la première fois lors de la construction de la passerelle de SHERBROOK avec des bétons de 400 MPA, sont fabriqués par un traitement thermique et mécanique approprié et simple. Ensuite PIERRE RICHARD a pu fabriquer un béton de 800 MPA en utilisant une poudre métallique. En 1986, des chercheurs Japonais ont pour la première fois fabriquée le béton auto plaçant ou le béton auto nivelant.

II.2. Définition de BÉTON :

Le béton est une roche artificielle, composite fabriqué à partir de mélange de granulats gros (graviers) et fins (sables), Ils constituent le squelette du béton liés entre eux par un liant. Le liant peut être « hydraulique » ce liant est appelé « Ciment » formé une pâte de ciment (ciment + eau). La pâte de ciment, élément actif du béton enrobe les granulats et joue à l'état frais le rôle de lubrifiant et de colle à l'état durci [48].

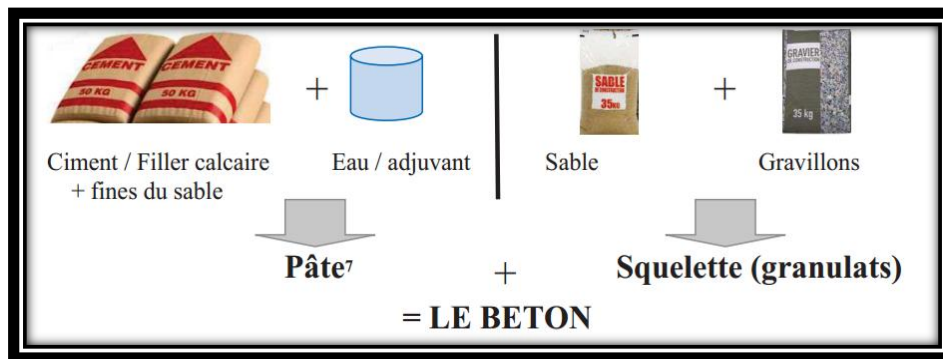


Figure .23 : les constituants de béton.

II.3. Constituants Des Bétons :

II.3.1 . La pate :

✓ **Ciment** : Le choix du ciment en fonction de la destination du béton de l'ouvrage est très important. Le type de ciment et son dosage dépendent à la fois des performances recherchées (résistance mécanique, résistance aux agents agressifs) et de la nature des autres composants [35].

✓ **Eau de gâchage** : L'eau est un ingrédient essentiel du béton. Il joue deux fonctions principales : confère au béton sa maniabilité à l'état frais (propriétés rhéologiques) et assure l'hydratation des grains de ciment pour une prise et un durcissement. La quantité d'eau utilisée ou plus précisément le rapport eau/ciment a une forte influence sur la porosité du béton, sa perméabilité, les résistances mécaniques, la durabilité, la microstructure, la cinétique d'hydratation, etc. L'eau de gâchage peut avoir plusieurs origines, mais seule l'eau potable est présumée conforme aux exigences aux normes en vigueur. Les autres comme l'eau récupérée de la fabrication de bétons, les eaux d'origine souterraine, les eaux de rejet industriel, l'eau de mer et les eaux saumâtres, doivent être soumises à des essais de contrôle préliminaire (essais chimiques, physiques, etc.). L'eau de gâchage doit répondre aux prescriptions de la norme NF EN 1008 [49].

II.3.2. Granulats :

✓ **Généralités sur les granulats utilisés dans le béton :** La construction de l'habitat et l'aménagement de l'environnement font appel à trois grands secteurs d'activités, qui sont les industries de carrière et matériaux de construction, le bâtiment et les travaux publics. Tous les travaux liés à ces secteurs d'activités utilisent des matières premières naturelles en tant que morceaux de roches ou alluvionnaires (sous forme de sables et graviers), soient obtenues artificiellement par traitement de roches naturelles ou des déchets industriels et parfois l'utilisation des déchets inertes. Leur nature et leur forme varient en fonction des gisements et des techniques de production. Elles sont destinées à être mises en œuvre sans aucun apport de liant pour les solidariser (ballast des voies de chemin de fer, couche de fondation des routes, remblais...) soient agglomérées à l'aide d'un liant (ciment pour le béton, bitume pour les enrobés)[50].

✓ **Définition :** La plupart des définitions relatives aux granulats sont empruntées du texte de la norme XP P 18-540 .Un granulats est un ensemble de grains compris entre 0 et 125 mm, destiné notamment à la confection des mortiers, des bétons, des couches de fondation et de base, de liaison et de roulement des chaussées, des assises et ballasts de voies ferrées, des remblais [50].

✓ **Les différents types de granulats :** Les granulats utilisés pour le béton sont d'origine naturelle, artificielle ou recyclée :

- «Naturels», lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives et qu'ils subissent aucun traitement autre que mécanique (réduction de dimensions);
- «Artificiels», lorsqu'ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique de roches ou de minerais;
- «Recyclés», lorsqu'ils proviennent de la démolition d'ouvrages ou lorsqu'ils sont réutilisés[51].



Figure.24: Photos des différents types de granulats.

II.4. Domaines d'Application Du Béton :

Le béton se trouve généralement armé ou non, précontraint, désigné en abrégé par les lettres **NA** (non armé), **BA** (béton armé) ou **BP** (béton précontraint). Le béton comme matériau de construction est actuellement utilisé dans divers domaines d'application et avec divers procédés tels que : les bâtiments, travaux publics, les ponts, les tunnels, les routes rigide,...[52].

II.5. Les Avantages et les Inconvénients de l'Emploi du Béton :

➤ Avantages du béton :

- Il est peu coûteux, facile à fabriquer et nécessite peu d'entretien ;
- Il épouse toutes les formes qui lui sont données. Des modifications et adaptations du projet sur le chantier sont faciles à effectuer ;
- Il devient solide comme la pierre. Correctement utilisé, il dure des millénaires. Il résiste bien au feu et aux actions mécaniques usuelles.
- Associé à des armatures en acier, il acquiert des propriétés nouvelles qui en font un matériau de construction aux possibilités immenses (béton armé, béton précontraint)
- Il convient aux constructions similaires. Les assemblages sont faciles à réaliser dans le cas du béton coulé sur place. Dans la plupart des cas, les dimensions des ouvrages et éléments d'ouvrage en béton sont suffisants pour ne pas poser de problème délicat de stabilité ;
- Les ressources nécessaires pour sa fabrication existent dans de nombreux pays en quantités presque illimitées ;
- Il exige peu d'énergie pour sa fabrication. [53]

➤ Inconvénients du béton :

Les principaux inconvénients du béton ont pu être éliminés grâce à son association à des armatures en acier ou à l'utilisation de la précontrainte. De toute façon, il reste les inconvénients suivants :

- Son poids propre élevé (densité de 2,4 environ qui peut être réduite à 1,8 dans le cas de bétons légers de structure et à moins de 1,0 dans le cas de bétons légers d'isolation) ;

- Sa faible isolation thermique (elle peut être facilement améliorée en ajoutant une couche de produit isolant ou en utilisant des bétons légers spéciaux) ;
- Le coût élevé entraîné par la destruction du béton en cas de modification d'un ouvrage[54] .

II.6. Différents types de bétons :

II.6.1. Béton autoplaçant (BAP): Développé dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon, le béton autoplaçant est un béton fluide, très déformable, homogène et stable qui se met en place par gravitation et sans l'utilisation d'un moyen de vibration. Il épouse parfaitement les formes des coffrages les plus complexes, il ne doit pas subir de ségrégation et doit présenter des qualités comparables à celles d'un béton vibré classique [55].

II.6.2. Béton de haute performance (BHP) : Bétons aux résistances mécaniques élevées au jeune âge et à 28 jours (Supérieure à 50 MPa), et un rapport pondéral (E/C) inférieur à 0,40. Leur propriété essentielle est leur grande résistance en compression qui dépasse largement le cas des bétons ordinaires. Ceci est obtenu grâce à leur faible porosité qui est diminuée en réduisant la quantité d'eau de gâchage par l'emploi d'adjuvants plastifiants et super plastifiants [55]

II.6.3. Béton de fibre : Béton dans lequel sont incorporées des fibres, ce qui permet suivant l'ouvrage de supprimer le treillis soudé traditionnel [55].

II.6.4 . Béton a durcissement : rapide Bétons dont le développement des résistances mécaniques est accéléré, ces bétons permettent la réalisation des travaux sur des éléments d'ouvrages demandant une remise en service rapide, ainsi que le décoffrage prématuré ou la mise en précontrainte le plus rapidement en préfabrication [55].

II.6.5.Béton léger : Les bétons légers comme ayant une masse volumique après séchage 2100 kg/m³. Parmi ces bétons on peut citer les bétons de granulats légers. Ils sont utilisés dans le domaine du confort thermique [55].

II.6.6 . Béton lourd : C'est un béton dont la masse volumique est supérieure à 2600 kg/m³, les résistances mécaniques du béton lourd sont comparables à celles des bétons classiques et même plus élevées compte tenu des faibles dosages en eau [55].

II.6.7 . Béton ordinaire : Mélange homogène composé exclusivement des constituants de base ciment, granulats, eau, avec un rapport (E/C) qui varie en fonction de la plasticité ainsi que de la résistance désirée. Le béton ordinaire est caractérisé par sa résistance à la compression qui se situe entre $20 \text{ Mpa} \leq f_{c28} \leq 50 \text{ Mpa}$ [55].

II.7. Formulation du béton :**II.7.1. Généralités :**

Formuler un béton consiste à déterminer un mélange optimal des granulats dont on dispose, ainsi que le dosage en fines (ciment, addition) et en eau afin d'obtenir les qualités recherchées pour la construction de l'ouvrage. De nombreuses méthodes ont été élaborées en fonction de l'évaluation des connaissances relatives aux constituants et de leur rôle, des technologies et de l'expérience acquise sur les chantiers.

Un point commun à toutes les études de composition consiste à rechercher conjointement deux qualités essentielles : l'ouvrabilité et la résistance.

Nous verront que les aspects relatifs à la notion de la durabilité sont abordés de façon normalisée dépendamment de l'environnement d'exposition.

Nous avons vu qu'un béton d'abord une suspension fortement concentrée de grains (gravillon, sable, ciment, addition) dans de l'eau. Bien que l'approche de compacité optimale puisse être faible de façon globale, il est en pratique, commode de distinguer le squelette granulaire inerte d'une part et la pâte d'autre part (mélange fines et l'eau). Par suite, une notion de dosage optimal en fines résultant du concept de compacité, existe et ne dépend que de la dimension maximale des granulats (D) et de la granulométrie de ces fines. La courbe granulométrique optimale des granulats est alors indépendante du liant si le dosage en fines est d'optimal [56]

La formulation d'un béton se résume alors en quatre étapes majeures :

- Détermination de la dimension maximale des granulats ;
- Détermination de la courbe granulométrique optimale des granulats ;
- Détermination du dosage en eau et air, en fonction de l'objectif d'ouvrabilité ;
- Et de détermination du dosage optimaux en fines, ciment et addition, en fonction des objectifs de résistances, et en respectant les prescriptions relatives à la durabilité.

II.7.2. Les différentes méthodes de formulation des bétons :

- Méthodes de BOLOMY.
- Méthodes d'ABRAMS.
- Méthodes de FAURY.
- Méthodes de VALETTE.

- Méthodes de JOISELE.
- Méthodes de DREUX GORISSE.

II.7.3. La méthode de DRAUX-GORISSE : [57]

Le choix de la méthode de formulation s'est fait en fonction des critères suivants :

- Une méthode assez simple et facile à utiliser.

II.7.3.1. Dosages Des Bétons :

a) **Détermination du dosage en ciment:** On évalue d'abord le rapport E/C en fonction de la résistance désirée sur la base de la formule :

$$R_b = G R_c \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right)$$

OU :

R_b : Résistance à la compression du béton prévue à 28 jours, en bars

G : Coefficient granulaire donné par le (Tableau .4), en fonction de la qualité et de la dimension maximale (D_{max}) du gravier

R_c : Classe vraie du ciment à 28 jours , en bars

Connaissant le rapport C \ E la fluidité désirée, qui est une donnée du problème, on peut déterminer le dosage en ciment d'après l'abaque (Figure 25)

Tableau .04: Valeurs de G coefficient granulaire

Qualité des granulats	Fine $D_{max} < 12.5 \text{ mm}$	Moyen $20 \text{ mm} < D_{max} < 31.5 \text{ mm}$	Gros $D_{max} > 50 \text{ mm}$
Excellent	0.55	0.60	0.65
Bonne, courants	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

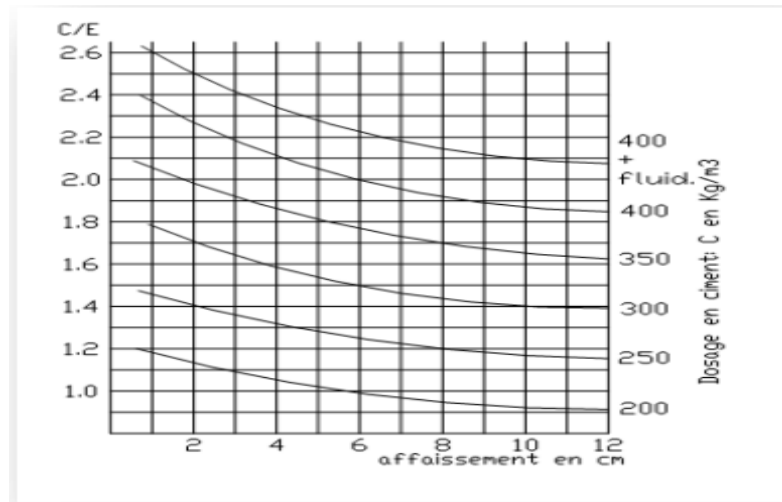


Figure .25 : Dosage en ciment.

b) Détermination du dosage en eau:

Connaissant C/E et le dosage en ciment (C) on déduit le dosage en eau total à prévoir par la formule

$$E = \frac{C}{\frac{C}{E}}$$

c) Détermination du dosage en granulat:

C'est le pourcentage de sable et de gravier exprimé à partir de la courbe granulométrique de référence construite par l'une des méthodes de composition de béton, (Figure. 26) ci-dessous courbe OAB. La courbe OAB, où B à l'ordonnée 100% correspond à la dimension D du plus gros granulat et le point de brisure A à des coordonnées ainsi définies comme suit :

• En abscisse:

Si $D \leq 20\text{mm}$ l'abscisse est $D/2$, Si $D \geq 20\text{mm}$ l'abscisse est située au milieu du segment, gravier limité par le module 38(5mm) et le module correspondant à (D_{\max})

• En ordonnée : Y donnée par la formule suivante :

$$Y = 50 - \sqrt{D} - K$$

K : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés (sur tout le sable, dont l'influence est prépondérante) et également du module de finesse du sable qui est donné par le (Tableau .5)

Tableau 05: valeur du terme correcteur K.

vibration	Faible		Normale		puissante	
	roulé	concassé	roulé	concassé	Roulé	Concassé
400+fluidifiant	-2	0	-4	-2	-6	-4
400	0	+2	-2	0	-4	-2
350	+2	+4	0	+2	-2	0
300	+4	+6	+2	+4	0	+2
250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur le même graphique que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun des granulats en joignant le point à 95% de la courbe du granulats suivant, et ainsi de suite. On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats g1, g2, g3 par exemple.

Si c'est le dosage en ciment, le volume absolu des grains de ciment est :

$$C = \frac{c}{\rho_c}$$

ρ_c : C'est la masse spécifique pour les grains du ciment Le volume absolu de l'ensemble des granulats est :

$$V = 1000\gamma - c$$

ou : γ : coefficient de compacité qui est donné par le (Tableau. 6)

Tableau .06 : coefficient de compacité

consistance du béton Frais	mode de serrage	G						
		D_{max} 5 mm	D_{max} 10 mm	D_{max} 12.5 mm	D_{max} 20 mm	D_{max} 31.5 mm	D_{max} 50 mm	D_{max} 80 mm
Molle	Piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810	0.815	0.820
	vibration faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815	0.820	0.825
	vibration normal	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
plastique	Piquage	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.830	0.830
	vibration faible	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.835	0.835
	vibration normal	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.835
	vibration puissante	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
Ferme	vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.840	0.840	0.845
	vibration normal	0.780	0.810	0.825	0.835	0.845	0.845	0.850
	vibration puissante	0.785	0.815	0.830	0.840	0.850	0.850	0.855

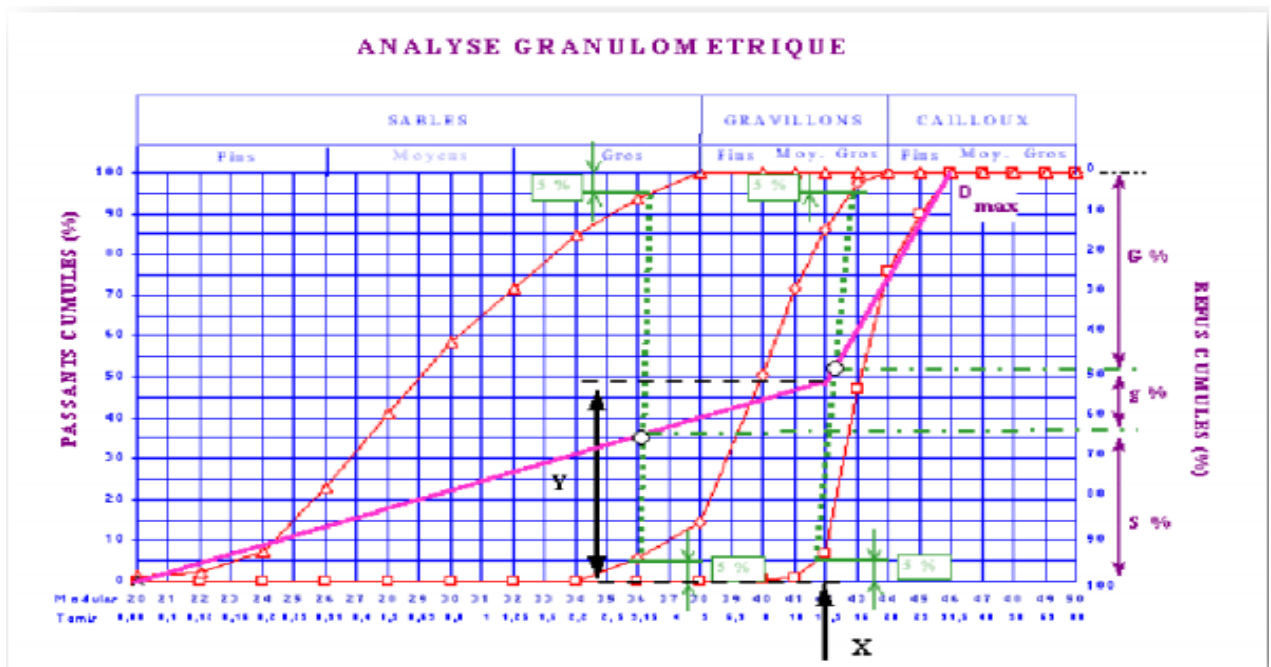


Figure .26 : la courbe granulaire de référence.

II.8. Les propriétés des bétons

II.8.1 Les propriétés des bétons à l'état frais

La période durant laquelle le béton demeure plastique n'est que temporaire. La résistance du béton, pour une composition donnée, est très affectée par le degré de compacité. Il est alors important que la consistance du béton soit ajustée de façon que le béton puisse être facilement transporté, mise en place, vibré et fini sans qu'il y ait de ségrégation.

II.8.1.1 Ouvrabilité

Définition de l'ouvrabilité

Un béton qui peut être mise en place et serré correctement est considéré comme ayant une bonne maniabilité.

On peut alors définir l'ouvrabilité ou la maniabilité par la propriété déterminant l'effort nécessaire pour manipuler une quantité de béton frais avec un minimum de perte d'homogénéité [58].

Mesure de la maniabilité du béton

Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. On n'en citera que quelques-uns qui sont les plus couramment utilisés dans la pratique.

Essai d'affaissement au cône d'ABRAMS NF P18 451

L'essai d'affaissement est le plus couramment employé pour le béton sur chantier. Cet essai est cependant très pratique pour détecter des variations de l'homogénéité d'un béton donné. On utilise un moule normalisé de 300 mm de hauteur, placé sur une surface lisse, la petite ouverture vers le haut, le cône est rempli de béton en trois couches. Chacune des couches est compactée par 25 coups d'une tige métallique normalisée.

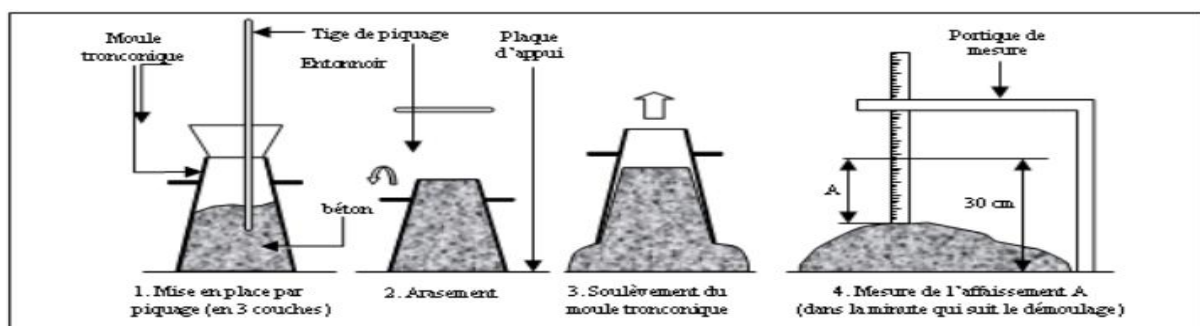


Figure 27. Mesure de l'affaissement au cône d'ABRAMS.

Après remplissage, le cône est relevé lentement et le béton s'affaisse. La différence entre la hauteur du béton affaissé et la hauteur du cône est l'affaissement; il est mesuré à 5 mm près (**voir figure 27**). Les valeurs approximatives d'affaissement en fonction de la maniabilité sont données dans le Tableau 7

Tableau 7 : Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme F	0 à 4	± 1 cm
Plastique P	5 à 9	± 2 cm
Très plastique TP	10 à 15	± 3 cm
Fluide Fl	≥ 16	

II.8.1.2. Masse volumique

Le béton ordinaire généralement employé pour les chaussées, les bâtiments et les autres ouvrages a une masse volumique de l'ordre de 2 200 à 2 400 kg/m³.

La masse volumique du béton varie en fonction de la quantité et de la densité des granulats, des quantités d'air emprisonné ou entraîné, du dosage en eau et en liants (qui dépend lui-même, de la taille maximale de gros granulat).

Le fait de réduire la teneur en pâte de ciment (d'accroître le volume de granulat) augmente la masse volumique. La valeur de cette dernière est importante dans le calcul des ouvrages en béton armé.

La mesure de la masse volumique est très simple. Il suffit de mesurer la masse de béton versé dans un contenant de volume bien déterminé. La masse volumique est donnée par le rapport de la masse de béton sur le volume du contenant. Il est clair que pour les bétons à air entraîné, la masse volumique diminue en fonction du pourcentage d'air.

La masse volumique se déduira alors de :

$$MV = \frac{M}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

II.8.2. Les propriétés des bétons à l'état durci

II.8.2.1. Résistances mécaniques

Essais destructifs

Les résistances sont mesurées sur des éprouvettes cylindriques, cubiques ou prismatiques, les plus fréquemment utilisés sont les moules cylindriques.

Résistance en compression Norme (NF EN 18-455)

On peut définir la résistance en compression comme la mesure de la résistance maximale d'une éprouvette cylindrique ou cubique de béton ou de mortier sous une charge axiale. Elle est généralement exprimée en méga pascals (MPa).

Principe de l'essai :

Les éprouvettes étudiées sont soumises à une charge croissante jusqu'à la rupture. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette. [59].

Résistance en traction NF EN 12390-6

Généralement le béton est un matériau travaillant bien en compression, mais on a parfois besoin de connaître la résistance en traction, en flexion, au cisaillement. La résistance en traction à 28 jours est désignée par f_{t28} . Plusieurs essais peuvent être réalisés :

a) Résistance en traction directe NF EN 13286-40

La mesure se fait par mise en traction de cylindres identiques à celle de la résistance en traction par fendage, mais l'essai est assez délicat à réaliser car il nécessite, après sciage des extrémités, le collage de têtes de traction parfaitement centrées, l'opération devant avoir lieu sans aucun effort de flexion parasite.

b) Résistance en traction par fendage NF EN 12390-6

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse. Cet essai est souvent appelé "Essai Brésilien".

Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du diamètre vertical, la résistance en traction sera (voir figure. 28) [60].

$$F = \frac{2P}{\pi LD}$$

P = la charge (MPa)

D et L = diamètre et longueur du cylindre.

c) Résistance en traction par flexion (NF EN-12390-5)

Les essais les plus courants sont des essais de traction par flexion. Ils s'effectuent en général sur des éprouvettes prismatiques de côté a et de longueur $4a$, reposant sur deux appuis:

Soit sous charge concentrée unique appliquée au milieu de l'éprouvette (moment maximal au centre).

Soit sous deux charges concentrées, symétriques, égales, appliquées au tiers de la portée (moment maximal constant entre les deux charges) [60].

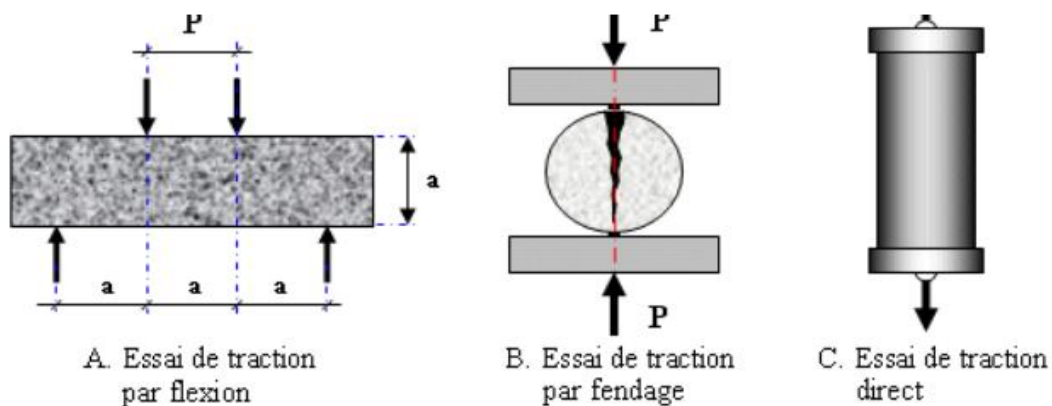


Figure. 28. Différents essais sur les résistances d'un béton en traction.

II.9. DURABILITE :

II.9.1. DEFINITION DE LA DURABILITE :

La durabilité d'un béton est de pouvoir conserver sa résistance et de continuer de remplir sa fonction tout au long de sa durée de vie utile pas à une durée indéfinie, il en résulte que le béton doit résister aux mécanismes de dégradation aux quels il peut être exposé, tels que les cycles de gel-dégel et certaines formes d'attaques chimiques. La mauvaise durabilité se manifeste par une détérioration qui peut résulter de facteurs externes ou de phénomènes internes du béton. Les actions peuvent être mécaniques, physiques ou chimiques. Ces dernières sont causées par les réactions alcali-silice et alcali carbonate, les attaques chimiques externes sont causées par la présence d'ions agressifs tels que les chlorures, les sulfates et les gaz carboniques ainsi que de nombreux gaz et liquides d'origines naturelles ou industrielles. Il convient de noter avant toutes choses que la détérioration du béton est rarement attribuable à

une seule cause : le béton peut souvent se comporter de façon satisfaisante en dépit de certaines déficiences, mais lorsqu'un facteur défavorable s'ajoute, les désordres apparaîtront. [61].

II.9.2. Dégradations par l'attaque chimique :

La durabilité est tout aussi importante que les caractéristiques mécaniques pour le matériau béton. Cette propriété est définie (dans un cadre très général) par la capacité du matériau à maintenir ses caractéristiques physiques et performances mécaniques dans des conditions de sécurité satisfaisantes pendant la durée de vie prévue pour l'ouvrage compte tenu des conditions de services existantes et de l'environnement dans lequel il évolue. Le paramètre régissant la durabilité est bien entendu la perméabilité. Plus cette dernière est réduite et mieux sa durabilité en sera augmentée.

Pour évaluer la durabilité « potentielle » d'un béton, il est nécessaire de connaître les mécanismes susceptibles de conduire à sa dégradation, et la résistance du matériau vis-à-vis de ces dégradations [62].

Les principaux processus chimiques à la base des dégradations du béton, pour la majorité des attaques chimiques, sont généralement regroupés en **trois catégories** :

- A- L'hydrolyse ou la lixiviation (dissolution) des hydrates.
- B- Les échanges ioniques entre les hydrates et le milieu agressif.
- C- La formation de produits expansifs à l'intérieur du béton.

La cause principale de toutes les dégradations d'origine chimique est la possibilité de pénétration ou d'écoulement des fluides dans le béton. La mobilité des fluides à travers le béton est appelé la perméabilité. L'absorption est le résultat des mouvements capillaires dans les pores du béton qui sont ouverts sur le milieu ambiant. Donc la durabilité du béton dépend de la perméabilité du béton et par suite de sa porosité, plus la porosité diminue, plus la perméabilité diminue, cette faible perméabilité retarde la pénétration des fluides agressifs.

II.9.3. PRÉSENTATION DES ESSAIS EXPERIMENTAUX :

- Différents essais ont été effectués afin de déterminer les propriétés de béton témoin et béton modifié par granulats de plastiques et comparer ceux-ci aux propriétés de béton ordinaire.
 - ✓ Parmi ces expériences, nous mentionnons :

II.9.3.1. L'absorption :

L'absorption est un phénomène physique par lequel un liquide migre de l'extérieur vers l'intérieur d'un milieu poreux grâce à un phénomène de remontées capillaires. L'absorption entraîne un gain de masse du matériau. L'absorption n'est possible que si les capillaires du réseau poreux communiquent pour permettre le transfert de l'eau : on parle alors de porosité ouverte ou connectée (les vides sont inter communicants). Lorsque le matériau contient des pores emprisonnés comme dans le cas du béton cellulaire, on parle de pores occlus (porosité close ou porosité vacuolaire dénommée aussi porosité résiduelle).

Ces pores ne participent pas au phénomène d'absorption (Figure. 29).

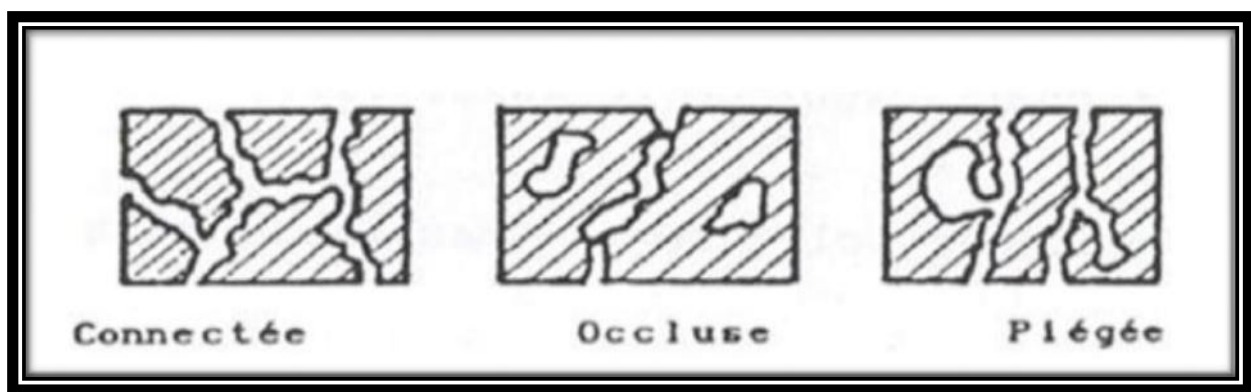


Figure .29 : Les trois types de porosité présente dans les matériaux [63].

II.9.3.2. L'essai d'absorption d'eau des bétons :

a.1) Absorption par immersion totale : La norme NBN B15-215[64]

L'absorption d'eau par immersion totale est déterminée selon la norme **NBN B 15-215** [48] Le principe de l'essai consiste à déterminer la variation de la masse d'un échantillon de béton immergé dans un bac d'eau jusqu'à une masse constante, soit la masse $M1$ - après séchage à 60°C , soit la masse $M2$

L'absorption d'eau par immersion AW est exprimée en pourcentage de la masse sèche et est calculée par la relation suivante :

$$A w = \frac{M1 - M2}{M2} * 100\%$$

Les résultats obtenus sur 04 éprouvettes de chaque type du béton sont exprimés, en pourcentage, sous la forme de la moyenne de trois valeurs mesurées.



Figure .30 : Échantillons complètement immergés dans l'eau.

a.2) Absorption d'eau par capillarité : [65] La norme NF EN 15801

L'essai d'absorption d'eau par capillarité mesure le taux d'absorption de l'eau par succion capillaire des éprouvettes du béton non saturées, mises en contact avec de l'eau sans pression hydraulique. Il est utilisé en complément à d'autres essais pour caractériser la durabilité du béton et du mortier [65].

Conduite de l'essai

Après démoulage, les éprouvettes cubiques du béton (10×10×10) cm³ sont conservées jusqu'à l'âge de 28 jours dans l'eau. Elles sont ensuite extraites de l'eau et conservées dans une étuve ventilée à 60°C jusqu'à une masse constante. Ensuite les faces latérales des éprouvettes sont imperméabilisées par la résine dont le but de forcer l'eau à adopter un cheminement uni-axial et éviter l'évaporation par ces mêmes faces. Après le séchage complet de la résine, les éprouvettes sont immergées dans une nappe d'eau de hauteur 3mm durant 48h.



Figure. 31: Eprouvettes imperméabilisées l'essai

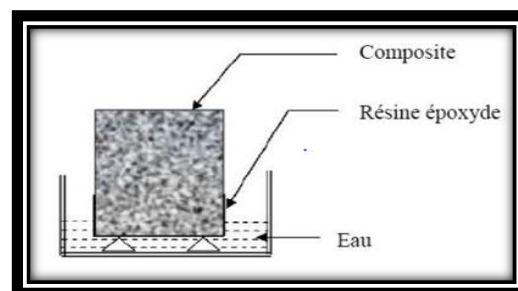


Figure .32: Schéma du dispositif de d'absorption capillaire.

L'essai d'absorption capillaire a été réalisé conformément au mode opératoire de la norme européenne NF EN 480-5 et consiste à déterminer la quantité d'eau absorbée par le béton en fonction du temps (1min, 4min, 9min, 16min, 25min, 36min, 49min, 64min, 2h, 4h, 8h, 24h, 48h) À chaque échéance, les éprouvettes sont sorties du récipient, essuyées à l'aide d'un chiffon humide, pesées puis replacées dans le récipient.

Pour une échéance donnée, l'absorption capillaire « CA » est exprimée en grammes par millimètre carré (g/mm^2), par la formule suivante :

$$CA = \frac{M_j - M_o}{S \cdot t}$$

Avec :

M_o : masse sèche de l'éprouvette avant immersion dans l'eau en gramme.

M_j : masse de la même éprouvette après le temps requis d'absorption en grammes.

S : section de la base de l'éprouvette en millimètre c'est-à-dire 100mm.

II.9.3.3. Porosité accessible à l'eau : La norme NF P 18-459

La porosité accessible à l'eau est un paramètre de premier ordre dans l'évaluation et la prévision de la durabilité. C'est en effet un indicateur de durabilité au sens du document publié par l'AFGC en 2004

Parmi les méthodes à disposition, la détermination de la porosité accessible à l'eau par pesée hydrostatique.

$$P_0 = \frac{V_0}{V_a} = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}}$$

Après conservation des éprouvettes 10x10x10 cm³ dans l'eau à température ambiante jusqu'à l'échéance de 28 jours, et en utilisant une balance hydrostatique, soit :

- M_{eau} : la masse de l'éprouvette immergée dans l'eau

- *M_{air}* : la masse de l'éprouvette dans l'air alors qu'il est encore imbibé (masse saturée dans l'air)

- *M_{sec}* : la masse de l'éprouvette après séchage a une température 105 ± 5 °C jusqu'à une masse constante.

II.10. CONCLUSION :

Dans ce deuxième chapitre de la partie bibliographique, nous avons couvert plusieurs points

Ce qui peut être résumé comme suit:

- ✓ Découvrez le béton, ses composés, ses types et son domaine d'utilisation.
- ✓ Obtenez une idée des méthodes de calcul de formulation du mélange de béton .
- ✓ Etudier les paramètres de la durabilité du béton sous l'influence d'une attaque chimique.

Partie II : Partie pratique

CHAPITRE I : CARACTERISATION DES CONSTITUANTS

I.1. Introduction :

Une utilisation judicieuse des matériaux de construction nécessite la connaissance de leurs diverses propriétés; Physique et mécanique, afin d'obtenir le meilleur choix pour son usage. Les informations sur les matériaux utilisés doivent être recueillies par des techniques fiables, de préférence pour des tests standardisés. Par conséquent, les points précédents doivent être clarifiés avant de présenter les résultats obtenus. Pour cela, ce chapitre présente les propriétés des matériaux utilisés dans cette étude.

I.2. Matériaux utilisés :

Les différents constituants utilisés pour l'élaboration de nos bétons sont :

- Un ciment de type CPJ-CEM IIA 42,5 (Ain Touth))
- Un gravier 3/8 provenant de la carrière d'Ain Touth (wilaya de Batna)
- Un gravillon 8/16 provenant de la carrière d'Ain Touth (wilaya de Batna)
- Un *sable concassé* 0/5) Ain Touth)
- Granulats plastiques PEHD : Les particules de plastique HDPE sont commercialisées en sacs de 25 Kg fabriqué en Arabie Saoudite, fournis par un fournisseur algérien à Ora. Ces particules de forme régulière et presque de même taille dont l'épaisseur moyenne est d'environ 1 mm. (Voir l'analyse granulométrique)
- Eau de gâchage (eau du robinet)



gravier 8/16

gravier 3/8

sable concassé

granulats de plastiques



Ciment



eau du robinet

Figure .33 : Les matériaux utilisés.

I.2.1. Liant « CIMENT PORTLAND COMPOSE CEM II/A-L 42.5 » :

Le ciment portland composé est produit en broyant le clinker qui se compose essentiellement de silicate de calcium avec le gypse comme ajout constitué de différentes formes de sulfate de calcium. Tous les bétons ont été fabriqués avec un ciment provenant de la cimenterie de Ain Touta (wilaya de Batna) à savoir le **CEM II/A-L 42.5**

I.2.1.1. Composition chimique :

L'analyse chimique du ciment a été effectuée au niveau du laboratoire de la cimenterie de Ain-Touta (Batna) selon la norme (**NF EN 196-2**).

-Les résultats sont donnés dans le tableau .8:

Tableau .08 : composition chimique du ciment utilisé [**FICHE TECHNIQUE**].

Elément	Teneur%
SiO₂	20.65
Al₂O₃	4.92
Fe₂O₃	2.97
CaO	59.4
MgO	1.01
K₂O	0.80
Na₂O	0.19
SO₃	2.75
Cl	0.02
Perte au feu	6.02
Ca O libre	0.78
Résidus insolubles	0.6
Composition potentiel de clinker C3A	8.7

I.2.1.2. Propriétés physiques :

Tableau 09 : Caractéristiques du ciment [FICHE TECHNIQUE].

Nomination		CEM II/A-L 42.5
Caractéristiques		
Masse Volumique Apparente (g/cm ³)		1.05
Masse volumique Absolue (g/cm ³)		3.03
Surface spécifique (BLAINE) (cm ² /g)		3495
Temps de prise	Début	02h27
	Fin	03h27

I.2.1.3. Caractéristiques Physico-mécaniques :

Tableau .10: Propriétés du ciment du fiche techniques.

Désignations		Unités	Garanties	Mesures
Poids Spécifiques		g/cm ³	-	3.03
Surface Spécifiques Blaine		Cm ² /g	-	3495
Consistance Normale		%H ₂ O	-	26.04
Temps De Prise	Début	h : min	≥ 1h: 00	2h27
	Fin	h : min	-	3h27
Expansion à Chaud		Mm	≤ 10	0.65
Refus sur tamis45		%	-	10.20
Chaleur d'hydratation	120 heures	j/g	≤270 j/g	LH
Résistance à la flexion	02 jours	Mpa	-	5.00
	07 jours	MPa	-	6.77
	28 jours	Mpa	-	7.80
Résistance à la compression	02 jours	Mpa	≥20.00	23.70
	07 jours	Mpa	-	37.03
	28 jours	Mpa	≥42.50	47.14

a.1) Masses volumiques des liants [NF P 18-554 et 555]:

❖ masses volumiques apparentes :

➤ Mode Opérateur :

- Placer l'entonnoir au dessus de la mesure de 1 litre.
- Fermer l'opercule.
- Verser environ $m(g)$ de liant sur la passoire et la faire descendre dans l'entonnoir à l'aide de la spatule.
- Ouvrir l'opercule, le liant tombe dans la mesure. Refermer l'opercule.
- Recommencer avec de nouvelles quantités du liant, jusqu'à ce que le bol déborde.
- Araser à la règle et peser le contenu. Soit M .

- La masse volumique apparente est:

$$\rho_c = M/V$$



Figure.34: Procédé utilisé pour la mesure de la masse volumique apparente du liant.

Tableau .11 : La masse volumique apparente du liant

Essai	M0(g)	M1(g)	V(cm ³)	$\rho_{app}(g/ cm^3)$	$\rho_{app_{moy}}(g/ cm^3)$
1	299.49	1352.41	1000	1.05	1.03
2	299.49	1333	1000	1.03	
3	299.49	1325.44	1000	1.02	

2/ masses volumiques absolues :**➤ Mode Opérateur :**

- Peser le pycnomètre vide m 1.
- Peser le pycnomètre rempli de Toluène jusqu'au trait repère soit m 2.
- Peser 40g de ciment (chaux) soit m 4 .
- Introduire le corps dans le toluène après avoir vider le pycnomètre à moitié.
- Éliminer l'air et remplir de Toluène au trait repère peser m5.

Résultats :

Les données :

M1=masse du pycnomètre vide (113.30g).

M2=masse du pycnomètre remplie d'eau distillée (362.7g).

M3=masse du pycnomètre remplie du toluène (294.89g).

M4=masse du ciment (40g).

M5=masse du pycnomètre contenant une masse (m4) du ciment et complété avec le toluène (325.22g)

Avec :

- Le volume du pycnomètre : $V_{PC} = (m_2 - m_1) / \rho(\text{eau})$.
- La Masse volumique du toluène : $\rho_T = (m_3 - m_1) / V_{pc}$.
- La masse de toluène remplacé par le ciment est :

$$V_c = m_t / \rho_T \quad / m_t = m_3 - (m_5 - m_4).$$

- La masse volumique absolue du ciment :

$$\mathbf{P_c = m_4 / V_c}$$

Clacul:

$$V_{pc} = (362.7 - 113.30) / 1 = 249.4 \text{ cm}^3$$

$$\rho_T = (294.89 - 113.30) / 249.4 = 0.728 \text{ g/cm}^3$$

$$V_C = (294.89 - (325.22 - 40)) / 0.7281 = 13.281 \text{ cm}^3$$

$$P_c = 40 / 13.281 = 3.01181 \text{ g/cm}^3$$

Tableau .12: La masse volumique absolue du liant est :

$$Pc = M4/Vc (g/ cm3)$$

Essai	Vpc(cm ³)	gt(g/cm ³)	Vc(cm ³)	Pc(g/cm ³)
1	249.4	0.728	13.281	3.01181

Tableau.13: Caractéristiques du ciment

Masse Volumique Apparente (g/cm3)	Masse Volumique Absolue (g/cm3)
1.03	3.01

I.2.2. Les granulats :

I.2.2.1. Les graviers :

a) Caractérisation des graviers utilisés :

Pour l’élaboration des bétons, nous avons utilisé deux types de graviers concassés. Un gravillon 3/8 et un gravier d’étendue granululaire 8/16.



3/8

8/16

Figure .35: granulats naturel (gravier).

Ces deux matériaux ont fait l'objet des essais de caractérisations suivants :

a.1) Masse volumique

a.2) la teneur en eau des graviers

a.3) Analyse granulométrique

a.4) Essai Los Angeles

Les procédures ainsi que les résultats de ces essais sont développés dans le paragraphe suivant.

a.1) masse volumique des graviers selon la norme [NF P 18-554 et 555]:

1/Masse volumique apparente :

La masse volumique apparente est la masse du matériau par unité de volume en vrac, c'est-à-dire "vides" compris. Principe de la mesure :

La mesure de la masse volumique apparente d'un gravier consiste à verser le granulat «sec» dans un récipient de volume connu en le disposant, sans tasser, par couches horizontales successives, d'araser la dernière couche par un mouvement de va et vient à l'aide d'une réglette .

➤ **Matériels utilisés :**

Une balance avec une précision de 0.01g.

Un récipient avec un volume de 5 litre.

Une règle à araser.

➤ **Mode opératoire :**

- Peser le récipient vide et taré.
- Prendre le matériau (gravier) dans les deux mains formant un entonnoir.
- Placer les deux mains à hauteur d'environ 10 cm au-dessous de récipient.
- Verser le matériau au centre de récipient jusque qu'il soit rempli et débord au tour.
- Araser avec la règle sans compacter le matériau.
- Peser le contenu et noter la masse M.
- Répéter l'opération 3 fois afin de valider l'essai.

- La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

$$M_v = (M/V)$$

Avec :

M = masse des granulats contenus dans le récipient,

V = volume du récipient.



Figure .36: Procédé utilisé pour la mesure de la masse volumique apparente des graviers.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau (14) :

Tableau .14 : Masse volumique apparente du gravier.

Gravier	N° d'essai	M (g)	V (L)	ρ_{app} (g/cm ³)	ρ_{app} moy (g/cm ³)
3/8	1	6454.1	5000	1.29	1.3
	2	6603.7	5000	1.32	
	3	6462.2	5000	1.29	
8/16	1	6725.2	5000	1.34	1.33
	2	6660.4	5000	1.33	
	3	6723.7	5000	1.34	

2/Masse volumique absolue :

La masse volumique absolue(ρ) est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains.

Principe de la mesure :

Pour déterminer la masse volumique absolue de nos graviers, nous avons utilisé la méthode dite de l'éprouvette graduée, dont nous exposons ci-après le principe.

*Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau. Peser un échantillon sec "M" de granulats et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.

* Le liquide monte dans l'éprouvette, lire le nouveau volume V_2 (**Figure .40**).

La masse volumique absolue se déduit alors à partir de l'expression suivante :

$$\rho = (M/v_2 - v_1)$$

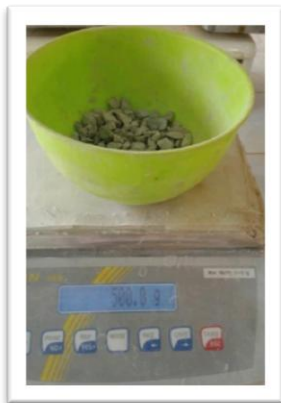


Figure .37: *Mesure de la masse volumique absolue des graviers.*

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau (.15)

Tableau .15 : *Masse volumique absolue du gravier.*

Gravier	N° d'essai	M (g)	V1 (L)	V2 (L)	pabs (g/cm3)	Pabs moy (g/cm3)
3/8	1	300	600	715	2.6	2.53
	2	400	700	860	2.5	
	3	500	800	1000	2.5	
8/16	1	400	700	850	2.6	2.63
	2	300	600	710	2.7	
	3	200	500	575	2.6	

a.2) Mesure de la teneur en eau des graviers selon la norme NA255:

Il est important de déterminer la teneur en eau des granulats afin de faire une correction de la quantité d'eau à incorporer dans le béton. La méthode de mesure consiste à prélever une quantité donnée de granulats mouillés, de faire évaporer cette eau et de peser la quantité de granulat sec. La différence de ces deux pesées définit la quantité d'eau évaporée, d'où la teneur en eau (figure 38). La teneur en eau, notée "ω est donnée par la relation suivante :

$$W = (M_h - M_s / M_s) * 100$$

Avec :

M_h = poids de granulat humide,

M_s = poids de granulat sec.



Figure .38: Détermination de la teneur en eau des graviers.

✓ Les résultats des essais sur les graviers sont reproduits sur le tableau 16

Tableau .16 : Degré d'absorption d'eau des agrégats (3/8), (8/16) :

Graviers	N°d'essai	M _s	M _h	W	W _{moy}
3/8	01	700	709,06	1,29	1.29
	02	700	709,77	1,39	
	03	700	708,53	1,21	
8/16	01	700	712	1,71	1.56
	02	700	711	1,57	
	03	700	710	1.42	

a.3) Analyse granulométrique par tamisage EN 12620:

➤ **But de l'essai :**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons, en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.



Figure.39 : La tamiseuse utilisée.

➤ Principe de l'essai :

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.

Tableau .17: *Tamis utilisés pour le tamisage des graviers.*

Fraction	Tamis utilisés (exprimé en mm)
3/8	(8 - 6,3 – 5 - 4 - 3.15 - 2.5 - et le fond)
8/16	(16 - 12.5 – 10 -8 - 6.3 - le fond)

✓ Les résultats des essais sur les graviers sont reproduits sur les tableaux 18 et 19

Tableau .18 : L'analyse granulométrique de gravier concassé (3/8).

Tamis	Essai	Refus cumulé	R' (%) Partiel	Tamis (%)
8	0	0	0	100
6.3	1039.2	1039.2	51.96	48.04
5	463.4	1502.6	75.13	24.87
3.15	462.1	1964.7	98.23	1.77
2.5	27.7	1992.4	99.62	0.38
Fond	6.6	1999	99.95	0.05

Tableau 19 : L'analyse granulométrique de gravier concassé (8/16).

Tamis	Essai	Refus cumulé	R' (%) Partiel	Tamis (%)
16	0	0	0	100
12.5	355.7	355.7	17.78	82.22
10	1044	1399.7	69.98	30.02
8	474.8	1874.5	93.72	6.28
6.3	12.1	1986.6	99.33	0.67
Fond	11.9	1998.5	99.92	0.08

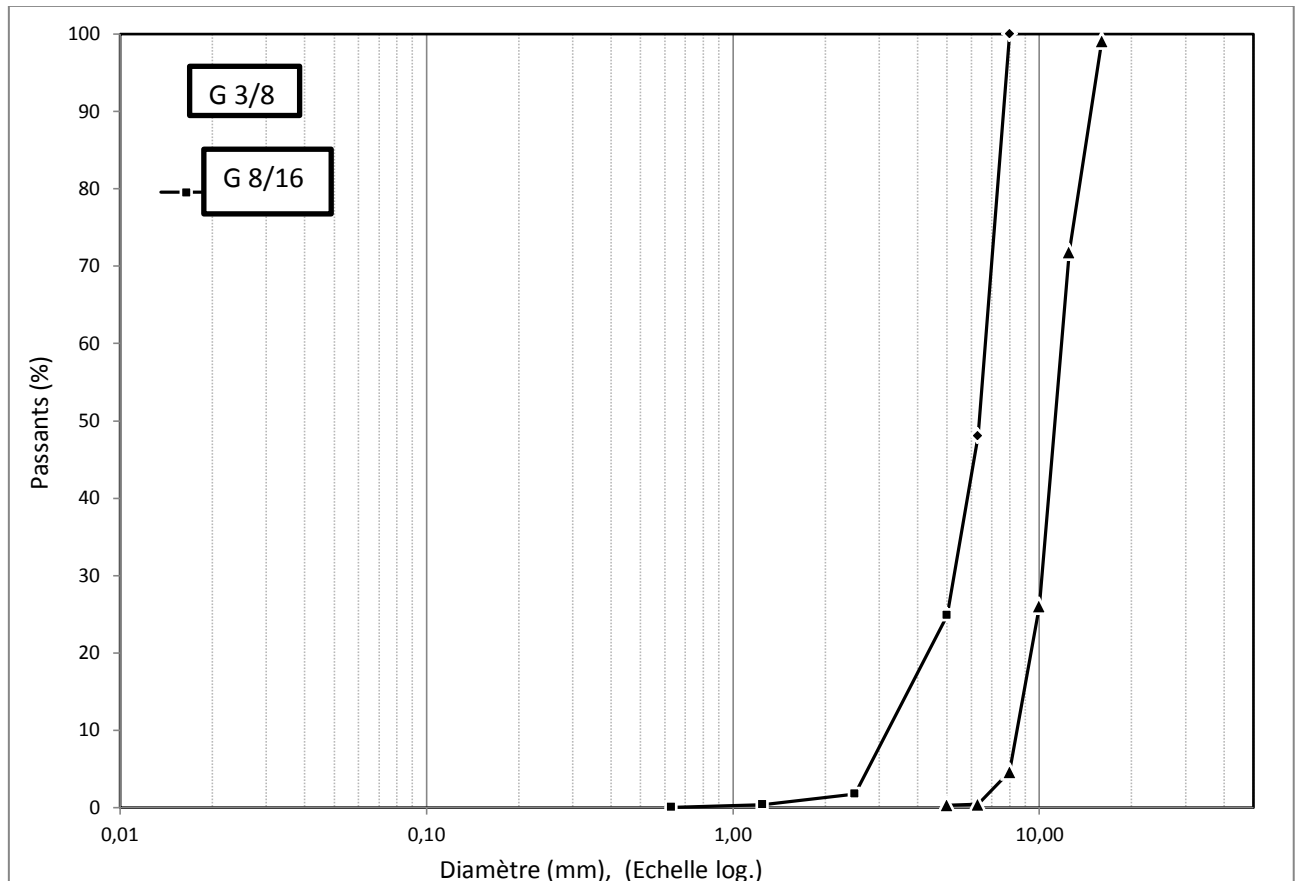


Figure .40: Courbe granulométrique des granulats concassés (3/8), (8/16).

a.4) Essai Los Angeles : (NF P 18-573)

Comme l'essai précédent, cet essai renseigne sur la dureté des roches se basant sur un coefficient, appelé coefficient Los Angeles **LA**, et sur le principe de l'effritement par abrasion.

➤ Principe de l'essai:

L'essai consiste à mesurer la masse m d'éléments inférieurs à **1.6 mm**, produits par la fragmentation du matériau testé (diamètres compris entre **4** et **50 mm**) et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles en **500** rotations.

Formulation: Si M est la masse du matériau soumis à l'essai et m la masse des éléments inférieurs à **1.6 mm** produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation aux chocs s'exprime par le coefficient Los Angeles (**LA**) :

$$LA = (m/M) \cdot 100$$

✓ Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau .20: Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé.

<i>Fraction de Gravier</i>	<i>Nombre de boules</i>	M (Kg)	m (Kg)	Coef LA %
Gravier 3/8	7	5	1.050	21%
Gravier 8/16	11	5	0.942	19%

Classification : Un tableau de classification a été déjà tracé. Il permet de classer les roches en fonction du coefficient Los Angeles.

Tableau .21: Estimation de la dureté des agrégats en fonction du coefficient LA

Coefficient LA	Nature de la roche
< 20	Très dure
20 à 25	Dure
25 à 30	Assez dure
30 à 40	Mis dure
40 à 50	Tendre
> 50	Très tendre

Commentaire :

- Le gravier (3/8) :c'est un gravier dure (LA=21 %) / (LA entre 20 à 25),
- Le gravier (8/16) :c'est un gravier très dure (LA=19 %) / (LA < 20)



Figure .41 : Essais de Los Angeles.

Tableau .22: résultats de l’essai sur le gravillon 3/8 et 8/16

Essai	Résultats des mesures	
	3/8	8/16
Masse volumique apparente (kg/m ³)	1.3	1.33
Masse volumique absolue(kg/m ³)	2.53	2.63
Teneur en eau(%)	1.29	1.56
Essai Los Angeles	21%	19%
Analyse granulométrique	(voir figure .40)	

I.2.2.2. Le sable :

a) caractérisation du sable utilisé

Les sables entrent dans la composition des mortiers, des bétons, des matériaux préfabriqués où ils participent à la résistance à l’écrasement, d’où la recherche d’un sable dur, et compact. C’est souvent par la médiocre qualité du sable que périclitent les bétons. Il faut que les grains de sable demeurent plus durs que la pâte de ciment durci qui les enveloppe : ils donnent de la cohésion au mélange, mortier ou béton. Concernant le sable, nous avons procédé aux essais suivants :

a.1)Masse volumique

a.2) La teneur en eau du sable

a.3) L’équivalent de sable

a.4)Analyse granulométrique

a.1) masse volumique du sable selon la norme [NF P 18-554 et 555] :

1/Masse volumique apparente

C’est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existant entre les grains.

➤ **Matériels utilisés :**

- Une balance avec une précision de 0.01g.
- Un récipient avec un volume de 1 litre.

- Une règle à araser
- **Mode opératoire :**
 - Peser le récipient vide et tarer.
 - Prendre le matériau (sable) dans les deux mains formant un entonnoir.
 - Placer les deux mains à hauteur d'environ 10 cm au-dessous de récipient
 - Verser le matériau au centre de récipient jusque qu'il soit rempli et débord au tour.
 - Araser avec la règle sans compacter le matériau.
 - Peser le contenu et noter la masse M.

*Répéter l'opération 3 fois afin de valider l'essai.



Figure .42: *Mesure de la masse volumique apparente du sable concassé.*

- La masse volumique apparente à l'état lâche est déterminée par la formule suivante :

$$M_{app} = M/v$$

- ✓ Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau (23) :

Tableau .23: *Masse volumique apparente du sable concassé*

N° d'essai	M (g)	V (mL)	M _{app} (g/cm ³)	M _{app} moye (g/cm ³)
1	1517.31	1000	1.51	1.52
2	1529.95	1000	1.52	
3	1532.43	1000	1.53	

2/Masse volumique absolue

- **Mode opératoire :**

Pour déterminer la masse volumique absolue de notre sable concassé, nous avons utilisé la méthode dite de l'éprouvette graduée, dont nous exposons ci-après le principe.

*Remplir une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau. Peser un échantillon sec "M" de granulats et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.

* Le liquide monte dans l'éprouvette, lire le nouveau volume V2 (**Figure .43**).

*La masse volumique absolue se déduit de l'expression suivante :

$$\text{Mabs} = M / (v2 - v1)$$

Avec : M=200 g Les résultats sont présentés dans le tableau (24) :



Figure .43: *Mesure de la masse volumique absolue du sable concassé.*

Tableau .24: *Masse volumique absolue du Sable concassé*

N° d'essai	M(g)	V1(mL)	V2(mL)	Mabs(g/cm)	Mabs moye(g/cm)
1	200	600	680	2.5	2.5
2	200	700	780	2.5	
3	200	800	880	2.5	
4	200	900	980	2.5	

a.2) Teneur en eau selon la norme NA451:

La méthode de mesure consiste à prélever une quantité donnée de granulats mouillés, de faire évaporer cette eau et de peser la quantité de granulat sec. La différence de ces deux pesées définit la quantité d'eau évaporée. La teneur en eau, notée «w» est donnée par :

$$W = (M_h - M_s / M_s) * 100$$

M_h = poids des granulats humides.

M_s = poids des granulats secs.



Figure.44: Détermination de la teneur en eau par étuvage.

Tableau .25 : Degré d'absorption d'eau du sable concassé

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	A	A
1	300	307.98	2.66	2.67
2	300	308.66	2.88	
3	300	308.86	2.95	

Selon le mode opératoire défini dans les normes NF P18- 554 et NF P18- 555, la limite supérieure du coefficient d'absorption d'eau du granulat est fixée à 5%, c'est –à- dire Ab <5%. Donc, dans notre cas, cette propriété est vérifiée. La norme NF P 18 541 fixe comme valeur maximale 5%, pour les bétons classiques, ce qui est peut-être insuffisamment sévère, valeur d'ailleurs ramenée à 2,5% pour les bétons de résistance caractéristique supérieure à 36 MPa

Observation :

Exceptionnellement, pour certaines utilisations, cette valeur est abaissée à 2%.

a.3) Essai d'équivalent de sable : (NF P 18-598)

Le test est important et il vise à mesurer la propreté du sable. Le test est réalisé sur une fraction de 0/5 mm du matériau à étudier. Le tamisage est réalisé de manière humide pour ne pas perdre les micro-éléments. L'échantillon est lavé (selon un processus standard). Pour cela, on utilise une solution qui a un rôle dans la séparation des éléments fins d'argile et la floculation. Après décantation, on mesure la hauteur des granulés frittés (sable propre + éléments fins = h_1) et la hauteur de sable propre (h_2 si avec le piston ou h_2 si avec la base).

Mode opératoire :

- Remplissage de la solution jusqu'au premier trait,
- Une masse de sable 120g (sec) est introduite dans l'éprouvette,
- Imbibition du sable pendant 10mn dans la solution,
- Eprouvette secouée (60 cycles en 30 secondes), lavage du sable avec la solution,
- Et remplissage jusqu'au deuxième trait,
- Début de la décantation, durée 20mn,
- Mesure de la hauteur de sable h_1 de l'ensemble sable plus floculat,
- Mesure à vue la hauteur,
- Mesure de la hauteur du sable h_2 au piston.

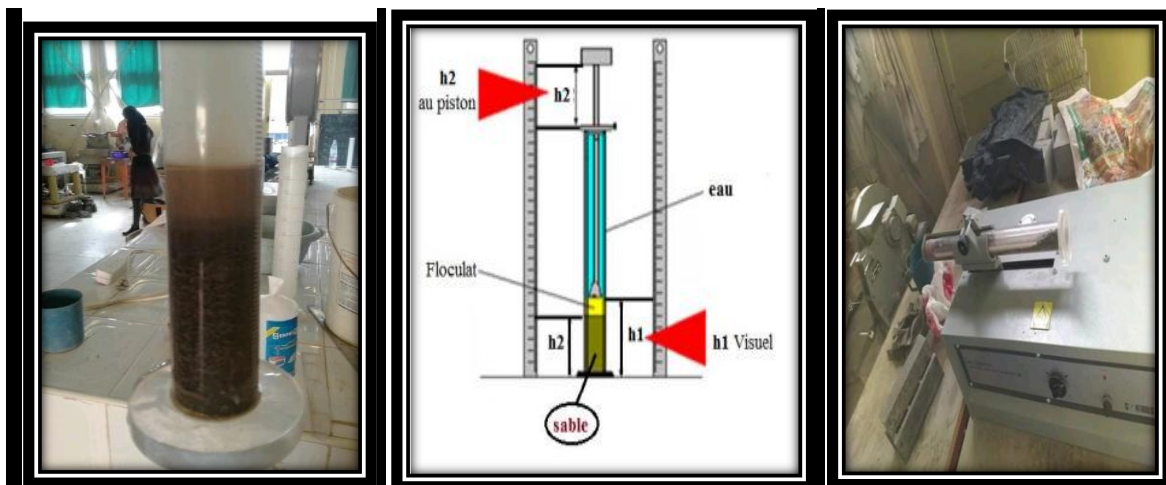


Figure .45: Mesure de la propreté du sable (ES).

A. Equivalent de sable visuel (E.S.V) :

- Après 20 min de dépôt, lire la hauteur h_1 , de niveau supérieure de flocculat jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règle.
- Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 compris entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire du fond de l'éprouvette.

$$E_{sv} = (h_2/h_1)*100(\%)$$

Avec :

h_1 : hauteur du sable plus flocculat

h_2 : hauteur du sable.

B. Equivalent de sable piston (E.S.P) :

- Introduire le piston dans l'éprouvette et la laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, à cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.

$$E_{sp} = (h_2'/h_1)*100(\%)$$

Avec :

h_1 : hauteur du sable plus flocculat.

h_2' : hauteur du sable.

Tableau .26: Equivalent du sable

<i>N° d'essai</i>	h1 (cm)	h2 (cm)	ESV(%)	E.S.V moy (%)	h'2(cm)	ESP(%)	E.S.P moy (%)
1	8.9	9.8	90.81	91.12	8.6	87.75	88.73
2	8.9	9.7	91.75		8.7	89.69	
3	8.9	9.8	90.81		8.7	88.77	

✓ (ESV) moy= 91.12 %

✓ (ESP) moy= 88.73%

Donc: 85%. < ESV

80 < ESP

Tableau .27: Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable ESV et ESP.

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
ES<65	ES<60	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65<ES<75	65<ES<70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75≤ES≤85	70≤ES≤80	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
E.S≥85	E.S>80	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau

. **Pour le sable concassé.** C'est un Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

a.4) Analyse granulométrique selon la norme (EN 12620):

Pour déterminer l'analyse granulométrique, nous avons utilisé une masse d'environ de 2000 grammes de sable préalablement conservées dans un four 105°C pendant 24heures

➤ But de l'essai :

L'analyse granulométrique a trois buts :

- Déterminer les dimensions des grains.
- Déterminer les proportions de grains de même dimension (% pondéral).
- Déduire le module de finesse (MF).

➤ Principe de l'essai :

L'analyse consiste à séparer et classer ces grains selon leur diamètre à l'aide de tamis, emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. L'échantillon étudié est mis sur le tamis supérieur et le classement des grains est obtenu par vibration de la colonne de tamis.

➤ Matériels utilisés :

- Bacs, brosse, pinceau
- Balance compatible avec les masses à peser et avec une précision relative de 0.1 %
- Etuve ventilée réglée à 105° C ± 5° C - Des tamis avec des ouvertures carrées et de dimension normalisée.

Tableau .28: Séries des tamis utilisés pour le tamisage du sable.

Fraction)	Tamis utilisés (exprimé en mm
0/5	(5 – 2.5 – 1.25 – 0.63 – 0.32 – 0.16 – 0.08 et le fond)

➤ **Mode Opérateur :**

Le mode opératoire est le même que celui utilisé pour le gravier, la seule différence est la durée de l'essai ; au lieu de 7 minutes pour le gravier elle va être 4 minutes pour le cas du sable.



Figure .46: La tamiseuse utilisée.

✓ Les résultats de l'analyse granulométrique de sable sont représentés dans le Tableau .29 :

Tableau .29 : Analyse granulométrique du sable concassé.

Diamètre des tamis (mm)	Refus Elémentaires (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés(%)
5	0	0	0	100
2.5	150.3	328.3	16.42	83.58
1.25	534.4	862.7	43.14	56.86
0.63	419.3	1282	64.10	35.90
0.315	317	1599	79.95	20.05
0.16	249.2	1848.2	92.41	7.59
0.08	123.8	1972	98.60	1.40
Fond	27	1999	99.95	0.05

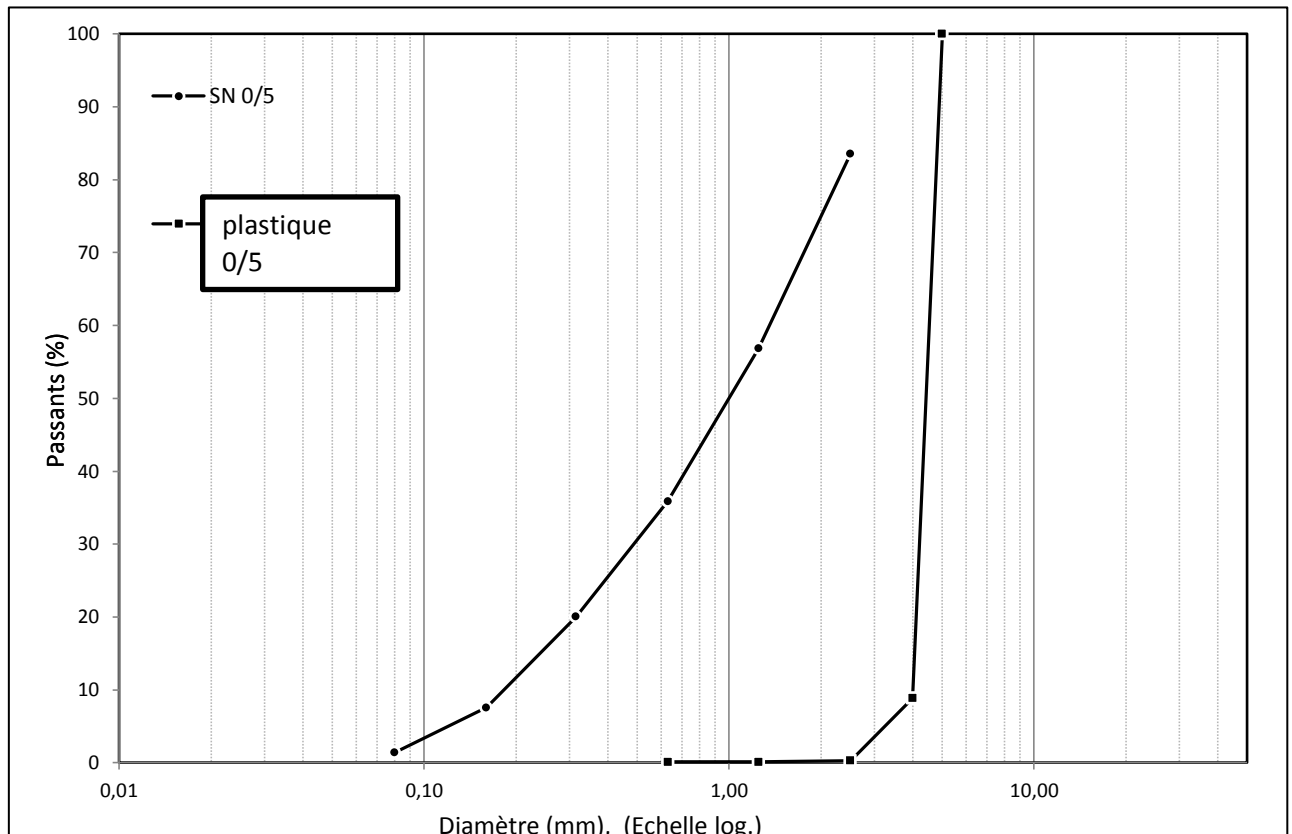


Figure.47: Courbe granulométrique du sable concassé et plastiques

➤ **Module de finesse (NF P 18-304):**

Le module de finesse d'un sable est égale au $1/100e$ de la somme des refus exprimés en pourcentage sur les différents tamis de la série suivante : 0.16 ; 0.315 ; 0.63 ; 1.25 ; 2.5 ; 4 . Le module de finesse d'un sable est un paramètre qui détermine la finesse du sable. Un sable grossier ($2.8 < Mf < 3.2$) favorise l'obtention d'une bonne résistance mais risque d'entraîner une moins bonne maniabilité et une possible ségrégation, quant au sable fin ($1.8 < Mf < 2.2$) il facilite la mise en œuvre du béton au détriment de la résistance. Pour un béton à hautes performances, vu l'importante quantité de fines (ciment et ajout minéral), il est préférable d'utiliser un sable dont son module de finesse est compris entre 2.7 et 3.0

- D'après ces résultats, on calcule le module de finesse du sable: $MF = \sum \text{refus}(\%) / 100\%$
(dans l'intervalle de tamis entre [4mm – 0.16mm])

calcul :

$$MF = (7.59 + 20.05 + 35.9 + 56.86 + 83.58 + 96.74) / 100 \%$$

$$MF = 3.08$$

Interprétation des résultats :

lorsque le module de finesse est compris entre :

- 1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins,
- 2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel,
- 2.8 et 3.3 : le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

✓ on remarque que MF est comprise dans l'intervalle [2.8 – 3.3] ,

Commentaires : Le module de finesse du sable utilisé est de 3.08, il s'agit donc d'un sable un peu grossier Représentent la majorité. Cette finesse nécessite d'avantage d'eau pour le mouillage du sable.

Tableau .30 : résultats des essais sur le sable

Essai	Résultats des mesures	
Masse volumique apparente (kg/m ³)	1.52	
Masse volumique absolue (kg/m ³)	2.5	
Teneur en eau(%)	2.67	
Equivalent de sable(%)	ES=88.73	ESV=91.12
Analyse granulométrique	(voir figure 47)	

I.2.2.3. Les granulats en plastique PA

- **Le PEHD:** polyéthylène haut densité, qui entre en jeux de la fabrication de ces sacs est le responsable de leur élasticité. Il représente sous forme granule transparente.



Figure.48 : granulats de plastiques (**PEHD**)

a) caractérisation des PA :**a.1) masse volumique du plastique :****1/Masse volumique apparente :**

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existant entre les grains.

➤ **Matériels utilisés :**

- Une balance avec une précision de 0.01g.
- Un récipient avec un volume de 1 litre.
- Une règle à araser

➤ **Mode opératoire :**

- Peser le récipient vide et tarer.
- Prendre le matériau (Le plastique) dans les deux mains formant un entonnoir.
- Placer les deux mains à hauteur d'environ 10 cm au-dessous de récipient
- Verser le matériau au centre de récipient jusque qu'il soit rempli et débord au tour.
- Araser avec la règle sans compacter le matériau.
- Peser le contenu et noter la masse M.

*Répéter l'opération 3 fois afin de valider l'essai.



Figure .49: *Mesure de la masse volumique apparente du plastique.*

- La masse volumique apparente à l'état lâche est déterminée par la formule suivante :

$$M_{app} = M/v$$

*Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau (31) :

Tableau .31 : *Masse volumique apparente du plastique*

N° d'essai	M (g)	V (L)	M _{app} (g/cm ³)	M _{app} moyenne (g/cm ³)
1	552.35	1000	0.552	0.55
2	551.63	1000	0.551	
3	549.88	1000	0.549	

2/Masse volumique absolue :

Pour déterminer la masse volumique absolue de nos plastique, nous avons utilisé la méthode dite de l'éprouvette graduée, dont nous exposons ci-après le principe.

*Remplir une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau. Peser un échantillon sec "M" de granulats et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.

* Le liquide monte dans l'éprouvette, lire le nouveau volume V2 (**Figure .50**).

*La masse volumique absolue se déduit de l'expression suivante :

$$\mathbf{Mabs=M/ (v2-v1)}$$

Avec : M=40 g Les résultats sont présentés dans le tableau (32) :



Figure .50: *Mesure de la masse volumique absolue du Le plastique.*

✓ Les résultats des essais sur le sable sont reproduits sur le tableau .32 .

Tableau .32 : *Masse volumique absolue du Plastique*

N° d'essai	M(g)	V1(L)	V2(L)	Mabs (g/cm)	Mabs moye (g/cm)
1	40	200	245	0.88	0.88
2	40	200	245	0.88	
3	40	200	245	0.88	

a.2). Analyse granulométrique :

Pour déterminer l'analyse granulométrique, nous avons utilisé une masse d'environ de 1000 grammes de Plastique.

➤ **Principe de l'essai :**

L'analyse consiste à séparer et classer ces grains selon leur diamètre à l'aide de tamis, emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. L'échantillon étudié est mis sur le tamis supérieur et le classement des grains est obtenu par vibration de la colonne de tamis.

➤ **Matériels utilisés :**

- Bacs, brosse, pinceau

- Balance compatible avec les masses à peser et avec une précision relative de 0.1 %

Tableau .33 : *Séries des tamis utilisés pour le tamisage du Plastique.*

Fraction)	Tamis utilisés (exprimé en mm
0/5	(5 – 4 -2.5 – 2.5 - 1.25 et le fond)

➤ **Mode Opérateur :**

Le mode opératoire est le même que celui utilisé pour le gravier, la seule différence est la durée de l'essai ; au lieu de 7 minutes pour le gravier elle va être 4 minutes pour le cas du Plastique

- ✓ Les résultats de l'analyse granulométrique de sable sont représentés dans le tableau. 35 et figure 47 :

Tableau .34 : Analyse granulométrique du Plastique

Diamètre des tamis (mm)	Refus Elémentaires (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés(%)
5	0	0	0	100
4	911.45	911.45	91.145	8.85
2.5	85.51	996.96	99.69	0.304
1.25	1.84	998.8	99.88	0.12
Fond	0.09	998.89	99.89	0.11

I.2.2.4. Eau de gâchage NA1966:

L'eau permet d'activer la réaction d'hydratation du ciment anhydre et de donner une pâte. Les propriétés mécaniques (résistance, raideur, etc.) et de transfert (porosité et perméabilité). Ce paramètre est donné par le rapport massique de la quantité d'eau à celle du ciment, noté E/C. Ce rapport affecte également la saturation du matériau, c'est-à-dire l'eau disponible dans le réseau après hydratation. L'eau utilisée est celle disponible au laboratoire de génie civil et d'hydraulique. Elle a fait l'objet d'une analyse chimique conformément à la norme **NA1966**



Figure.51: *Eau de gâchage*

I.3. Conclusion :

Dans ce chapitre, les différentes caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques Des composants ont été établies. Les courbes granulométriques de toutes les classes Granulaires sont présentées. Il était important de définir la partie normative à laque le doivent Répondre les différents mélanges.

**CHAPITRE II : Formulation de et Préparation
Des éprouvettes**

II.1. Introduction :

En utilisant un ensemble d'ingrédients disponibles et largement utilisés localement, nous avons commencé à travailler sur la formulation du béton ordinaire (désigné BT) et introduit trois types de béton à partir de déchets de sacs plastiques en remplaçant un pourcentage variable de sable tel que: 10, 20 et 30 où nous avons suivi la méthode de Dreux-Gorisse C'est une Méthode pratique simplifiée a pour but de permettre de définir d'une façon simple et rapide une formule composition à peu pré adaptée au béton étudiant

➤ **Dosages Des Bétons** Le besoin de notre étude est préparé quatre (04) bétons :

- **Béton témoin BT**: est un mélange ordinaire formulé à partir de trois classes granulaires: sable, gravillon (3/8) et gravillon (8/16).
- **Béton modifié BP10%, BP20% et BP30%**: est un mélange formulé à partir de trois classes granulaires: (3/8) et (8/16), sable plus des différents pourcentages des granulats de plastiques 10 % ,20 % et 30% successivement en substituant le sable en volume.

II.2. Calcul de la formulation du béton ordinaire (BT) :

1/choix des granulats :

Dans notre essai on a utilisé gravier 3/7et 7/15

2/ Tracer la courbe granulométrique :

$$\text{Refus cumulé} = \frac{R_i}{M_s} \times 100\%$$

$$\text{Tamisa} = 100 - R_f\%$$

✓ **Sable** : tamisé au tamis de 5 mm : $\rho_s=2.5\text{g/cm}^3$. $M_s=2\text{kg}$.

Tamis	Tamisat
5	100
4	96.74
3.15	91.1
2.5	83.53
1.25	56.86
0.63	35.9
0.315	20.05
0.16	7.59
0.08	1.4
Fond	0.4

$$M_f = (7.59+20.05+35.9+56.86+83.58+96.74)/100=3.08$$

$M_f=3.08$ sable est un peu grossier

✓ **Gravier1** : (3/8) $\rho_{G1}=2.6\text{g/cm}^3$. $M_{G1}=2\text{kg}$.

Tamis (mm)	Tamisat
8	100
6.3	48.04
5	24.87
3.15	1.77
2.5	0.38
Fond	0.05

✓ Gravier2 :(8 /16). $\rho_{G2}=2.6\text{g/cm}^3$. $M_{g2}=2\text{kg}$.

Tamis	Tamisat
16	100
12.5	82.22
10	30.02
8	6.28
6.3	0.67
Fond	0.08

On a: $E/C=0.6$ Et $F_C=42.5\text{MPa}$. Et $F_{28}=25\text{MPa}$. Et $\rho_c=3.1\text{g/cm}^3$.

3/ La résistance à la compression : $\sigma'_{28}=1,15.f_{c28}$

$$\sigma'_{28}=1.15*25=28.75\text{MPa}.$$

$$\sigma'_{28}=28.75\text{MPa}$$

4/ La maniabilité :

On a un béton ordinaire, plastique, vibration normal on trouve l'affaissement entre 5-9 alors on choisi la valeur : 7.

- Le coefficient G :

On à $D_{\max}=16\text{mm}$

$$G=0.45$$

- Détermination du dosage du ciment :

$$E*(c/E)=C \rightarrow E=(E/c)*C$$

$$C/E= \sigma'_{28}/(G. \sigma'_c)+0.5=1.66$$

$$C/E=1.66$$

On a C/E=1.66 et l'affaissement est 7 alors après la figure 53 (abaque) le dosage de ciment est 340kg.

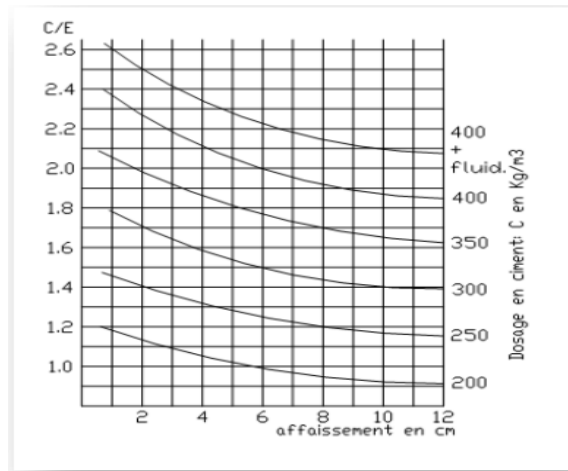


Figure.52: Dosage en ciment

C=340kg.

Alors E= (1/1.66)*340=204.82(L)

Tableau .35 : Correction du dosage en eau en fonction de Dmax :

Dimension maximale des granulats «D» (mm)	5	10	16	25	40	63	100
Correction sur E(%)	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

Donc : E = 204.82 + 204.82*0.04 = 213l

Le dosage d'eau est :

E=213L

D'après le tableau 5 la correction d'eau est 0 (20 < D_{max} < 25).

- Détermination du dosage des granulats :

B (16 ;100%).

X_A module D_{max}/2.....Si on a D_{max}<20mm.

X_A=8.

$$Y_A = 50 - \sqrt{(D_{max})} + k. \text{ et } K = K' + K_S + K_P \text{ et } K_p = 0 ; K_S = 6 * (3.08) - 15 = 3.48 ; K' = +2$$

➡ K=5.48

Y_A=45.3

- Détermination de la composition du béton :
- tracé des courbes granulométriques

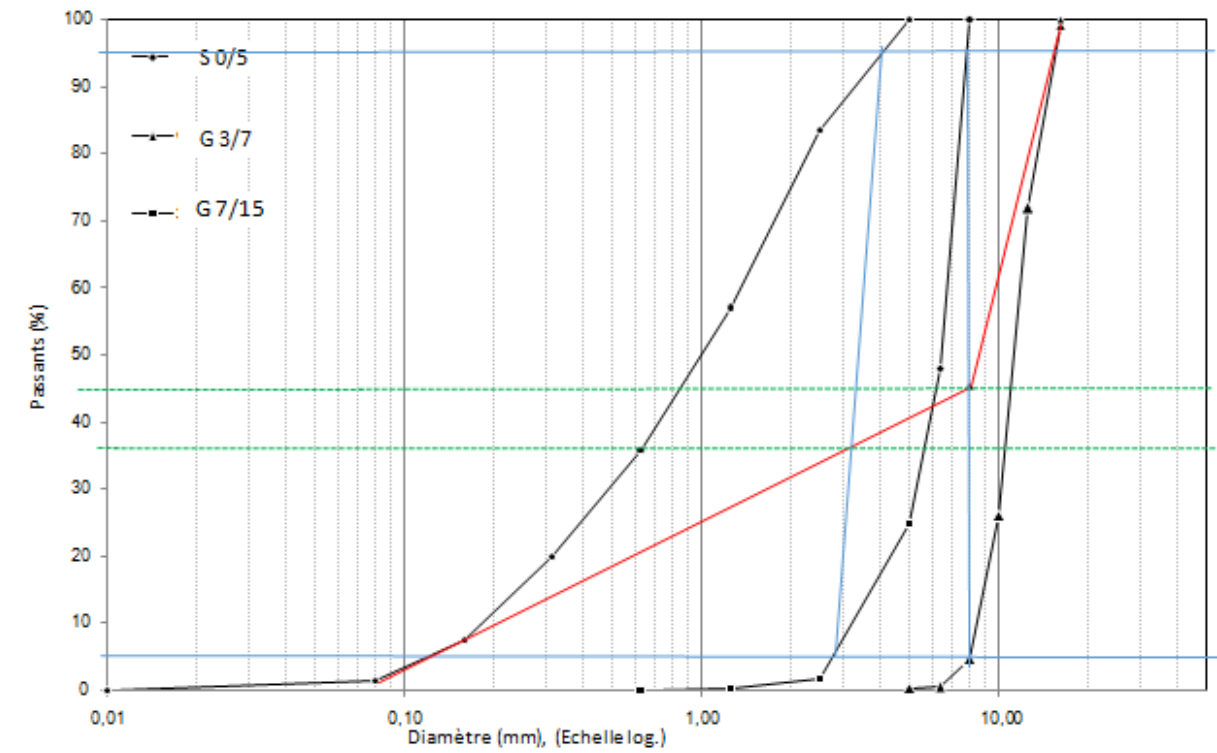


Figure .53 : Courbe Granulométrique.

D'après la courbe granulométrique on trouve :

g_s=33%

g_{G1}=12%

g_{G2}=55%

- **Déterminer la compacité d'eau :**

* \bar{V} : 0,815 est une valeur moyenne qui peut être pris en général pour des bétons courants D de 16 à 40 mm et sous réserve d'une vérification par mesure de densité du béton frais.

D'après le tableau : $\bar{V}=0.815-0.03=0.785$

- **Les volumes des granulats :**

❖ Le volume total : $V_M = 1000\bar{V} = 1000(0.785) = 785(L)$

✓ **Volume absolu des granulats (l'ensemble) :**

$$V_{GR} = V_M - V_C = 785 - 109.67 = 675.33(L).$$

✓ **Volume absolu du ciment :**

$$V_C = C / \rho_{absl} = 340 / 3.1 = 109.67(L).$$

✓ **Le volume de chaque granulat :**

- **Sable :** $V_s = g_s \cdot V_{GR} = 0.33 \cdot 675.33 = 222.85(L)$
- **Gravier 3/7** $V_{G1} = g_1 \cdot V_{GR} = 0.12 \cdot 675.33 = 81.03(L)$
- **Gravier 7/15** $V_{G2} = g_2 \cdot V_{GR} = 0.55 \cdot 675.33 = 371.43(L)$

• **La masse de chaque contenue :**

• **Masse de Sable :**

$$M_S = V_s \cdot \gamma_S = 222.85 \cdot 2.5 = 557.12 (kg)$$

• **Masse de Gravier 3/7 :**

$$M_{G1} = V_{G1} \cdot \gamma_{G1} = 81.03 \cdot 2.6 = 210.67 (kg)$$

• **Masse de Gravier 7 /15 :**

$$M_{G2} = V_{G2} \cdot \gamma_{G2} = M_{G2} = 371.43 \cdot 2.6 = 965.71 (kg)$$

II.3) Calcul de la formulation du béton avec le remplacement par les PA :

a- Pour la substitution de **10 %** de volume de béton on a pris la composition suivant :

- La quantité de Sable concassées est : $M_S = 557.12 (kg)$

La masse volumique apparente de Sable concassées est : 2500 Kg/m³

$$557.12 \text{ Kg} \longrightarrow 100 \%$$

$$X \text{ Kg} \longrightarrow 10\%$$

$$X = (557.12 \times 10) / 100 = 55.71 \text{ Kg}$$

$$M_{\text{Sable}} = 557.12 - 55.71 = 501.41 \text{ Kg}$$

$$V_{\text{PLS}} = \frac{55.71}{2.5 \times 1000} = 22.28 \times 10^{-3}$$

$$M_{\text{PLS}} = \rho \times V = 0.88 \times 22.28 = 19.60 \text{ Kg}$$

B- Pour la substitution de 20 % de volume de béton on a pris la composition suivant :

- La quantité de Sable concassées est : $M_s = 557.12$ (kg)

La masse volumique apparente de Sable concassées est : 2500 Kg/m³

$$557.12 \text{ Kg} \longrightarrow 100 \%$$

$$X \text{ Kg} \longrightarrow 20\%$$

$$X = (557.12 \times 20) / 100 = 111.424 \text{ Kg}$$

$$M_{\text{Sable}} = 557.12 - 111.42 = 445.7 \text{ Kg}$$

$$V_{\text{PLS}} = \frac{111.42}{2.5 \times 1000} = 44.56 \times 10^{-3}$$

$$M_{\text{PLS}} = \rho \times V = 0.88 \times 44.56 = 39.22 \text{ Kg}$$

c- Pour la substitution de 30 % de volume de béton on a pris la composition suivant :

- La quantité de Sable concassées est : $M_s = 557.12$ (kg)

La masse volumique apparente de Sable concassées est : 2500 Kg/m³

$$557.12 \text{ Kg} \longrightarrow 100 \%$$

$$X \text{ Kg} \longrightarrow 30\%$$

$$X = (557.12 \times 30) / 100 = 167.13 \text{ Kg}$$

$$M_{\text{Sable}} = 557.12 - 167.13 = 389.99 \text{ Kg}$$

$$V_{\text{PLS}} = \frac{167.13}{2.5 \times 1000} = 66.85 \times 10^{-3}$$

$$M_{PLS} = \rho \times V = 0.88 \times 66.85 = 58.82 \text{ Kg}$$

Tableau .36 : Dosages Des Bétons

	Formulation (Kg/m ³)			
	BT	BP10%	BP20%	BP30%
Ciment	340	340	340	340
Sable	557.12	501.41	445.7	389.99
Gravier 3/8	210.67	210.67	210.67	210.67
Gravier 8/16	965.71	965.71	965.71	965.71
Eau	213L	213L	213L	213L
Plastiques	00	19.60	39.22	58.82
E/C	0.6	0.6	0.6	0.6
Nombre d'éprouvettes	80 éprouvettes de (10x10 x 10 cm)			

➤ **Le nombre éprouvette cubiques :**

- 20 cubiques témoins

- Pour coulage de 80 éprouvettes cubiques :

- 20 cubiques 10% De plastique

- 20 cubiques 20% De plastique

- 20 cubiques 30% De plastique

-Pour chaque 20 éprouvette cubes dont nous avons besoin :

- quatre cubiques Pour l'essai Absorption par immersion totale

- quatre cubiques Pour l'essai Absorption d'eau par capillarité

- quatre cubiques Immergé dans la solution 1

- quatre cubiques Immergé dans la solution 2

- quatre cubiques Immergé dans l'eau

Alors 80 cubiques

II.4. Préparation des bétons et confection des éprouvettes :

II.4.1) Equipement utilisé pour la préparation :

- Une balance électronique qui nous permet des peser les quantités nécessaires des matériaux
- Moules de dimensions 10 x 10 x 10 cm³



Figure .54 : Balance électronique.



Figure .55 : moule pour éprouvette Cubique
(10×10×10)

II.4.2. Procédure de gâchage : EN 1961

➤ Mode opératoire :

Pour les besoins de notre étude et selon la nature de l'essai à réaliser, on a utilisé des moules cubiques (10×10×10) cm³, pour la confection des éprouvettes.

Le malaxage est exécuté à l'aide d'une bétonnière, les étapes de malaxage sont :

- Introduction de tous les granulats dans le malaxeur (sable, gravillon et granulats en Plastiques) et faire le malaxage pendant 4min afin d'assurer une bonne dispersion des G.P parmi les éléments traditionnels du béton
- Introduction du ciment et faire le malaxage pendant 1min
- Introduction du l'eau et faire le malaxage pendant 2min

Conformément aux prescriptions de la norme EN 1961



Figure .56: Malaxeur

II.4.3. Confection des éprouvettes :

Pour la Confection des éprouvettes; nous avons procédé de la façon suivante :

- Huiler les moules,
- Vérifier le serrage des moules,
- Préparer un mélange homogène du béton,
- Remplir les moules de béton frais,
- Table de vibration
- Une fois le moule est rempli, araser la surface avec une règle métallique ,
- finir la surface
- couvrir l'éprouvette par un filme plastique
- Décoffrer le moule après 24 heures,
- Répéter la même opération en changeant le paramètre étudié.



Figure .57 : Etapes de formulation des bétons et conservation des éprouvettes de bétons.

II.4.4. Démoulage :

Après démoulage, les éprouvettes sont entreposées dans de l'eau jusqu'au moment 24H



Figure .58: Mise en place du béton et conservation des échantillons dans le réservoir d'eau

II.5. Conclusion:

Ce chapitre présente le choix des proportions des composants en béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques.

-La méthode Dreux est en fait une combinaison de celles qui ont produit des résultats positifs. Il s'agit d'une méthode simplifiée accessible à tous les utilisateurs, car utiliser des graphiques pour déterminer les quantités de matières.

-Nous avons également calculé les pourcentages de plastique ajouté au mélange de béton et estimé le nombre des éprouvettes sur lesquels nous allons expérimenter avec 80 des éprouvettes.

- Nous sommes passés par les étapes de Préparation des bétons et conduite des essais

**CHAPITRE III : RESULTATS EXPERIMENTAUX
ET ANALYSES**

III.1. INTRODUCTION :

Ce chapitre été destiné à l'étude des paramètres de durabilité du béton avec trois substitutions (10%, 20% et 30%) du granulat fin (le sable) par des granulats plastiques issus de recyclage d'un polyéthylène à haute densité (PEHD).

L'étude de la durabilité du béton est basée sur des résultats d'essais : absorption par immersion totale, absorption capillaire et les mesures de perte de masse et perte de résistance dans un milieu acide et autre basique, en mesurant après chaque gâchage l'affaissement au cône d'abrams et le densité du béton frais.

À cause du confinement sanitaire exigé suite à l'épidémie Covid19, le travail expérimental au laboratoire a été interrompu le 12 mars 2020 ce qui a empêcher la réalisation des essais de durabilité qui ont été programmés pendant cette période de confinement. Malgré la confection des éprouvettes, nous avons changé la destination de notre problématique vers une synthèse comparative de plusieurs études et recherches qui ont été réalisées vers le même objectif qui est la valorisation des déchets plastique dans la formulation du béton. Plusieurs études ont été prise en compte jusqu'à l'année 2019, dans laquelle l'effet de l'utilisation d'agrégats plastiques recyclés la durabilité du béton faisait sujet de plusieurs problématique. Pour organiser l'analyse et la discussion des résultats des études précédentes, et pour faciliter la rédaction de ce chapitre, il est préférable de rassembler toutes les études prises comme références de comparaison dans un tableau en précisant pour chacune les types de plastiques et les pourcentages de substitutions prises dans les études considérées.

Ce chapitre commence par une discussion sur les seuls résultats obtenus durant le travail expérimental au laboratoire et qui sont ceux de l'affaissement et de la mesure de la

densité à l'état frais.

III.2. Les essais programmés avec nombre d'éprouvettes confectionnées :

Dans cette études, on quatre types de béton formulés : un béton témoin et trois béton avec trois substitutions (10%, 20%, et 30%) et pour chaque type de béton, on a 20 éprouvettes cubiques (10x10x10) cm³ réalisées pour effectuer les essais suivants :

- Pour l'essai de la porosité : 02 éprouvettes (28j) et 02 éprouvettes (120j) au total 04 éprouvettes.
- Pour l'essai de la capillarité : 02 éprouvettes (28j) et 02 éprouvettes (120j) au total 04 éprouvettes.
- Pour l'immersion dans la solution acide : 02 ép (28j) et 02 ép (120j) au total 04 éprouvettes.
- Pour l'immersion dans la solution basique : 02 ép (28j) et 02 ép (120j) au total 04 éprouvettes.
- A comparer avec l'immersion dans l'eau : 02 ép (28j) et 02 ép (120j) au total 04 éprouvettes.

Au total, les éprouvettes réalisées pour cette études est **80** éprouvettes cubiques.

Remarque : Toutes ces éprouvettes ont été réalisées et conservées dans un bac d'eau dans les conditions du laboratoire, avant que le travail expérimental été interrompu.

III.3 Caractérisation des bétons à l'état frais :

III.3.1 Essai d'affaissement NF P18 451:

Pour étudier l'influence des granulats plastiques sur l'ouvrabilité du béton. Le tableau 37 et les figure. 60 présentent les valeurs de l'affaissement en fonction du taux d'incorporation des granulats plastiques. pour les différentes compositions retenues.

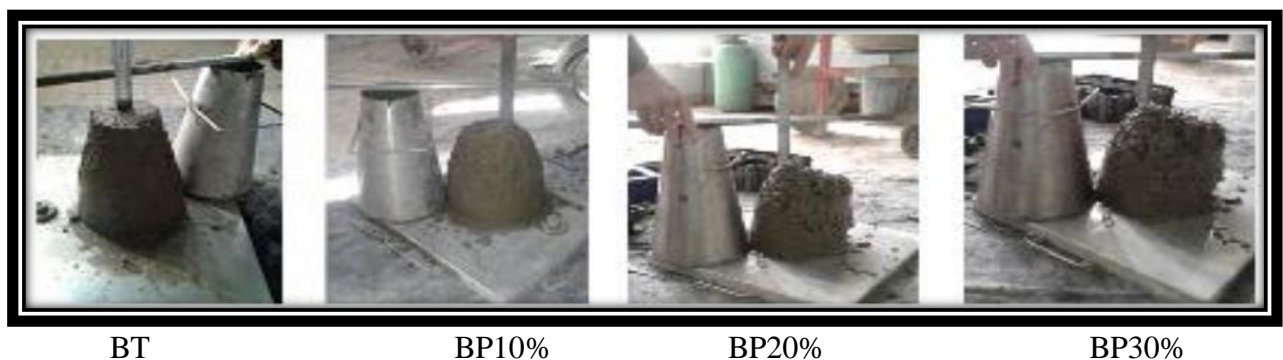
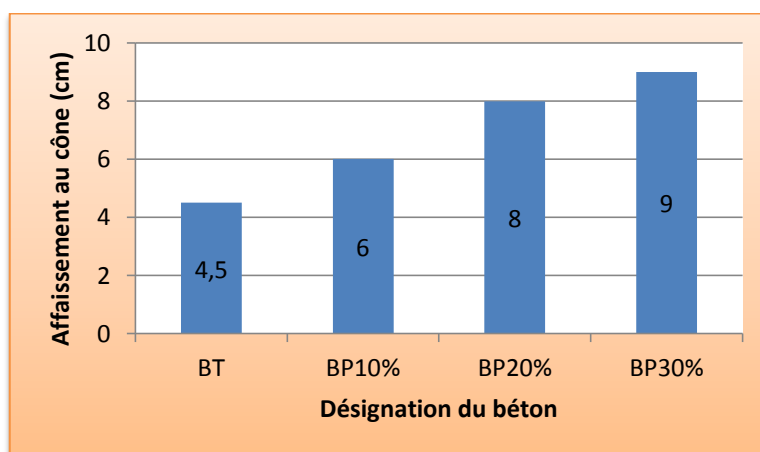


Figure 59: L'affaissement au cône d'Abrams pour les différents bétons étudiés.

Tableau 37 : Récapitulatif des résultats des essais d'affaissement au cône.

Désignation du béton	BT	BP10%	BP20%	BP30%
Affaissement au cône (cm)	4.5	6	8	9

**Figure 60** : Affaissement au cône d'Abram's des quatre bétons confectionnés.**Commentaires :**

D'après la figure 60, on voit que l'affaissement augmente avec l'incorporation de granulats plastiques.

- Pour le BP10% l'augmentation de l'affaissement est plus de 33% par rapport au béton témoin (sans granulats plastiques), il varie de 4,5 cm à 6 cm pour 10% de substitution en GP.
- Une augmentation de plus 77% pour une substitution de 20%, il varie de 4,5 cm à 8 cm pour 20% de substitution en GP.
- Une augmentation de 100% pour une substitution de 30%, il varie de 4,5 cm à 9 cm pour 30% de substitution en GP.

Alors selon ces résultats, plus la substitution en GP augmente, l'ouvrabilité du béton est améliorée, ce qui est favorable pour les bétons. Cette amélioration peut être attribuée au fait que les particules de plastique ont une surface extérieure plus lisse que celle du sable Batayneh et al. (2007), car les granulats plastiques ne peuvent pas absorber l'eau, donc un excès d'eau qui améliore l'ouvrabilité.

Les affaissements mesurés varient entre 6 et 9cm, les trois compositions peuvent être classées dans la catégorie des "bétons plastiques".

III.3.2. Mesure de la densité des bétons à l'état frais :

Cette mesure a pour but de vérifier si avec les dosages pratiqués pour la fabrication du béton on obtient bien un mètre cube de béton. La tolérance admise étant de 5%. L'obtention d'une densité réelle supérieure à la densité théorique indique que l'on obtient moins d'un mètre cube, et le béton a un dosage en ciment plus riche que celui prévu, réciproquement lorsque la densité réelle est inférieure à la densité théorique, la composition donne plus d'un mètre cube de béton, et le béton est sous dosé en ciment. Les corrections à apporter sur la composition doivent toujours se faire sur les granulats.

L'essai est assez simple et nécessite peu de moyens. Il suffit de remplir un moule de volume connu (V) (dans les mêmes conditions que celle du chantier) et de le peser, soit une masse (M).

La masse volumique se déduira alors de :
$$M_v = \frac{M}{V}$$

Les mesures expérimentales des densités à l'état frais ont été effectuées sur des moules Cubique (10×10×10) comme le montre clairement les photos suivantes



Figure 61: Mesure de la densité des bétons à l'état frais.

Les résultats des essais de la densité à l'état frais des 4 bétons sont présentés dans le tableau

Tableau 38 : valeurs de la masse volumique pour les 04 formulations du béton.

	BT	BC 10 %	BC 20 %	BC 40 %
Masse volumique (g/cm³)	2.55	2.472	2.413	2.32

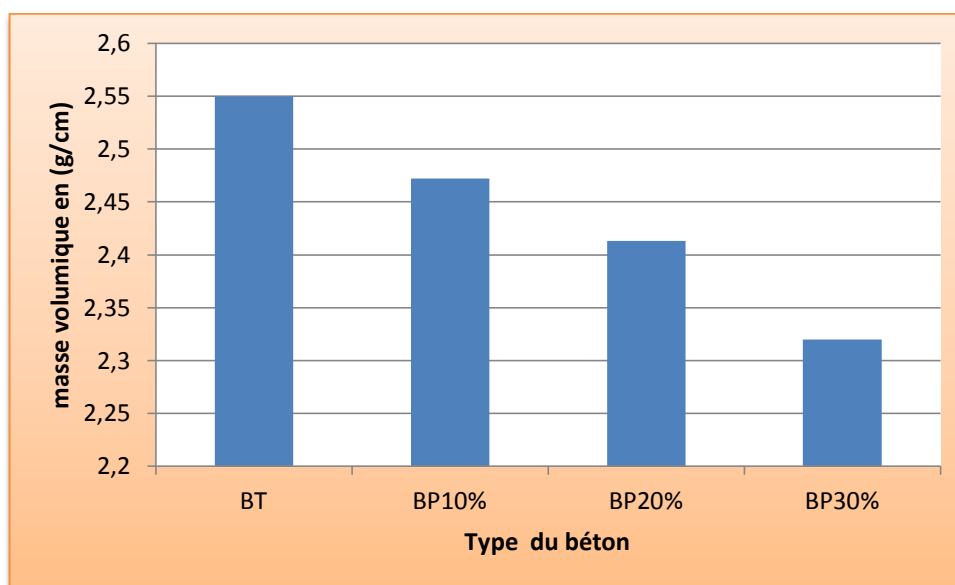


Figure 62 : L'effet de la substitution en GP sur la densité du béton à l'état

Commentaires : D'après la figure 62, on voit que la densité à l'état frais diminue avec l'incorporation de granulats plastiques.

- Pour le BP10% la diminution est de 3% par rapport au béton témoin (sans granulats plastiques) ;
- Une diminution de plus 5% pour une substitution de 20 ;
- Une diminution de 9% pour une substitution de 30%.

La masse volumique à l'état frais des bétons diminue avec l'augmentation du taux de substitution en granulat plastiques, Cette diminution du béton à densité apparente est probablement due à la substitution d'un matériau plus lourd (sable) par le matériau plus léger (densité de 2,5 pour le sable contre 0,88 pour le GP). Le béton devient également plus légers

avec 30% de GP Cette observation a déjà été vérifiée par plusieurs auteurs (Baboo et al.2012, Ferreira et al.2012).

III.4. Synthèse bibliographiques sur les travaux réalisés :

III.4.1 Aperçu des études précédentes :

Dans les études et recherches précédentes, les chercheurs ont remplacé les agrégats naturels par des agrégats plastiques (GP).(Le tableau 39)

Les agrégats plastiques sont généralement produits à partir de grandes quantités de déchets plastiques. Les substitutions partielles et totales des granulats naturels par des granulats ont été signalées dans différentes références.

Tableau 39 montre le type et le taux de remplacement du plastique par les études précédentes .

Tableau 39 : Types et quantités de substitutions de sable par des agrégats plastiques dans les études considérées comme références.

Référence	Type de granulats	Taille des particules	Origine de granulats	Densité	Composite	Type et taux de substitution
Kou et al. [66]	PVC	≤ 5mm	Plastique	1,4	Béton	Agrégat, 5%, 15%, 30% et 45% du volume
Senhadji et al. [67]	PVC	3mm≤d≤ 8mm	Tuyaux de PVC	1,44	Béton	Agrégat, 30%, 50%, et 70% du volume
Albano et al. [68]	PET	0.26cm ≤ d ≤ 1.14cm	Bouteilles en PET	-	Béton	Agrégat fin, 10% et 20% du volume
Saikia et al. [69]	PET	4mm ≤ d ≤ 11.2mm	Bouteilles en PET	1,34	Béton	Agrégat, 5%, 10%, et 15% du volume
Akçaözöğlü et al. [70]	PET	≤ 4 mm	Bouteilles en PET	1,27	Béton	Agrégat, 20% -100% du volume
Babu et al. [71]	EPS	4.75mm ≤ d ≤ 6.3mm	polystyrène expansé	0,029	Béton	Agrégat grossier, 16.3 – 66.5% du volume
Herki et al. [72]	EPS	≤8 mm	polystyrène expansé	0,8	Béton	Agrégat fin, 60% et 100% du volume
Ismail et al. [73]	PEHD	≤ 2.36	PEHD	1,04	Béton	Agrégat fin 2%, 4% et 6% du volume
Matos et al. [74].	Liège	-	bouchons de bouteille	0,079	Béton	1.06 - 8.57% du volume de ciment
Choi et al.	WPLA	≤ 0.15 mm	Bouteilles en PET	1,39	Mortier/Béton	[54] Agrégat, 25%, 50%, et 75% du volume

Les propriétés des granulats plastiques, à utiliser comme agrégat dans des préparations de béton telles que la distribution granulométrique, la densité volumétrique et l'absorption d'eau de ceux-ci, ont été généralement évaluées dans la majorité des études publiées. L'évaluation de la distribution granulométrique des agrégats plastiques a généralement été réalisée par des méthodes de criblage conventionnelles [66, 73, 75]. Cependant, dans certaines

études, des approches légèrement différentes ont été adoptées. [76, 68]. A partir des expériences des auteurs [69], on peut affirmer que les procédures standards utilisées pour évaluer les propriétés telles que la densité absolue et l'absorption d'eau des granulats naturels peuvent être utilisés pour évaluer les propriétés des agrégats en plastique avec des légères modifications.

III.4.2 Etudes des propriétés physiques et les performances de durabilité des bétons avec substitution en GP :

-Le tableau 40 illustre les propriétés de certains types de plastique utilisés comme agrégats.

Tableau 40 : L'évaluation des propriétés des bétons à base des agrégats légers.

Les propriétés physiques		
La maniabilité		La densité
[67, 66, 77, 68, 69]		[67, 66, 76, 78, 79]
La durabilité		
La porosité	L'absorption	La pénétration des ions chlorures
[78, 68, 69, 80, 81].	[82, 81].	[67, 66].

III.4.2.1. Maniabilité (Affaissement) :

La maniabilité désigne l'aptitude plus ou moins grande d'un béton en état frais, à remplir de façon homogène et sans défauts les vides des coffrages. Elle est en fonction d'une multitude de facteurs et donne lieu à des recettes spécifiques de formulations en fonction de l'ouvrage à construire avec l'emploi de granulats et d'adjuvants sévèrement dimensionnés et sélectionnés. Mais l'ajout d'autres mélanges, soit des minéraux ou des déchets affectent la maniabilité de béton. La maniabilité du béton contenant un agrégat de plastique a été étudiée de façon approfondie, quelques résultats trouvés dans diverses études sont représentés dans la figure 63

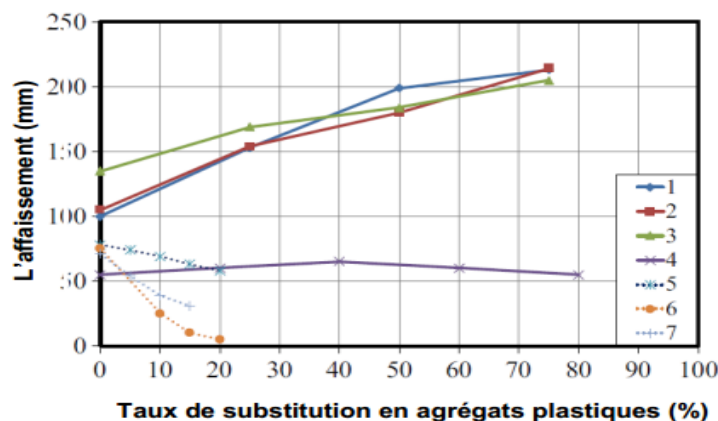


Figure 63 : La variation de l'affaissement du béton avec le niveau de la substitution des agrégats plastiques [84]: (1), (2), (3): agrégats fins [85]; (4): agrégats grossiers [86]; (5): agrégats fins [87]; (6): agrégats fins [88]; et (7): agrégats fins [89].

L'examen de la littérature laisse apparaître des points de vue différents sur l'effet des déchets légers sur la maniabilité. Dans la majorité des études précédentes, L'ajout de déchets légers affecte la quantité d'eau disponible dans le béton et, par conséquent, l'ouvrabilité de béton. Une valeur inférieure d'affaissement du béton frais a été observée lorsque le taux de substitution en matière plastique est plus important. Les raisons pour lesquelles l'abaissement de l'affaissement du béton contenant des agrégats en plastique sont les bords aiguisés et la granulométrie des granulats angulaires en plastique.

D'autre part, dans quelques études une augmentation de la valeur de l'affaissement due à l'incorporation des granulats en plastique est également observée [77, 68]. L'augmentation de l'affaissement de béton en raison de l'incorporation des agrégats plastiques est due à la présence d'une quantité importante de l'eau libre dans les mélanges contenant du plastique que dans le mélange de béton contenant des agrégats naturels, donc à la différence des granulats naturels, les agrégats en plastique ne peuvent pas absorber de l'eau lors du gâchage .

- **Batayneh et al. [87]** ont rapporté que la matrice préparée par le remplacement de 20% d'agrégats fins par du plastique affecte la maniabilité jusqu'à 25%.
- **Ismail et Al-Hashmi [88]** ont rapporté les effets de l'utilisation de déchets mixtes de fer et des plastiques dans le béton. Dans ce cas, des déchets plastiques granulaires ont été ajoutés dans le mélange de sable à 5% du poids. Le déchet en plastique granulaire utilisé dans le béton avait une large distribution, les dimensions avec des longueurs et des largeurs de 0,15 à 12 mm et de 0,15 à 4 mm, respectivement. L'ajout de 5% de

déchets plastiques a diminué l'ouvrabilité de 25%, tandis que l'ajout de 30% de fer entraîne une augmentation de l'ouvrabilité de 50%.

- **Choi et al. [85]** ont constaté que la valeur d'affaissement du béton augmente avec la croissance de la teneur de deux types d'agrégats de bouteilles traités de PET dans le béton. Selon ces auteurs, cette tendance est due à la forme sphérique de l'agrégat de PET ainsi que la texture de la surface glissante, ce qui diminue le contact interne entre la matrice et l'agrégat de PET et par conséquent augmente la valeur de l'affaissement.
- **Saikia et de Brito [69]** ont trouvé deux types de comportement de la maniabilité dans les mélanges de béton contenant deux agrégats de forme différente de PET ; un agrégat de PET en forme granulé, sa surface de texture très lisse et deux fractions granulométriques différentes d'un agrégat de PET feuilletée ont été utilisés pour remplacer partiellement les classes grossières et fines des agrégats naturels. Tous les agrégats ont été obtenus à partir du même type de déchets plastiques du PET.
- **Rai et al. [89]** ont signalé les effets de l'utilisation de déchets de plastique dans le béton. Dans cette étude, 5% à 15% des déchets de plastique ont remplacé le sable avec un module de finesse de 3.2. Les résultats ont indiqué que l'ouvrabilité a diminué jusqu'à 37% au fur et à mesure que la quantité des déchets augmente.

III.4.2.2. Densité :

Le plastique a une densité inférieure à celle des agrégats naturels et on s'attend donc à ce que leur incorporation dans les mélanges cimentaires conduit à une diminution de cette propriété. Les résultats montrent que l'incorporation de matières plastiques comme agrégat diminue généralement la densité du béton/mortier résultant du fait de la légèreté de l'agrégat en plastique. Certains résultats sont présentés dans la figure 64.

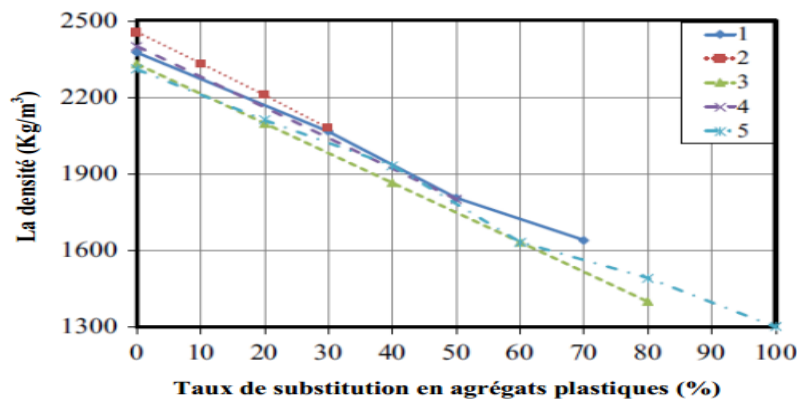


Figure 64 : L'influence de l'incorporation des matières plastiques comme agrégat sur la densité du béton/mortier[84]: (1): [90]; (2): [91]; (3): [86]; (4): [92]; et (5): [93]

- **Fraj et al. [80]** ont observé une réduction significative de la densité à l'état frais et à l'état durci à 28 jours du béton contenant des agrégats de déchets de mousse polyuréthane par rapport au béton conventionnel.
- **Senthil et al. [94]** ont étudié la densité du béton contenant des agrégats de déchets en pièces électroniques (E-plastique). Les résultats représentés sur la figure 65 montrent que la densité du béton contenant l'agrégat E- plastique par substitution en volume de 10, 20, 30, 40 et 50 %v de granulats naturel tend a diminué.

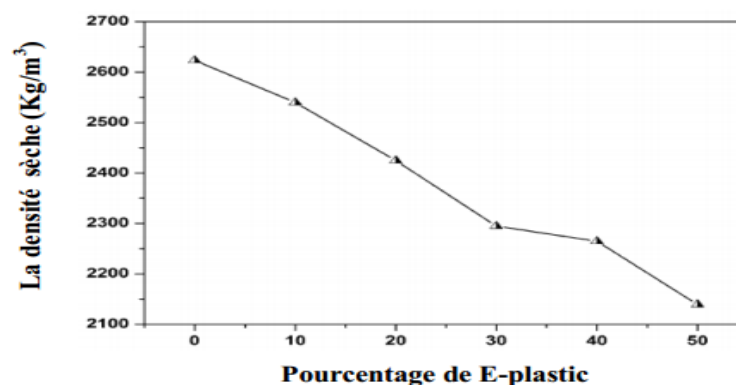


Figure 65 : La densité du béton en fonction du pourcentage d'E- plastique à 28 jours [94].

- **Guendouz et al. [95]** ont étudié la possibilité d'utiliser des déchets des bouteilles plastiques en PET et des citernes (PEBD –polyéthylène à basse densité) dans le béton de sable sans aucune transformation sauf le broyage. Les résultats trouvés montrent que la substitution du sable par la poudre en plastique mène à des diminutions remarquables de la densité de tous les mélanges réalisés.

III.4.2.3. Performances de la durabilité :

Plusieurs recherches ont été menées sur l'évaluation des facteurs de la durabilité pour le béton contenant des agrégats plastiques. Il s'agit notamment de la porosité, l'absorption d'eau et la pénétration des ions chlorures. En général, la perméabilité des espèces chimiques agressives à travers les pores du béton est le principal facteur qui contrôle plusieurs propriétés de durabilité. Les essais tels que la mesure d'absorption d'eau, et la diffusion des ions chlorures peut fournir des informations sur la capacité du béton à empêcher la pénétration des espèces chimiques nuisibles.

a.1). Porosité accessible à l'eau et l'absorption capillaire :

➤ **Chidiac et Mihaljevic [96]** ont évalué le comportement de béton préparé avec la substitution des agrégats naturels par des agrégats de LDPE (polyéthylène à faible densité) et des agrégats de PEHD (polyéthylène à haute densité). Ils ont observé que les échantillons contenant des agrégats légers présentent une absorption d'eau plus élevée que le béton témoin.

➤ Dans le même contexte, **Albano et al. [68]** ont signalé que l'absorption d'eau est plus élevée pour les bétons contenant des granulats de PET par rapport aux bétons contenant uniquement des granulats naturels. Selon ces auteurs, la différence de la distribution granulométrique ainsi que la forme des granulats de plastique, en comparaison avec l'agrégat fin naturel, étaient responsables sur ce comportement.

a.2). Pénétration des ions chlorures :

La pénétration de chlorure dans le béton contenant des granulats plastiques est influencée par la porosité, l'absorption d'eau et la perméabilité, car un plus grand nombre de vides entraîne une plus grande pénétration des ions chlorure.

Kou et al. a étudié la pénétrabilité des ions chlorure pour le béton contenant du PVC comme granulats fin, appliquée pendant une période d'essai de 6 h pour calculer la charge totale passée à Coulomb. La figure 66 montre les valeurs de pénétration des ions chlorure des échantillons à 28 et 91 jours pour quatre rapports de remplacement 5, 15, 30 et 45%.

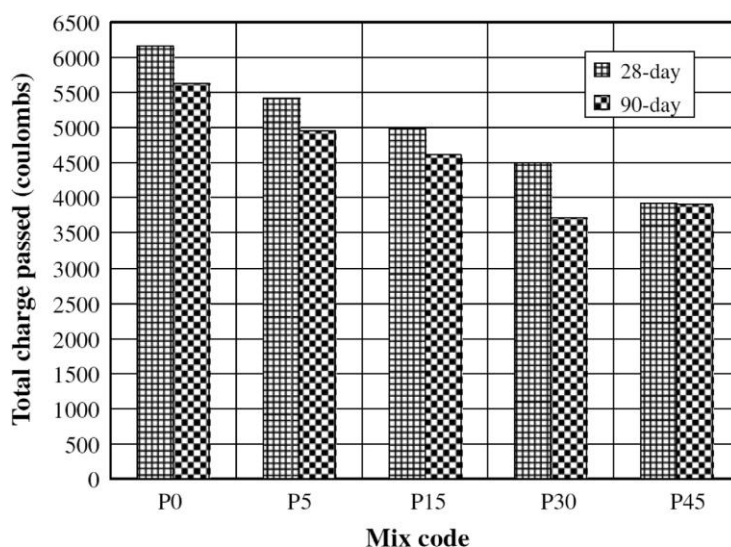


Figure 66 : Total charges passed in coulombs of concrete mixtures [97].

Les résultats indiquent que l'augmentation de la teneur en PVC ainsi qu'un durcissement plus long conduisent à diminuer la pénétration des ions chlorure. Pour un taux de remplacement de 45%, les charges totales passées en coulombs ont été réduites de 36,2% par rapport au béton de référence. Les auteurs mentionnent que l'augmentation de la résistance à la pénétration du chlorure est attribuée aux particules de PVC imperméables qui bloquent le passage de l'ion chlorure [97].

- **Kou et al. [66]** ont étudiés la résistance à la pénétration d'ions chlorures à 28 et 91 jours de béton durci préparé par la substitution partielle des agrégats naturels par des granulats de déchets de PVC. Les résultats observés ont indiqué que la résistance à la pénétration des ions chlorures du béton augmente avec l'augmentation de la teneur en PVC.
- **Senhadji et al. [67]** ont constaté que la substitution partielle (30, 50 & 70% v) de l'agrégat naturel (sable fin et agrégats 3/8) par des granulats de PVC, augmente la résistance à la pénétration des ions chlorure. Les résultats montrent qu'il y'a un optimum de la résistance à la pénétration aux ions chlorure à 30% de substitution.
- **Fraj et al. [80]** ont évalué les coefficients de la diffusion des ions chlorures des bétons contenant de la mousse rigide de polyuréthane (PUR) substituant l'agrégat naturel grossier. Ils ont observé une plus faible valeur du coefficient de la diffusion d'ions chlorure de béton contenant la mousse rigide PUR par rapport au béton contenant des granulats naturels. Ils ont également signalé que la réduction du rapport E/C et

l'augmentation de la teneur en ciment pourraient améliorer considérablement la performance de la résistance aux chlorures du béton contenant de la mousse de polyuréthane rigide (PUR).

- **Silva et al. [98]** ont également indiqué que la profondeur de la pénétration au chlorure de béton contenant des déchets de PET était supérieure à celle du béton témoin. De plus, les échantillons de béton durcis au laboratoire présentaient une forte pénétration des ions chlorure par rapport aux échantillons durcis dans un environnement extérieur.

III.5. Conclusion :

La discussion des résultats prouve que l'incorporation des déchets plastiques comme agrégats dans le béton peut améliorer les différentes propriétés qui peuvent résoudre une partie du problème concernant l'élimination des déchets plastiques. Certaines de ces propriétés sont mises en évidence ci-dessous:

1. L'incorporation du plastique peut réduire la densité, les paramètres de durabilité ;
2. L'absorption d'eau et la porosité du béton contenant des agrégats des déchets plastiques augmentent, car les agrégats plastiques et naturels ne se mélangent pas suffisamment dans la matrice du béton, ce qui donne une matrice poreuse.
3. L'utilisation des déchets plastiques conduit à une moindre résistance au feu des matériaux cimentaires composites par rapport aux ceux classiques.
4. La pénétration des ions chlorures peut augmenter pour l'un (matériaux composites), et diminuer pour d'autres suivant la nature des déchets plastiques utilisés. L'amélioration des propriétés due à l'addition des déchets plastiques peuvent avoir d'immenses conséquences pratiques sur l'environnement et l'économie ; et donc les futures études devraient être mis en œuvre pour obtenir des bétons produits à base des déchets plastiques durables, de qualité, mais rentables aussi.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail est de valoriser les granulats plastiques recyclés dans le béton en étudiant l'effet de ces granulats sur sa durabilité. Sur cette base, cette revue bibliographique a été menée dans le but d'évaluer les connaissances de diverses recherches.

La discussion exposée dans le chapitre III de la deuxième partie, prouve que l'incorporation de déchets plastiques sous forme d'agrégats dans le béton peut améliorer diverses propriétés qui peuvent résoudre une partie du problème d'élimination des déchets plastiques. Certaines de ces fonctionnalités sont expliquées ci-dessous:

- ❖ L'affaissement du béton contenant du plastique recyclé est réduit en raison de l'augmentation de la surface du plastique recyclé et sa forme irrégulière donne un béton rigide difficile à manipuler.
- ❖ Les valeurs de poids unitaire du béton contenant du plastique sont inférieures à celles du béton conventionnel. Cette baisse de poids unitaire est due à la nature du plastique, qui a une faible valeur de densité .
- ❖ La maniabilité du béton contenant du plastique nécessite une attention supplémentaire. Améliorer la maniabilité du béton peut améliorer de nombreuses propriétés. Des adjuvants, tels que des super plastifiants, peuvent être utilisés, mais leurs effets sur les propriétés mécaniques du béton doivent être pris en compte.
- ❖ L'absorption d'eau et la porosité du béton contenant des agrégats de déchets plastiques augmentent parce que le plastique et les agrégats naturels ne se mélangent pas suffisamment dans le béton, ce qui donne un matériau poreux.
l'absorption d'eau augmente avec le taux de remplacement du sable par du plastique FA; à cause de la mauvaise adhérence entre les agrégats plastiques et la matrice cimentaire qui donne par conséquent, une pâte poreuse ;
- ❖ le béton contenant des agrégats de PET avait un pourcentage d'absorption plus élevé que le béton conventionnel car la taille et la forme de l'agrégat peuvent influencer la porosité de deux manières: l'une, modifiant la pâte, et l'autre, fournissant une porosité appropriée. Le remplacement partiel du sable par des agrégats avec une granulométrie différente, crée une porosité différente et appropriée aux échantillons créés par le sable naturel puisque sa forme est allongée et plane
- ❖ La pénétration des ions chlorure peut augmenter dans certains (composites) et diminuer dans d'autres, selon la nature des déchets plastiques utilisés. L'amélioration des propriétés due à l'ajout de déchets plastiques peut avoir d'énormes conséquences pratiques pour l'environnement et l'économie; Par conséquent, des études futures devraient être menées pour obtenir du béton de déchets plastiques durable, de haute qualité mais aussi rentable.

- ❖ la carbonatation du béton contenant du PA augmente à mesure que le taux de remplacement du sable par GP augmente puisque le plastique ne combine pas suffisamment le mélange avec des agrégats naturels, ce qui donne une matrice poreuse.
- ❖ La pénétration du chlorure est considérablement diminuée en raison des particules de plastique imperméables qui bloquent le passage de l'ion chlorure.

Malgré le grand nombre d'études qui ont été menées sur l'utilisation du plastique recyclé comme remplacement des granulats fins, des questions demeurent quant au développement futur de l'utilisation du plastique comme remplacement des granulats fins ou dans la production de béton. Ces questions concernent :

- (1) les propriétés d'isolation thermique et phonique du béton fabriqué avec du plastique comme granulats fin .
- (2) la durabilité du béton contre les attaques acides alcalines .
- (3) la résistance aux sulfates .
- (4) la résistance aux attaques de gel – dégel .
- (5) La porosité et La perméabilité à l'eau du béton en GP .
- (6) Le comportement à long terme des propriétés mécaniques du béton en GP.

Les références bibliographiques:

[1] introduction à la physique des polymères. Edit 2, DUNOD, Paris.368p.

[2] VENE J « Les plastiques », éd. Q.C.J, Paris, 1976

[3] Carrega, M. et al., 2012. Matières plastiques : propriétés, mise en forme et applications industrielles des matériaux polymères. 3e éd., Paris: Dunod L'usine nouvelle.

[4] Kale S.K., Deshmukh A.G., Dudhare M.S. & Patil V.B., 2015. Microbial degradation of pesticide: A review.

[5] Krueger M.C., Harms H. & Schlosser D., 2015. Prospects for microbiological solutions to environmental pollution with plastics. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 99(21), 8857– 8874.

[6] Bouter fa Meriem, Etude De La Détermination Du Paramètre D'interaction Entre Deux Polymères Par Voie Mécanique "Effet Du Comptabilisant Sur Ce Paramètre, Mémoire en Vue de L'obtention du Diplôme de Master, Université Ferhat Abbas Sétif, Faculté de Technologie, 01 /12 / 2011.

[7] Methia Akli, Mr. Rezzoug Mohamed Amine, Etude De La Diffusion De L'irganox 1076 Dans un Polymère Recyclé à Base De PEHD, Master II, Université Abderrahmane Mira – Bejaia, le 02 juillet 2017.

[5]. Lebreton, L. C. M. *et al.* River plastic emissions to the world's oceans. *Nat. Commun.* 8, 15611 (2017).

[6]. Matsuguma, Y. *et al.* Microplastics in Sediment Cores from Asia and Africa as Indicators of Temporal Trends in Plastic Pollution. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1–10 (2017).
doi:10.1007/s00244-017-0414-9

[7]. Brydson, J. A. *Plastics Materials*. (Butterworth-Heinemann, 1999).

[8] S.Sadoun, Contribution à L'étude Expérimentale D'un Polyéthylène à Haute Densité (PEHD)- Effet De La Température et De La Vitesse De Déformation, Mémoire en Vue de L'obtention Du Diplôme De Master Faculté Des Sciences, Université Badji Mokhtar Annaba, (2007).

- [9] M. Fontanille, P. Vairon, Polymérisation. Ed. Techniques De L'ingénieur, Traité Plastiques et Composites", (a3 040).
- [10] J-P.Trtignon, J.Verdu, A.Dobraczynski & M.Piperaud, Livre De Matières Plastiques, ensam, paris, 1997.
- [11] U.h. Nilsson, R.C. Dameret, A. Campus, A. Snack, H. J. Janson, Morphologie of Polyéthylène for Power Câble Insolation: Effets Of Antioxydant And Crosslinking, Ie, International Conférence On Conduction And Breakdown In Solide Diélectriques, Pp. 365-367, Vasteras Sedan, 1998.
- [12] Mekideche Salih, Valorisation Des Déchets Comme Constituants Des Bio Composites, Mémoire en Vue De L'obtention Du Diplôme De Master, Université De M'silla Faculté De Technologie, 2018.
- [13] M. Carrega et Coll., Matériaux Polymères, 2e édition. Duodi, Paris, 2007.
- [14] Benakli Imine, Hama ni Faria, Etude Des Bio composites à Base de Polymère Bio source PHBV et Fibres Alfa, Mémoire en Vue de L'obtention du Diplôme de Master, Université a. Mira – Bejaia Faculté de Technologie Département de Génie des Procédés, 2016.
- [15] Kouahlia. Ilyes. Conception, Elaboration et Caractérisation d'un nouveau Bio composite à Renfort Végétal, Université de 20 Aout 1955 Skikda Faculté De Technologie, juin 2018.
- [16] Plastics Europe: Plastics-the Facts 2013. An Analysis of European Latest Plastics Production, *Demand and Waste Data*. 2013.
- [17] Zhou C, Fang W, Xu W, Cao A, Wang R: Characteristics and the recovery potential of plastic wastes obtained from landfill mining. *J. Clean. Prod.*2014, 80: 80-86.
- [18] Papong S, Malakul P, Trungkavashirakun R, Wenunun P, Chom-in T, Nithitanakul M: Comparative assessment of the environmental profile of PLA and PET drinking water bottles from a life cycle perspective. *J. Clean. Prod* 2014, 65: 539-550.
- [19] Badia JD, Stromberg E, Karlssonb S, Ribes-Greus A: The role of rystalline, mobile amorphous and rigid amorphous fractions in the performance of recycled poly (ethylene terephthalate) (PET). *Polym. Degrad. Stab* 2012, 97: 98-107.
- [20] Association of Plastics Manufactures in Europe (APME), Plastic recovery in perspective: plastics consumption and recovery in Western Europe 2004. www.plasticeurope.org

- [21] Subramanian MP: Plastics recycling and waste management in the US. *Resour. Conserv. Recycl.* 2000, 28:253-263.
- [22] Aattache A, Mahi A, Soltani R, Mouli M, Benosman AS: Experimental study on thermomechanical properties of Polymer Modified Mortar. *Materials & Design (1980-2015)* 2013,52:459-469.
- [23] Aattache A, Mahi A, Soltani R, Mouli M, Benosman AS: Experimental study on thermomechanical properties of Polymer Modified Mortar. *Materials & Design (1980-2015)* 2013,52:459-469.
- [24] Benazzouk A, Douzane O, Mezreb K, Quéneudec M: Physico-mechanical properties of aerated cement composites containing shredded rubber waste. *Cem. Concr. Comp* 2006. 28 (7): 650–657.
- [25] Senhadji Y, Escadeillas G, Benosman A, Mouli M, Khelafi H, Ould Kaci S: Effect of incorporating PVC waste as aggregate on the physical, mechanical, and chloride ion penetration behavior of concrete. *Journal of Adhesion Science and Technology* 2015, 29(7):625-640.
- [26] Kou S, Lee G, Poon C, Lai W: Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes. *Waste Management* 2009, 29(2):621-628.
- [27] Benosman A, Taïbi H, Mouli M, Senhadji Y, Belbachir M, Bahlouli I, Houivet D: L'effet de l'ajout du PET sur les performances mécaniques des matériaux Composites Mortier-PET (Effect of addition of PET on the mechanical performance of PET-Mortar Composite materials). *J Mater Environ Sci* 2015:559-571.
- [28] Akçaözöğlü S, Ulu C: Recycling of waste PET granules as aggregate in alkali-activated blast furnace slag/metakaolin blends. *Construction and Building Materials* 2014, 58:31-37.
- [29] Foti D: Use of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concrete. *Composite Structures* 2013, 96:396-404.
- [30] Aattache A, Mahi A, Soltani R, Mouli M, Benosman AS: Experimental study on thermomechanical properties of Polymer Modified Mortar. *Materials & Design (1980-2015)* 2013,52:459-469.
- [31] Aattache A, Soltani R, Mahi A: Investigations for properties improvement of recycled PE polymer particles-reinforced mortars for repair practice. *Construction and Building Materials* 2017,146:603–614

- [32]. Mounanga P, Gbongbon W, Poullain P, Turcry P: Proportioning and characterization of lightweight concrete mixtures made with rigid polyurethane foam wastes. *Cement and Concrete Composites* 2008, 30(9):806-814.
- [33] Yacine A, Ratiba MK, Abderrahmane G: Ceramic waste influence on dune sand mortar performance, *Construction and Building Materials* 2016, 125:703–713.
- [34] Herki B, Khatib J, Negim E: Lightweight concrete made from waste polystyrene and fly ash. *World Applied Sciences Journal* 2013, 21(9):1356-1360.
- [35] Kaya A, Kar F: Properties of concrete containing waste expanded polystyrene and natural resin. *Construction and Building Materials* 2016, 105:572–578.
- [36] Corinaldesi V, Mazzoli A, Siddique R: Characterization of lightweight mortars containing wood processing by-products waste, *Construction and Building Materials* 2016, 123:281–289.
- [37] Chidiac SE, Mihaljevic SN: Performance of dry cast concrete blocks containing waste glass powder or polyethylene aggregates. *Cement & Concrete Composites* 2011,33: 855–863.
- [38] Corinaldesi V, Gnappi G, Moriconi G, Montenero A, Reuse of ground waste glass as aggregate for mortars. *Waste Management* 2005, 25:197–201.
- [39] Matos AM, Nunes S, Sousa-Coutinho J: Cork waste in cement based materials. *Materials and Design* 2015,85:230–239.
- [40] Brás A, Fábio G, Faustino P, Cork-based mortars for thermal bridges correction in a dwelling: thermal performance and cost evaluation. *Energy .Build* 2014, 72:296–308.
- [41] Li JJ, Wan CJ, Niu JG, Wu LF, Wu YC: Investigation on flexural toughness evaluation method of steel fiber reinforced lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials* 2017,131:449–458.
- [42] Aamr-Daya E, Langlet T, Benazzouk A, Quéneudec M: Feasibility study of lightweight cement composite containing flax by-product particles: Physico-mechanical properties. *Cement& Concrete Composites* 2008, 30:957–963.
- [43] Binici H, Aksogan O, Eco-friendly insulation material production with waste olive seeds,ground PVC and wood chips. *Journal of Building Engineering* 2016, 5:260–266.
- [44] Chabannes M, Bénézet J, Clerc L, Garcia-Diaz E: Use of raw rice husk as natural aggregate in a lightweight insulating concrete: An innovative application. *Construction and Building Materials* 2014,70:428–438.
- [45] Chakraborty S, Kundu SP, Roy A, Adhikari B, Majumder SB: Polymer modified jute fibre as reinforcing agent controlling the physical and mechanical characteristics of cement mortar. *Construction and Building Materials* 2013, 49:214–222.
- [46] Boumhaout M, Boukhattem L, Hamdi H, Benhamou B, AitNouh F: Thermomechanical

characterization of a bio-composite building material: Mortar reinforced with date palm fibers mesh. *Construction and Building Materials* 2017.135: 241–250.

[47] Raut AN, Gomez CP: Thermal and mechanical performance of oil palm fiber reinforced mortar utilizing palm oil fly ash as a complementary binder. *Construction and Building Materials* 2016, 126:476-483.

[48] RACHIL, DENDANI.M, «Influence des différentes granulométries des agrégats sur le comportement mécanique du béton ordinaire». Mémoire de master. Université De M'hamed Bougara -Boumerdes, 2016.

[49] HANI A. : « Etude de Comportement d'un Béton Hydraulique Modifié (déchets des pneus), mémoire de master, université Kasdi Merbah Ouargla, 2016

[50] CHAREF A. : « La problématique des granulats au Maroc », Push-Button Publishing, (2007).

[51] MAILLOT R., « Mémento technique des Granulats », les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 166 p., 2001

[52] L. J. Vicat, Traité pratique et théorique de la composition des mortiers, ciments et gangues a pouzzolanes et de leur emploi dans toutes sortes de travaux.

[53] J. M. Sganzi, Programme ou résumé des leçons d'un cours de constructions: avec des applications tirées spécialement de l'art de l'Ingénieur des ponts et chaussées.

[54] R. Vittone, Bâtir : manuel de la construction, PPUR Presses polytechniques, 2010.

[55] Benosman A, Taïbi H, Mouli M, Senhadji Y, Belbachir M, Bahlouli I, Houivet D: L'effet de l'ajout du PET sur les performances mécaniques des matériaux Composites Mortier-PET (Effect of addition of PET on the mechanical performance of PET-Mortar Composite materials). *J Mater Environ Sci* 2015:559-571.

[56] B. THAUVIN et M. MENGUY, Guide d'utilisation du béton en site maritime, centre d'étude techniques maritimes et fluvial.

[57] 2009 Dupain R., Lanchon R. et Saint-Arroman J.-C., “ Granulats, Sols, Ciments et Bétons – Caractérisation des Matériaux de Génie Civil par les Essais de Laboratoire ”, Éditions Casteilla, 2ème Édition, Paris, 2000, p. 26 –394.

- [58] ADAM M. Neville, « propriétés de béton » Eyrolles Paris, 2000.
- [59] Jean- Marie Reynouard, Gilles Pijaudier-Cabot « comportement mécanique du béton, Paris, 2005.
- [60] Georges DREUX, Jean FESTA « Nouveau guide du béton et de ses constituants 8ème édition Eyrolles Paris 1998.
- [61]: Melle BENSEKRANE Kaoutar, Durabilité des ouvrages en béton destinés à l'évacuation des eaux usées dans la vallée de OUARGLA, mémoire de magistère, université de Ouargla 2012
- [62] Fiches techniques : Les constituants des bétons et des mortiers (TOME 1) , Ciments et bétons (Centre d'information sur le ciment et ses applications).
- [63]: CERESO.V: «Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales». Thèse de doctorat en Génie civil. Université Lyon. 2005.
- [64] AFNOR, P 10-502. Pierre - Essai d'absorption d'eau, Paris, 1990;
- [65] Castel, A., Arliguie, G., Chaussadent, T., & Baroghel-Bouny, V. (2001). «La microfissuration superficielle a-t-elle une influence sur la profondeur de carbonatation des bétons». *Revue Française de Génie Civil*, 5(2-3), 231-248.
- [66] Kou S, Lee G, Poon C, Lai W: Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes. *Waste Management* 2009, 29(2):621-628.
- [67] Senhadji Y, Escadeillas G, Benosman A, Mouli M, Khelafi H, Ould Kaci S: Effect of incorporating PVC waste as aggregate on the physical, mechanical, and chloride ion penetration behavior of concrete. *Journal of Adhesion Science and Technology* 2015, 29(7):625-640.
- [68] Albano C, Camacho N, Hernandez M, Matheus A, Gutierrez A: Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios. *Waste Management* 2009, 29(10):2707-2716.
- [69] Saikia N, Brito Jd: Waste polyethylene terephthalate as an aggregate in concrete. *Materials Research* 2013, 16(2):341-350.
- [70] Akçaözöğlü S, Ulu C: Recycling of waste PET granules as aggregate in alkali-activated blast furnace slag/metakaolin blends. *Construction and Building Materials* 2014, 58:31-37.

- [71] Babu DS, Babu KG, Wee T: Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fly ash. *Cement and Concrete Research* 2005, 35(6):1218-1223.
- [72] Herki B, Khatib J, Negim E: Lightweight concrete made from waste polystyrene and fly ash. *World Applied Sciences Journal* 2013, 21(9):1356-1360.
- [73] Ismail ZZ, Al-Hashmi E: Validation of using mixed iron and plastic wastes in concrete. In: *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies Ancona*: 2010; 2010: 393-403.
- [74] Matos AM, Nunes S, Sousa-Coutinho J: Cork waste in cement based materials. *Materials and Design* 2015,85:230–239.
- [75] Frigione M: Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste management* 2010, 30(6):1101-1106.
- [76] Mounanga P, Gbongbon W, Poullain P, Turcry P: Proportioning and characterization of lightweight concrete mixtures made with rigid polyurethane foam wastes. *Cement and Concrete Composites* 2008, 30(9):806-814.
- [77] Choi YW, Moon DJ, Kim YJ, Lachemi M: Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles. *Construction and Building Materials* 2009, 23(8):2829-2835.
- [78] Hannawi K, Kamali-Bernard S, Prince W: Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates. *Waste management* 2010, 30(11):2312-2320.
- [79] Ferreira L, de Brito J, Saikia N: Influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete containing recycled plastic aggregate. *Construction and Building Materials* 2012, 36:196-204.
- [80] Fraj AB, Kismi M, Mounanga P: Valorization of coarse rigid polyurethane foam waste in lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials* 2010, 24(6):1069-1077.
- [81] Senthil Kumar K, Premalatha, P V, and Baskar K: Evaluation of Transport Properties of Concrete Made With E-Waste Plastic. *Journal of Testing and Evaluation* 2017, 45(5) : 1849–1853,
- [82] <http://www.vinylplus.eu/publications/70/59/Progress-Report-2013>.Rapport d'avancement VinylPlus 2013.

- [83] Yacine A, Ratiba MK, Abderrahmane G: Ceramic waste influence on dune sand mortar performance, *Construction and Building Materials* 2016, 125:703–713.
- [84] Gu L, Ozbakkaloglu T: Use of recycled plastics in concrete: A critical review. *Waste Management* 2016, 51:19-42.
- [85] Choi Y-W, Moon D-J, Chung J-S, Cho S-K: Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cement and concrete research* 2005, 35(4):776-781.
- [86] Tang W, Lo Y, Nadeem A: Mechanical and drying shrinkage properties of structural-graded polystyrene aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites* 2008, 30(5):403-409.
- [87] Batayneh M, Marie I, Asi I: Use of selected waste materials in concrete mixes. *Waste management* 2007, 27(12):1870-1876.
- [88] Ismail ZZ, Al-Hashmi EA: Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement. *Waste management* 2008, 28(11):2041-2047.
- [89] Rai B, Rushad ST, Kr B, Duggal S: Study of waste plastic mix concrete with plasticizer. *ISRN Civil Engineering* 2012, 2012.
- [90] Sabaa B, Ravindrarajah RS: Engineering properties of lightweight concrete containing crushed expanded polystyrene waste. In: *Proceedings of the Symposium MM: Advances in Materials for Cementitious Composites, Boston, MA, USA: 1997; 1997: 1-3.*
- [91] Ravindrarajah RS: Bearing strength of concrete containing polystyrene aggregate. In: *Proc the RILEM 8th Int Conf Durability of Building Materials and Components, Vancouver, Canada: 1999; 1999: 505-514.*
- [92] Lima PRL, Leite MB, Santiago EQR: Recycled lightweight concrete made from footwear industry waste and CDW. *Waste management* 2010, 30(6):1107-1113.
- [93] Akçaözöğlü S, Ulu C: Recycling of waste PET granules as aggregate in alkali-activated blast furnace slag/metakaolin blends. *Construction and Building Materials* 2014, 58:31-37.
- [94] Senthil Kumar K, Baskar K: Recycling of E-plastic waste as a construction material in developing countries. *J Mater Cycles Waste Manag* 2015, 17:718 –724.
- [95] Guendouz M, Debieb F, Boukendakdji O, Kadri EH, Bentchikou M, Soualhi H, Use of plastic waste in sand concrete. *J. Mater. Environ. Sci.* 20167, 2 : 382-389.
- [96] Chidiac SE, Mihaljevic SN : Performance of dry cast concrete blocks containing waste glass powder or polyethylene aggregates. *Cement and Concrete Composites* 2011. 33: 855-863.

[97] S.C. Kou, G. Lee, C.S. Poon, W.L. Lai, Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes, *Waste Manage.* 29 (2) (2009) 621–628.

[98] Silva RV, de Brito J, Saikia N: Influence of curing conditions on the durability-related performance of concrete made with selected plastic waste aggregates. *Cement and Concrete Composites* 2013, 35(1):23-31.

Références Normative :

(NF P 18-554 et 555), la norme a pour objet de définir les modes opératoires pour mesure la masse volumique du granulat.

(Norme NA255). Mesure des masses volumiques, porosité, coefficient d'absorption et teneur en eau des gravillons et cailloux. Institut Algérien de la normalisation.

(EN 12620), la norme a pour objet de définir analyse granulométrique

(NF P 18-573), la norme a pour objet de définir pour la détermination de la résistance la fragmentation d'un granulat grossier : l'essai Los Angeles

(Norme NA451). Mesure des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables. Institut Algérien de la normalisation.

(NF P18 – 598), la norme a pour objet de définir une caractéristique des sables intitulée «équivalent de sable».

(NF P 18- 304), la norme a pour objet de définir pour la détermination de Module de finesse

(Norme NA1966). Bétons - Eau de gâchage pour béton de construction. Institut Algérien de la normalisation.

(EN 1961 (Août 1995)) : Méthodes d'essais des ciments - Détermination des résistances mécaniques (indice de classement P 15-471).

(NF P 18-451), la norme a pour objet de définir un essai des bétons frais dit « essai d'affaissement ».

(NBN B15-215) : La norme a pour objet de définir un essai des bétons Durci « Absorption par immersion totale ».

(NF EN-12390-3) La Résistance en compression

(NF EN 12390-6) La Résistance en traction

(NF EN 13286-40) La Résistance en traction directe

(NF EN-12390-5) La Résistance en traction par flexion

(NBN B15-215) La Absorption par immersion

(NF EN 15801) La Absorption d'eau par capillarité

(NF P 18-459) La Porosité accessible à l'eau

Annexes



المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر
GROUPE INDUSTRIEL DES CIMENTS D'ALGERIE
SOCIETE DES CIMENTS DE AÏN TOUTA

« **S.C.I.M.A.T.** »

S.P.A. au Capital social de : 2.250.000.000,00 D.A. : **الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية**
 N° Identification Fiscale : 098600221008 - N° Carte d'Impôt sur : 5301071340 - N° Registre de Commerce : 0221043098

FICHE DE QUALITE

Produit
Ciment CPJ- CEM II/A 42.5

Mois
Novembre/ 2014

Caractéristiques Physico - Mécaniques				Composition Chimique		
Désignation	Unité	Garantie (N.A.442)	Mesure	Elément	Garantie (N.A.442)	Teneur %
Poids Spécifique	G/cm ³	-	3.03	SiO ₂	-	25.13
Surface Spécifique Blaine (N.A.237)	cm ² /g	-	4215	Al ₂ O ₃	-	4.49
Consistance Normale (N.A.239)	%H ₂ O	-	27.86	Fe ₂ O ₃	-	3.49
Temps De Prise (N.A.230)	Début	h / min	> 1h 30h	CaO	-	55.05
	Fin	h / min	-	MgO	-	1.09
Expansion à Chaud (N.A.232)	mm	<10	0.97	K ₂ O	-	0.88
Retrait (28 jours) (N.A.440)	µm/m	<1000	616	Na ₂ O	-	0.38
Gonflement (28 jours) (N.A.440)	µm/m	-	0.00	SO ₃	<3.5	2.54
Refus sur tamis 45 µm	%	-	14.43	Cl	≦0.1%	0.021
Résistance à la Flexion (N.A.234)	02 jours	MPa	-	P.A.F 1000°C	-	5.68
	07 jours	MPa	-	CaO Libre	-	0.76
	28 jours	MPa	-	Résidus Insolubles	-	8.69
Résistance à la Compression (N.A.234)	02 jours	MPa	≥12.5			
	07 jours	MPa				
	28 jours	MPa	≥42.50 < 62.5			

