



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 :
MAOUCHE NOUR EL HOUDA

Le : mercredi 30 septembre 2020

L'effet de la substitution des granulats naturels par des granulats plastiques PA sur l'ouvrabilité et le comportement mécanique du béton

Jury :

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

Remerciement

Nous remercions beaucoup, et avant tout, le seul, le puissant et le grand Allah, pour la force et la puissance qui nous adonné tout au long de nos années d'étude.

Nous tenons à remercier les enseignants du département Génie Civil qui ont participé à notre formation au cours de toutes nos années d'études, et particulièrement, Je tien remercie mon encadreur « Mme Haouara Selma », qui a bien voulu nous encadrer pour l'élaboration et le suivi théorique et pratique de notre projet de fin d'étude.

Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont soutenu et aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Merci à tous

Nour El Houda

Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail à :

Ma très chère mère merci pour avoir veillé sur moi, Mon très cher père rien qu'en regardant dans tes yeux je devine l'amour sans limite que tu me réserves merci encore.

Sans oublier mon frère Bachir, sa femme Karima, mes sœurs Ferdaous, Aya et toute ma famille. Et mes camarades

ملخص الدراسة

الهدف من هذه الدراسة هو استكشاف إمكانية إعادة تدوير النفايات البلاستيكية (HDPE) التي يتم إنتاجها الآن بكميات كبيرة. و تمييزها في تركيبة الخرسانة كركام ناعم عن طريق استبدال نسب مختلفة من الرمل (10% ، 20 ، و 30%). كان تأثير حبيبات HDPE على خصائص الحالة قبل التصلب والمتصلبة للخرسانة: السيولة، و الكتلة الحجمية للخرسانة قبل التصلب ، و المقاومة الميكانيكية للضغط وتجربة سرعة نبضات الموجات فوق الصوتية للخرسانة المختلفة. تمت دراسة نتائج التجارب وتحليلها و مقارنتها مع نتائج الخرسانة المرجعية (بدون حبيبات HDPE) و وفقًا للنتائج المتحصل عليها من خلال دراسات سابقة.

أظهرت النتائج أن تعويض لنسبة من الرمل بحبيبات HDPE يحسن السيولة و ينقص من الكتلة الحجمية للخرسانة، ولكنه يقلل من مقاومة الضغط للخرسانة، والتي تبقى مقبولة للخرسانة خفيفة الوزن.

تؤكد نتائج هذه الدراسة فكرة استخدام الركام من النفايات البلاستيكية في مجال البناء ، ولا سيما في صناعة الخرسانة.

الكلمات المفتاحية : الحبيبات: النفايات- البلاستيك- إعادة التدوير – الخرسانة – السيولة

Résumé :

Le but de cette étude est d'explorer la possibilité de recycler un matériau de déchets plastique (PEHD) qui est maintenant produit en grandes quantités dans la formulation du béton comme agrégat fin par substitution d'un pourcentage variable de sable (10%, 20% et 30 %). L'influence des granulats en PEHD sur les propriétés de l'état frais et durci du béton : ouvrabilité, la masse volumique à l'état frais, , résistance à la compression et contrôle de la vitesse des impulsions ultrasonores des différents bétons, a été étudiée et analysée par rapport au béton témoin selon les résultats obtenus. Les autres paramètres tel que : la résistance à la traction et à la flexion et le module d'élasticité ont été discutés à partir des études effectuées par des chercheurs.

Les résultats ont montré que l'utilisation des granulats améliore la maniabilité et la densité, mais réduit la résistance à la compression du béton de déchets, qui ont une résistance mécanique acceptable pour les matériaux légers, reste toujours proche de celles du béton témoin

Les résultats de cette étude confirment l'idée de l'utilisation de des granulats issus des déchets plastiques dans le domaine de la construction, en particulier dans la formulation des bétons.

Mots clés : granulats : déchet – plastique- – recyclage – Béton – ouvrabilité.

ABSTRACT:

The aim of this study is the possibility to explore of recycling a plastic waste material (HDPE) which is now produced in large quantities, in the formulation of concrete as fine aggregate by substitution of a variable percentage of sand (10%, 20 % and 30%). The influence of HDPE aggregates on the properties of the fresh and hardened state of concrete: workability, density in the fresh state, compressive strength and control of the speed of ultrasonic pulses of the various concretes, was studied and analyzed in relation to the control concrete according to the results obtained.

Other parameters such as: tensile and flexural strength and modulus of elasticity have been discussed from studies carried out by researchers.

The results showed that the use of aggregates improves workability and density, but reduces the compressive strength of waste concrete, which has an acceptable mechanical strength for lightweight concrete, still remains close to that of control concrete.

The results of this study confirm the idea of the use of aggregates from plastic waste in the construction sector, in particular in the formulation of concrete.

Keywords: waste - Concrete - aggregates - plastic - recycling - workability

TABLE DES MATIERES

Introduction générale.....

PARTIE THÉORIQUE

CHAPITRE I : Généralités sur le plastique

I.1. Introduction:	5
I.2. Définition et production global de plastique:	5
I.3. Composition des plastiques:	9
I.4. Catégories de polymères :	10
I.4.1. Thermoplastiques:	11
I.4.2. Thermodurcissables:	11
I.5. Types de plastiques :	12
I.5.1. Le polyéthylène téréphtalate (PET) :	13
I.5.2. Le Polychlorure de vinyle (PVC) :	14
I.5.3. Le polypropylène (PP) :	14
I.5.5. Le Polystyrène (PS) :	15
I.5.6. Le polyéthylène (PE) :	16
I.6. la source et le danger des déchets plastiques :	20
I.7. L'impact des déchets plastiques sur l'environnement :	22
I.8. Recyclage du plastique :	24
I.9. Gestion de déchet plastique :	26
I.10. L'intérêt de l'utilisation des déchets plastiques dans le béton et mortier :	27
I.11. Conclusion :	28

CHAPITRE II : Généralités sur béton

II.1. Introduction :	30
II.2. Définition et Historique de béton :	30
II.3. Classification du béton :	31
II.4. Les composant du béton :	32
II.4.1. Les ciments :	33
II.4.2. L'eau de gâchage :	35

II.4.3. granulats :	36
II.4.4. adjuvants :	38
II.5. Essais sur les granulats :	39
II.5.1. Analyse Granulométrique : (P18-560)	39
II.5.2. Equivalent de sable (NF P 18-598) :	43
II.5.3. Masse volumique:	46
II.5.4. Teneur en eau (NF 18-554):	50
II.6. Formulation du béton :	51
II.6.1. Méthodes de calcul du composition du béton selon Dreux Goriss :	52
II.7. Essais sur beton.....	60
II.7.1. Mode opératoire de malaxage :	60
II.8. .Essais sur béton frais.....	64
II.8.1.Mesure de la maniabilité (l'ouvrabilité):	64
II.8.2. Masse volumique à l'état frais (NF EN 12350-6)	66
II.9. Essais sur béton durci	67
II.9.1. Essais de compression (EN 12390-3)	67
II.9.2. Essai de traction par flexion : NFP 18-407.....	69
II.9.3. Module d'élasticité.....	70
II.9.2. essai Ultrason (Norme NF P 18-418).....	72
II.10. conclusion :	73

Partie pratique

CHAPITRE I: Les caractéristiques des matériaux utilisés

I.1. Introduction:.....	75
I.2. Les matériaux utilisés :	75
I.3. Les caractéristiques des matériaux utilisés:.....	80
I.3.1. Analyse Granulométrique :	80
I.3.1.1. Module de finesse :	81
I.3.2. Equivalent de sable :	85
I.3.3. Masse volumique:.....	86
I.3.3.1. La masse volumique absolue :	86

I.3.3.2. La masse volumique apparente:.....	87
I.3.4. Teneur en eau :.....	89
I.4. conclusion :.....	90

CHAPITRE II : Calcul de la formulation (Dreux Gorisse) : Application numérique

I.1. Introduction :.....	92
I.2. Formulation de béton :.....	92
I.2.1. Résistance visée :	92
I.2.2. Choix approprié du coefficient granulaire G :	92
I.2.3. Choix de la classe vraie de ciment σ_c :.....	92
I.2.4. Dosage en ciment par m ³ de béton :	93
I.2.5. Correction du dosage en eau en fonction de Dmax :... ..	93
I.2.6. Tracé de la courbe granulaire de référence :.....	94
I.2.7. Coefficient de compacité :.....	95
I.2.8. Dosage des granulats :.....	95
I.2.9. Connaissons les masses volumiques absolues des granulats:.....	95
I.3. Dosages Des Bétons	96
I.4. Composition et Nombre d'éprouvettes réalisées pour chaque substitution :.....	96
I.5. Conclusion :	100

CHAPITRE III : analyse et discussion des résultats

III.1. Introduction :.....	102
III.2. Les essais programmés avec nombres d'éprouvettes confectionnées :.....	104
III.3. Caractérisation des bétons à l'état frais :	105
III.3.1. Essai d'affaissement NF P18 451:.....	105
III.3.2. La Masse volumique (la densité) à l'état frai :.....	107
III.4 Caractérisation des bétons à l'état durci :.....	109
III.4.1 Résistance à la compression :.....	109
III.4.2 Essais non destructif impulsions ultrasoniques (Norme NF P 18-418) :.....	112

III.5. Conclusion :.....	114
--------------------------	-----

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Matières plastiques historique.....	6
Figure 2 : Domaines d'utilisation du plastique.....	7
Figure 3 : Courbe montrant la production mondiale de plastique.....	8
Figure 4 : Bouteilles en PET.....	12
Figure 5 : Film en PET.:.....	12
Figure 6 : Isolant en PVC plastifié.....	13
Figure 7 : Tuyaux en PVC.....	13
Figure 8: Emballage alimentaire en PP.....	14
Figure 9 : Pare-choc en PP.....	14
Figure 10 : Gobelet en PS.....	14
Figure 11 : Emballage alimentaire en PSE.:.....	14
Figure 12 : Emballage alimentaire en HIPS	15
Figure 13 : Bouteille de lait en PEHD.....	15
Figure 14: Sac réutilisable en PEBD	15
Figure 15 : images de famille de polymère.....	17
Figure 16 : répartition des thermoplastiques dans le monde.....	17
Figure 17 : Bouteille en PEHD.....	18
Figure 18 : Processus d'obtention du Polyéthylène.....	19
Figure 19 : L'impact du plastique sur la mer.....	22
Figure 20 : L'impact du plastique sur la terre.....	22
Figure 21 : schéma de recyclage des plastiques.....	25
Figure 22 : Echelle de Lansink	26
Figure 23 : L'eau potable convient comme eau de gâchage	35
Figure 24 : Les photos suivantes présentent de granulats	37

Figure 25 : série des tamis.....	40
Figure 26 : Tamiseuse.....	40
Figure 27 : Balance	41
Figure 28 : le poids de refus sans tamis	42
Figure 29 : Machine agitatrice	44
Figure 30 : Définition d'équivalent du sable.....	44
Figure 31 : Processus de l'essai équivalent de sable.....	46
Figure 32 : L'échantillon est préparé pour la mesure.....	46
Figure 33 : prise en compte du volume d'un grain dans le calcul de la masse volumique absolue.....	48
Figure 34 : la masse volumique absolue	49
Figure 35 : Abaque permettant la détermination de C_{opt}	55
Figure 36 : Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériau.....	58
Figure 37 : Pesage des granulats	61
Figure 38 : les matériaux dans le malaxeur	61
Figure 39 : le malaxeur	61
Figure 40 : béton frais	61
Figure 41 : Introduction de l'eau	61
Figure 42 : Table vibrante	62
Figure 43 : La mise en place du béton et la conservation des éprouvettes avant le démoulage	63
Figure 44 : Diagramme schématique d'une expérience Affaissement au cône d'Abrams	65
Figure 45 : Le moule de cône d'Abrams	66
Figure 46 : peser le moule vide	67
Figure 47 : peser le moule rempli de béton.....	67
Figure 58 : Machine de compression (CONTROLS).....	68
Figure 49: machine de flexion	69

Figure 50 : Appareil d'ultrason.....	73
Figure 51 : gravier (8/16).....	79
Figure 52: gravier (3/8).....	79
Figure 53 : sable (0/5)	79
Figure 54: ciment CPJ-CEM II/A 42,5.....	79
Figure 55 : Plastique PEHD	79
Figure 56: classes granulaires de sable	81
Figure 57 : courbe granulométrique du sable et du plastique.....	82
Figure 58 : courbe granulométrique des gravies 3/8 et 8/16.....	84
Figure 59 : classes granulaires d'un gravier 8/16 et 3/8.....	84
Figure 60 : Essai de la masse volumique apparente de sable	88
Figure 61: récipient d'essai de volume 5 l.....	88
Figure 62: Échantillon à l'étuve	90
Figure 63 : Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C /E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).....	93
Figure 64: les courbes granulométriques.....	94
Figure 65 : Eprouvette cubique	104
Figure 66 : Eprouvettes prismatiques	104
Figure 67 : Eprouvettes cylindriques	104
Figure 68: Mode opératoire de l'essai d'Affaissement au cône d'Abrams	105
Figure 69 : valeurs d'affaissement pour les quatre types du béton	106
Figure 70 : Variation de la masse volumique à l'état frais selon l'incorporation de AP	108
Figure 71 : la résistance a la compression en fonction du temps pour la BP 10% à appareil de compression	110
Figure 72: la rupture du BP 10% par la force de compression à appareil de compression	110
Figure 73 : variation de la résistance a la compression en fonction de la substitution en AP	

.....	111
Figure 74 : Variation de la vitesse des impulsions ultrasoniques en fonction de l'incorporation des granulats plastiques dans le béton	113

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classification des plastiques par famille de polymère.....	16
Tableau 2 : Symboles et caractéristiques des différents types de plastiques recyclables.....	24
Tableau 3: Valeurs préconisées pour module de finesse.....	43
Tableau 4 : les valeurs limites des masses volumiques des matériaux.....	47
Tableau 5 : Affaissement au cône conseillé en fonction du type d'ouvrage à réaliser.....	53
Tableau 6 : Correspondance entre classe vraie et dénomination normalisée des ciments.....	53
Tableau 7 : Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats Dmax.....	54
Tableau 8 : Correction sur le dosage de pâte en fonction de Dmax.....	56
Tableau 9 : K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment.....	57

Tableau 10 : Compacité du béton en fonction de D max, de la consistance et du serrage.....	59
Tableau 11 : composition chimique du ciment utilisé [FICHE TECHNIQUE].....	76
Tableau 12 : Caractéristiques du ciment [FICHE TECHNIQUE].....	77
Tableau 13 : Propriétés du ciment du fiche techniques.....	78
Tableau 14 : Analyse granulométrique du sable.....	80
Tableau 15 : Analyse granulométrique du plastique.....	80
Tableau 16 : Module de finesse du sable 0/5.....	81
Tableau 17 : Analyse granulométrique de gravier de la classe 3/8 et 8/16.....	83
Tableau 18 : Résultat de l'équivalent de sable.....	85
Tableau 19 : Valeurs préconisées pour l'E.S.....	85
Tableau 20 : Résultat de la Masse volumique absolu de sable.....	86
Tableau 21 : Résultat de Masse volumique absolu de plastique.....	86
Tableau 22 : Résultat de Masse volumique absolue de gravier 8/16.....	86
Tableau 23 : Résultat de Masse volumique absolue de gravier 3/8.....	87
Tableau 24 : Résultat de Masse volumique apparent de sable.....	87
Tableau 25 : Résultat de Masse volumique apparent de plastique.....	87
Tableau 26 : Résultat de Masse volumique apparent de gravier 8/16.....	89
Tableau 27 : Résultat de Masse volumique apparent de gravier 3/8.....	89
Tableau 28 : Résultat de Masse volumique apparent de ciment.....	89
Tableau 29 : les résultats du teneur en eau.....	89
Tableau 30 : Composition d'un mètre cube du béton.....	96
Tableau 31 : Dosages Des BT.....	97
Tableau 32 : Dosages Des BP 10%.....	98
Tableau 33 : Dosages Des BP 20%.....	99

Tableau 34 : Dosages Des BP 30%.....	100
Tableau 35 : tableau en précisant les types de plastiques et les pourcentages de substitutions prises dans les études considérées.....	103
Tableau 36 : les résultats d'affaissement au cône d'Abrams.....	105
Tableau 37 : Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône.....	106
Tableau 38 : Les résultats de la Masse volumique à l'état frais.....	108
Tableau 39 : Les résultats de la résistance à la compression.....	109
Tableau 40 : la vitesse et le temps des impulsions ultrasoniques.....	113

A decorative rectangular border with a wavy, black, ink-like pattern. The border is composed of four sides, each with a small black dot at its center. The corners are rounded and feature a small black dot.

Introduction Générale

Introduction générale

Le béton est actuellement l'un des matériaux de construction les plus utilisés à travers le monde. Depuis sa découverte et pendant de nombreuses décennies, ce matériau n'avait que peu évolué mais, à partir des années 1970-1980, en particulier avec les bétons à hautes performances (BHP). D'autres familles de béton, relatives à certaines applications, ont vu ensuite le jour comme les bétons à très hautes performances (BTHP), les bétons de fibres et les bétons de poudre réactive (BPR).

Cette consommation sur les constituants du béton a induit une exploitation intensive des carrières de granulats qui a entraîné à un épuisement de ces matériaux naturels et des problèmes environnementaux. De même en Algérie, la totalité de la production du béton dans le bâtiment et les travaux publics est composée seulement de granulats d'origine naturelle. Les contraintes liées à la croissance de la demande ces dernières années pour ce type de granulats, nécessitent le recours à d'autres alternatives que les granulats naturels.

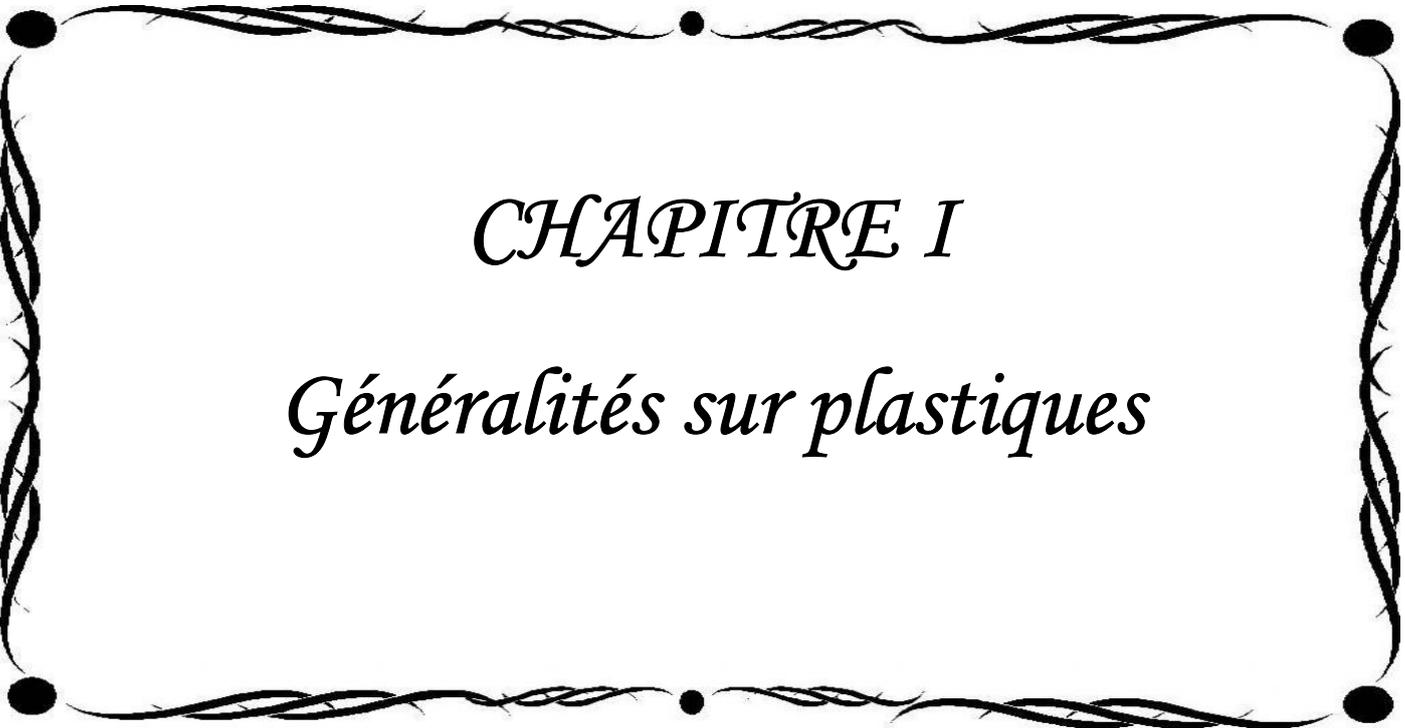
L'emploi des déchets et des sous-produits dans le secteur du bâtiment, répond simultanément au souci d'économie des ressources naturelles en granulats ainsi qu'à l'obligation de limiter la mise en décharge aux seuls déchets ultimes. Parmi ces déchets, on distingue les déchets plastiques, qui représentent un déchet valorisable important tant en volume qu'en masse. Plusieurs travaux ont été effectués pour évaluer les propriétés du béton contenant divers types de déchets plastiques en tant qu'agrégats.

Ce travail concentre sur l'effet de l'addition du déchet plastique sur le comportement mécanique et l'ouvrabilité du béton où ces déchets ont remplacé une quantité d'agrégats naturels dans la fabrication du béton, ensuite on compare des résultats obtenus par d'autres travaux basés sur l'ajout de diverses formes de plastique au béton. Pour trouver le dosage idéal en granulats plastiques par rapport au poids total du mélange, on mesure la résistance à la compression (à 7 et 28 jours) pour des éprouvettes en béton PA ainsi que l'ouvrabilité et on compare avec les résultats obtenus avec un béton témoin.

Ce mémoire se compose de 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 leur impact sur 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 l'ouvrabilité et le comportement mécanique 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 l'ouvrabilité et la résistances mécanique à la compression à 7 et 28 jours des bétons contenant des granulats plastiques en trois substitutions (10%, 20% et 30%) et l'essai non destructif par ultrason. Pour les autres paramètres tels que la résistances mécanique à la traction ainsi qu'à la flexion et le module d'élasticité le travail expérimental a été interrompu le 12 Mars par le confinement à cause de la situation épidémiologique causée par le Covid19ce qui a changer la contenu de ce chapitre en consacrant une partie à une synthèse sur les études et recherches sur la valorisation des granulats à base de déchets plastiques recyclés une discussion des résultats obtenus et une comparaison avec les résultats des 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.

Partie théorique



CHAPITRE I

Généralités sur plastiques

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

1.1 I.1. Introduction

Les plastiques ont envahi notre vie quotidienne. Il serait tout simplement impossible d'énumérer leurs applications multiples et variées [1]. Les matières plastiques sont majoritairement produites à partir de substances extraites du pétrole et du gaz naturel. Au cours du temps, les recherches ont permis la découverte de nouvelles matières plastiques aux propriétés remarquables. Mais elles sont aussi porteuses d'une mauvaise image, qui provient de la problématique de gestion de leur fin de vie liée à leur difficile dégradation et à ses conséquences associées : pollution des sols, des océans, lacs...

Tous les plastiques n'étant pas recyclables, beaucoup peuvent aujourd'hui être considérés comme des rejets [2]. Son recyclage est intéressant pour la recherche et le développement de technologies permettant de minimiser les problèmes causés par ces déchets [3].

1.2 I.2. Définition et production global de plastique

Le développement des plastiques et diverses révolutions et inventions a commencé dans son histoire (figure 1) vers 1860, jusqu'à la formation du polypropylène en 1954. Depuis lors, les plastiques ont subi un développement continu et sont restés essentiels pour de nombreuses applications de la vie quotidienne [2]. Le mot plastique est un terme courant utilisé pour de nombreux matériaux de nature synthétique ou semi-synthétique [4]. Qui vient du mot grec "plastikos", ce qui signifie prêt à être moulé. Il fait référence à la malléabilité du matériau, sa plasticité durant sa fabrication, qui permet qu'il soit moulé, pressé, extrudé pour prendre les formes les plus diverses : des films, des fibres, des disques, des tubes, des bouteilles, des boîtes et tant d'autres encore [5].

Les plastiques sont des matériaux extrêmement polyvalents. Ils conviennent idéalement pour toute une série d'applications destinées aux consommateurs et à l'industrie. La densité relativement faible de la plupart des plastiques donne à ces produits l'avantage de la légèreté. Et, même si la plupart présentent d'excellentes propriétés d'isolation thermique et électrique, certains plastiques peuvent être conçus pour conduire l'électricité le cas échéant. Ils sont résistants à la corrosion face à de nombreuses substances qui attaquent d'autres matériaux et sont donc plus durables et conviennent à des utilisations dans des environnements hostiles. Certains sont transparents, ce qui rend leur utilisation possible en matière optique. Facilement modulables

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

dans des formes complexes, il est facile d'intégrer d'autres matériaux, ce qui les rend aptes toute une série de fonctions. En outre, si les propriétés physiques d'un plastique donné ne répondaient pas aux exigences spécifiées, l'équilibre de ces propriétés peut être modifié en ajoutant un rembourrage de renforcement, des couleurs, des agents moussants, des agents ignifuges, des plastifiants, etc., pour répondre aux demandes d'une application spécifique [5].

CHAPITRE I : Généralités sur plastique



1862 : présentation par Alexander PAEKER du nouveau matériau la parkesine obtenu par dissolution de la nitrocellulose dans l'alcool.



1869 : Invention du premier plastique appelé celluloid par Jon Wesley HYATT



1907 : Invention de la Bakélite par Léo BAEKELAND. Premier plastique entièrement synthétique .



1926 : Plastification du PVC par Benjamin Franklin GOODRICH grâce à des additifs .



1933 : Révolution du polyéthylène



1934 : Mise au point du plexiglas et attribution du premier prix sous la marque Plexiglas par Otto RÖHM



1937 : Mise au point du polyuréthane par le Dr. Otto BAYER



1938 : Invention du nylon, symbole de la puissance américaine; déposé par le chimiste américain Wallace Hqume CAROTHER



1944 : Amélioration de la fabrication des premières matières plastiques et découverte de nouvelles encore plus performantes : naissance du polystyrène en expansion.



1945 : Création du téflon par l'équipe du Dr J.Plunkett ROY du laboratoire Jackson Du Pont de Nemours. Matériaux résistants aux produits chimiques et à la chaleur, pour emploi domestique



1950 : création des fibres , le Dacron par la société américaine Du Pont de Nemours



1953 : Mise au point simultanée par l'Allemagne et les Etats-Unis du polycarbonate nouveau concurrent pour le verre



1954 : Mise en forme du polypropylène et prix Nobel partagé

Figure1 : Matières plastiques historique.

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

En principe, les plastiques peuvent être développés avec pratiquement toutes les combinaisons de propriétés pour pouvoir convenir pour toute application que vous auriez pu imaginer. En raison de ces propriétés très attractives, les plastiques sont de plus en plus utilisés dans les domaines suivants :



Figure2 : Domaines d'utilisation du plastique.

Avec la médiatisation croissante du fléau de la pollution plastique des océans, l'opinion publique est devenue beaucoup plus critique à l'égard de l'utilisation des matières plastiques, en particulier concernant les emballages et les objets à usage unique. Les producteurs et les consommateurs tentent désormais de trouver des moyens de les remplacer, alors que l'interdiction de certains produits plastiques à usage unique est entrée en vigueur au 1er janvier 2020 en France.

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

Notre infographie revient sur l'essor de l'industrie plastique depuis les années 1950. Selon l'organisation **PlasticsEurope**, la production mondiale de plastique s'élevait à 1,5 million de tonnes métriques en 1950, avant d'atteindre le seuil des 50 millions en 1976 puis celui des 100 millions en 1989. Et malgré les critiques, l'industrie plastique continue actuellement de croître à l'échelle mondiale. En 2018, environ 360 millions de tonnes métriques de plastique ont été produites, soit une hausse annuelle de 3 % [6].

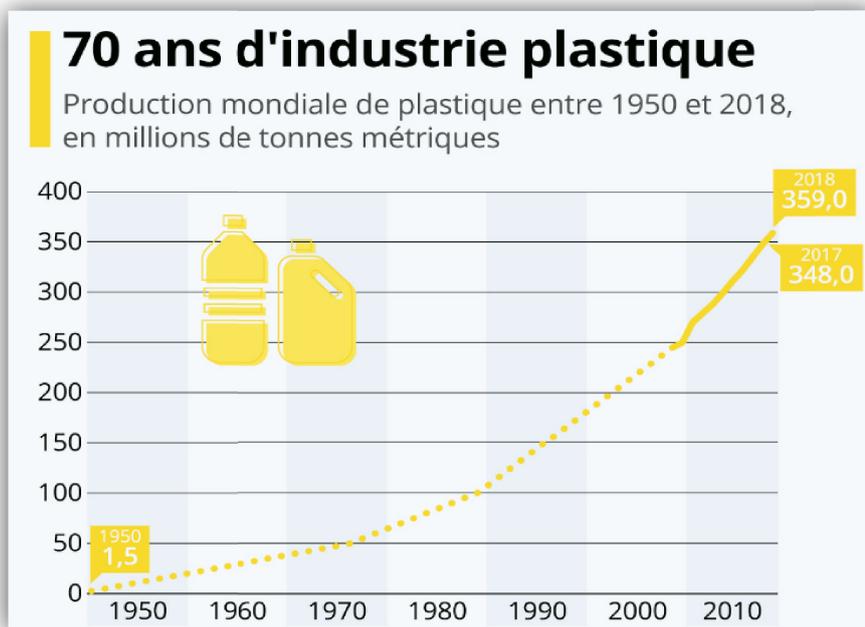


Figure3 : Courbe montrant la production mondiale de plastique.

I.3. Composition des plastiques

Le plastique est le plus souvent constitué de: polymère(s) brut(s) (résine(s) de base) + charges + plastifiant(s) + additifs.

Une matière plastique est un mélange contenant une matière de base, un polymère. C'est un ensemble formé de plusieurs macromolécules (grosses molécules, donc à masse molaire importante) de même nature chimique. Le plus souvent un polymère est organique (molécule contenant du Carbone et de l'hydrogène). Un polymère peut être naturel (ADN), artificiel (par modification

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

chimique d'un polymère naturel) comme l'acétate de cellulose (utilisé auparavant pour les bobines de film), ou encore synthétique par polymérisation (réaction chimique avec apparition d'eau) d'un monomère (molécule utilisée pour la synthèse constituée de molécules simples) comme le polystyrène. Les polymères sont devenus l'élément essentiel d'un nombre très important d'objets de la vie courante, dans lesquels ils ont souvent remplacé les substances naturelles. Ils sont présents dans de nombreux domaines industriels. [7]. Les plastiques sont des molécules à base de carbone constituées d'un enchaînement répété d'une ou deux unités de base. Ceux-ci sont sélectionnés en fonction de leurs propriétés spécifiques. Le polyéthylène téréphtalate (PET) convient bien à l'emballage alimentaire car il est clair et possède d'excellentes propriétés barrières à l'oxygène et à l'humidité. Le polypropylène (PP) et le polyéthylène haute densité (HDPE) possèdent une bonne résistance aux acides et solvants et sont utilisés pour emballer les savons et détergents domestiques. Le polyvinyle chloré (PVC) se compare avantageusement aux autres polymères en termes de propriétés mécaniques et durabilité, et sa versatilité permet la fabrication d'objets ou d'emballages rigides ou flexibles. Le polystyrène (PS) peut quant à lui être utilisé sous forme rigide, lorsque la transparence est importante, ou expansé pour ses propriétés isolantes [8]. Les familles de polymères communément utilisés par l'industrie de l'emballage sont répertoriées au tableau 1.

Les polymères sont mélangés avec d'autres substances (additifs) afin de générer des plastiques avec les propriétés souhaitées. Par exemple, des charges minérales ou des fibres servent à renforcer la structure. Des molécules halogénées ou phosphorées peuvent être utilisées comme retardateurs de flamme. Certains composés plastifiants augmentent la malléabilité du plastique, et des composés comptabilisant favorisent l'homogénéisation lorsque plusieurs polymères sont mélangés ensemble. Enfin, des composés antioxydants et des stabilisants sont également employés pour augmenter la durabilité du produit [9].

I.4. Catégories de polymères

Il existe trois grandes catégories de polymères : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

I.4.1. Thermoplastiques:

Les polymères ou les résines thermoplastiques sont des composés, dérivés d'éléments constitutifs organiques se formant naturellement, qui fondent lorsqu'on les chauffe. Ce sont des matières «transformables à l'état fondu », ce qui signifie qu'on peut leur donner des formes utilisables lorsqu'elles sont en phase liquide (fondues) ou visqueuse. Dans la plupart des procédés de fabrication, les thermoplastiques sont chauffés, puis formés par moulage par injection, extrusion ou thermoformage, avant d'être refroidis afin que le produit fini conserve sa forme. En fonction de la polymérisation on obtient différents produits qui sont :

- les PVC (Chlorure de Polyvinyle),
- les polyéthylènes,
- les polystyrènes et
- les polypropylènes.

I.4.2. Thermodurcissables

Une matière thermodurcissable est un polymère qui durcit sous l'action de la chaleur. Les molécules le constituant (monomères) se lient les unes aux autres pour le rendre plus rigide en formant un réseau tridimensionnel. Une matière thermodurcissable ne peut être mise en œuvre qu'une seule fois .Il n'est donc pas recyclable. La mise en œuvre des thermodurcissables implique la réalisation d'un réseau tridimensionnel dans le moule. C'est-à-dire que la matière liquide ou visqueuse va devenir définitivement solide : c'est la réticulation. Lorsque la matière est solide, on dit qu'elle est réticulée. Il existe 3 méthodes de transformation :

- L'injection : un ensemble vis / piston semblable à celui de l'injection des thermoplastiques permet un préchauffage et une plastification de la matière thermodurcissable, puis l'injection dans le moule chaud, où va se produire la réticulation.
- La compression : La matière est placée dans un moule chaud. Ce dernier se ferme sur la matière.
- La compression transfert : La matière est placée dans un cylindre chauffant et un piston pousse la matière dans les empreintes.

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

Ces polymères présentent les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc. Les élastomères sont caractérisés par leur grande déformabilité (6 à 8 fois leur longueur initiale), et sont obtenus à partir de polymères linéaires caractérisés par des liaisons extrêmement faibles. Ces polymères sont donc des liquides très visqueux. Pour être utilisées comme caoutchouc, des liaisons pontales (nœuds de réticulation) doivent être introduites entre les chaînes, conférant ainsi aux matériaux une structure tridimensionnelle qui assure la réversibilité de la déformation mécanique. Les nœuds de réticulation sont introduits par une réaction chimique appelée vulcanisation après la mise en forme du matériau [10].

I.5. Types de plastiques

Deux grandes familles de plastiques peuvent être distinguées. Les thermoplastiques sont des polymères dont les caractéristiques mécaniques varient avec la température. Sous l'effet de la chaleur, les chaînes de ces polymères glissent les unes par rapport aux autres. Cela permet donc de les ramollir un grand nombre de fois, sans quoi le recyclage de ces matières ne serait pas possible (Carrega et al. 2012). Les thermodurcissables sont quant à eux constitués de polymères réticulés ou en réseaux. Contrairement aux thermoplastiques, ils sont rigides et fragiles. Un apport de chaleur ne contribue qu'à figer voire dégrader la matière (Carrega et al. 2012). Ils ne sont donc pas recyclables et ne feront pas l'objet de ce travail. Les élastomères (caoutchoucs), présentant des propriétés élastiques remarquables, pourraient aussi être cités. Ils ne font cependant pas strictement partie des matières plastiques. Les thermoplastiques repris dans la liste ci-dessous englobaient 73,2% de la demande européenne en plastique en 2016. On y retrouve le PET (7,4%), le PVC (10%), les différents PE (29,8%), le PP (19,3%) et les différents types de PS (6,7%) (Plastics Europe, 2017). L'accent sera donc mis ici sur les différents thermoplastiques :

I.5.1. Le polyéthylène téréphtalate (PET)

Le PET est le thermoplastique le plus communément utilisé. C'est un produit de polycondensation⁵ de l'acide téréphtalique (C₈H₆O₄) avec l'éthylène glycol (C₂H₆O₂) (INRS, 2017). C'est un polyester transparent avec une bonne stabilité et de bonnes propriétés mécaniques et chimiques (Sulyman et al. 2016). Léger, il est aussi fortement inerte et permet donc son utilisation en secteur alimentaire (Welle, 2011). Cependant, la stabilité ⁵ La polycondensation est une polymérisation par étapes indépendantes. ¹² de PET recyclé est plus

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

discutée et les produits faits de PET recyclés semblent être de qualité moindre (Linda et al. 2008). Leur broyage engendre aussi la production de nombreuses paillettes.

Trois flux principaux sont distingués (Sulyman et al. 2016). Tout d'abord celui des bouteilles (Figure 4), sachant que celles-ci représentent la plus grande part du plastique en circulation et qu'elles sont principalement faites de PET (Ramadevi et al. 2012). Ensuite, on retrouve les films plastiques (Figure 5. Film en PET) et enfin, ils sont utilisés pour renforcer certains pneus, même si cette voie implique des difficultés lors du recyclage. Ils peuvent aussi entre autres renforcer certains matériaux de construction en se substituant au sable (Ramadevi et al., 2012). A noter qu'une bonne partie du PET est actuellement recyclé à l'étranger (OVAM, 2017).



Figure 4 : Bouteilles en PET.



Figure 5 : Film en PET.

I.5.2. Le Polychlorure de vinyle (PVC)

Polymère du chlorure de vinyle (C_2H_3Cl), ce plastique amorphe contient une grande quantité de chlore (56%) et possède une granulométrie variable selon son mode de fabrication. Il présente une remarquable résistance à l'abrasion, une bonne résistance à la corrosion, isole électriquement et possède aussi une bonne rigidité à température ambiante. Il est cependant plus fragile à des températures inférieures à $-10^{\circ}C$. Il peut être plastifié (Figure 6), ce qui a pour effet

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

d'atténuer ce défaut, mais cela va par ailleurs diminuer sa résistance à la corrosion et le rendre souple à température ambiante. Facilement recyclable, diverses applications lui sont trouvées telles que dans le secteur des emballages, de la construction (châssis, tuyaux (Figure 6), de l'automobile ou en bagagerie (Carrega et al. 2012). Les déchets plastiques en PVC sont prévus en Figure 5. Bouteilles en PET Figure 6. Film en PET 13 augmentation étant donné que la plupart des produits faits en PVC sont conçus pour durer environ 30 à 40 ans. Un recyclage matière ou chimique est envisagé (Sadat-shojai et al. 2017). Celui-ci donne une poudre utilisée notamment pour produire du textile (Brula & Thoumelin, 2007).



Figure 6 : Isolant en PVC plastifié.



Figure7 : Tuyaux en PVC.

I.5.3. Le polypropylène (PP)

Polymères du propène (C_3H_6), ces plastiques semi-cristallins existent sous trois formes dépendant de la disposition de leurs groupes méthyles ($-CH_3$) en fonction du plan de la chaîne carbonée principale. Leurs principales caractéristiques sont d'être très léger et de posséder une perméabilité à la vapeur d'eau très faible. Isolants électriquement, ils ont globalement une bonne dureté, résistance à l'abrasion et à la corrosion mais sont sensibles aux UV (Biron, 2012).

CHAPITRE I : Généralités sur plastique



Figure 8 : Emballage alimentaire en PP.



Figure 9 : Pare-choc en PP.

I.5.5. Le Polystyrène (PS)

Ce polymère styrénique (C_8H_8) est divisé en trois classes. Le polystyrène standard, le polystyrène de choc ou 'High Impact Polystyrène' (HIPS) et le polystyrène expansé (PSE) (Mahiout, 2014). . Le polystyrène standard est amorphe, d'origine transparent, rigide et cassant. (Figure 10). Le polystyrène choc, lui aussi amorphe, est polymérisé en présence d'un élastomère renforçant. (Figure 10). Le polystyrène expansé diffère en fonction de s'il est obtenu par moulage ou extrudage. Il est constitué d'alvéoles remplies d'air léger et est isolant thermiquement. Il amortit très bien les chocs et est donc très pratique pour emballer des produits fragiles ou alimentaires (Figure 10).



Figure 10 : Gobelet en PS



Figure 11 : Emballage alimentaire en PSE

CHAPITRE I : Généralités sur plastique



Figure 12 : Emballage alimentaire en HIPS

I.5.6. Le polyéthylène (PE)

Basé sur le monomère d'éthylène (C_2H_4), le PE constitue une large famille dont les propriétés varient avec le processus de polymérisation. On peut ainsi obtenir du polyéthylène à basse densité (PEBD), du polyéthylène linéaire à basse densité (PEBDL), qui a de meilleures propriétés mécaniques et les polyéthylènes à moyenne ou haute densité (PEMD et PEHD), plus dense, moins flexible mais aussi plus rugueux et cristallin. Ils peuvent être réticulés ou non et être utilisés ensemble pour combiner leurs propriétés. D'une manière générale, ils sont économiques, peu denses (même les PEHD), isolants électriquement, résistants à la corrosion, aux UV et aux impacts (Biron, 2012). Le PEHD peut être utilisé pour confectionner des jouets, des bouteilles de lait (Figure 13) de shampooing ou des tuyaux. Le PEBD se retrouvera par exemple dans les sacs réutilisables (Figure 14) ou les fils alimentaires (PEBD) (Plastics Europe, 2017). Son produit de recyclage donne des granules. [11]



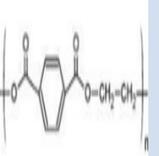
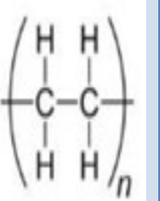
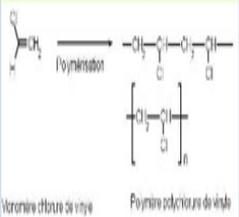
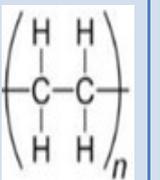
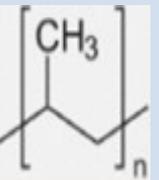
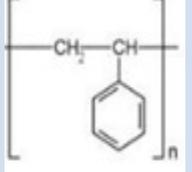
Figure 13 : Bouteille de lait en PEHD.



Figure 14 : Sac réutilisable en PEBD.

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

Tableau 1 : Classification des plastiques par famille de polymère

	PET	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS
Nom	Polyéthylène téréphtalate	Polyéthylène haute densité	Polyvinyle chloré	Polyéthylène basse densité	Polypropylène	Polystyrène
Code	#1	#2	#3	#4	#5	#65
Collecte sélective	Accepté	Accepté	Accepté	Accepté	Accepté	Non- accepté
Prix de vente	260	514	n.d	n.d	n.d	n.d
						

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

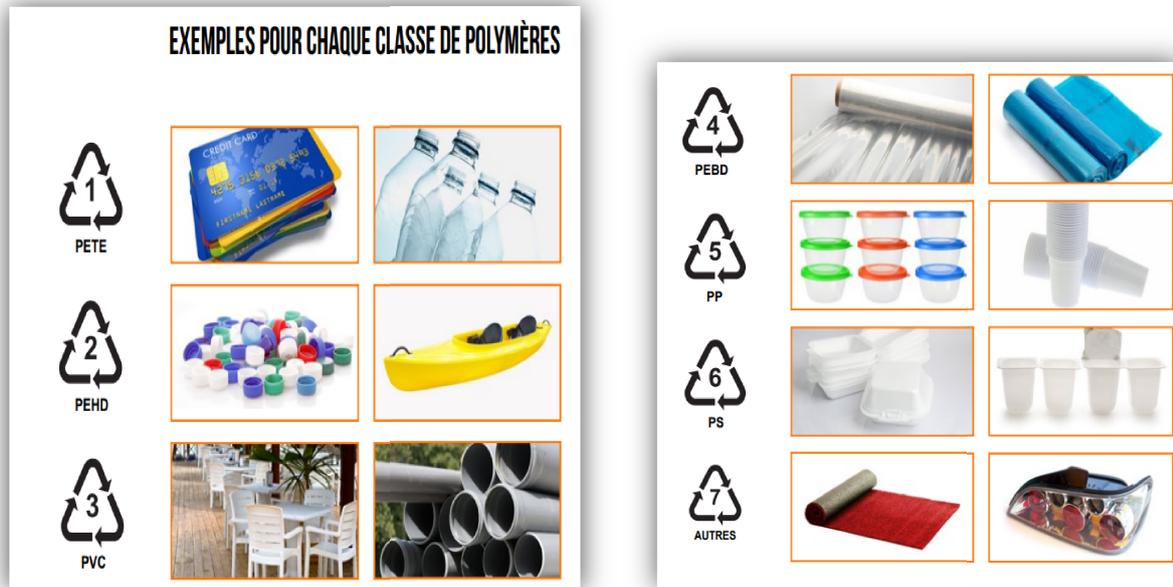


Figure15 : images de famille de polymère.

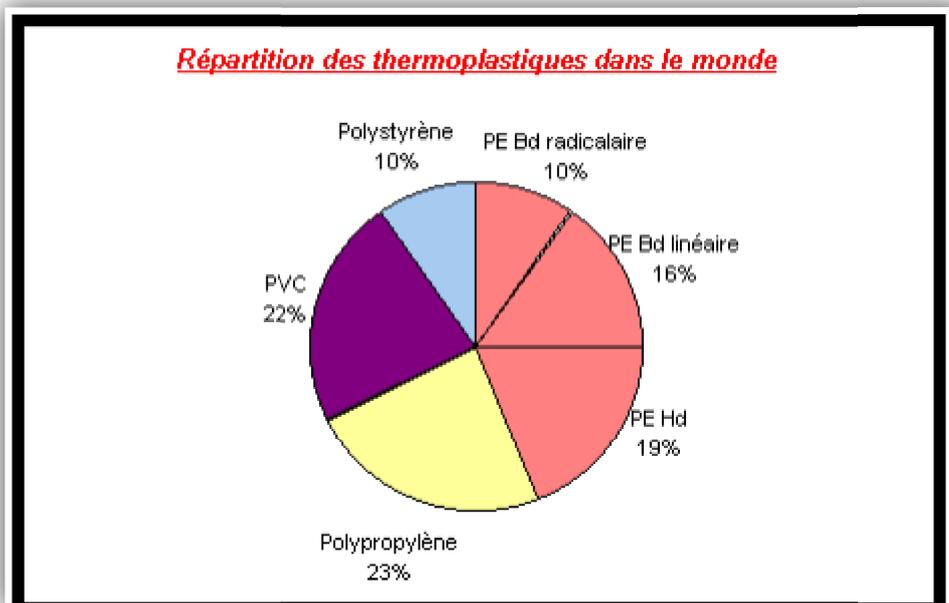


Figure16 : répartition des thermoplastiques dans le monde.

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

I.5.6.1. Le polyéthylène à haute densité PEHD

a. Définition

Le polyéthylène à haute densité est aussi un plastique. On l'appelle ainsi car il est obtenu par la polymérisation (association des monomères pour former une macromolécule) des monomères d'éthylène ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$). Il est surtout utilisé pour les emballages plastiques comme par exemple pour les bouteilles mais la plus part du temps il est utilisé pour les bouchons de ces dernières [7].



Figure 17 : Bouteille en PEHD.

b. Processus d'obtention du polyéthylène

Issu des hydrocarbures, le PE résulte de l'association de nombreuses molécules simples selon une réaction de polymérisation, qui a lieu dans un réacteur chimique sous pression et une température donnée, en présence de catalyseurs (Figure 18). La variation d'un ou plusieurs de ces paramètres peut changer la structure de la matière obtenue, appelée "polymère".

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

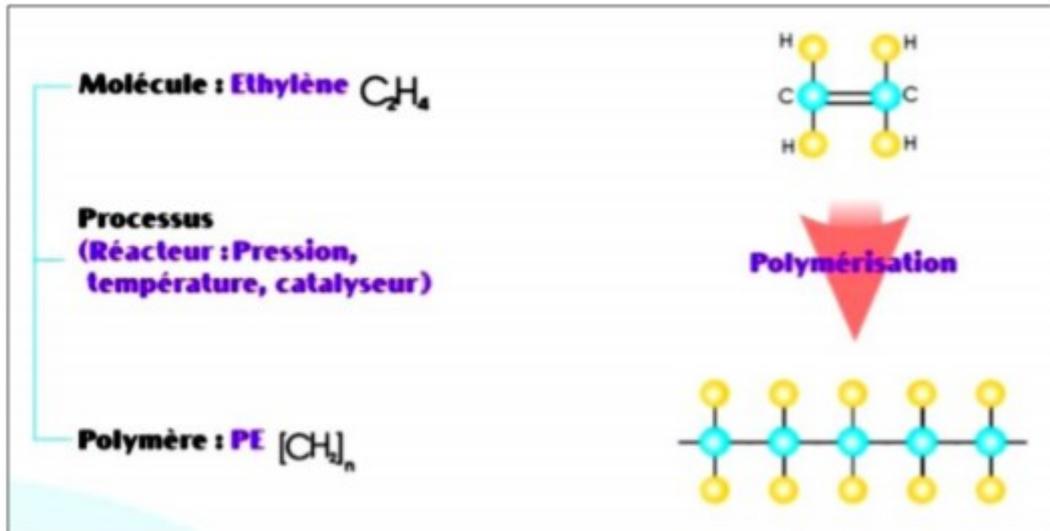


Figure 18: Processus d'obtention du Polyéthylène.

Propriétés: Le polyéthylène est un polymère thermoplastique, translucide, chimiquement inerte (il est plus résistant aux oxydants forts que le polypropylène), facile à manier et résistant au froid. Les trois principales familles de PE sont le HDPE (PE haute densité), le LDPE (PE basse densité) et le LLDPE (PE à basse densité linéaire). Le LDPE est plus ramifié que le HDPE, ce qui signifie que les chaînes s'assemblent moins bien entre elles. Les forces intermoléculaires de type van der Waas sont donc plus faibles. Il en résulte un taux de cristallinité moindre, une plus faible densité, une malléabilité et une résistance aux chocs plus élevées. En revanche, le HDPE est plus rigide. [12]

Le polyéthylène haut densité est un polymère thermoplastique de grande diffusion. Il fait partie de la famille des polyoléfines, au même titre que les polyéthylènes basse ou moyenne densité, et le propylène, qui font l'objet d'articles séparés dans le présent traité. Les principales qualités du PE-HD : résilience même à basse température, résistance aux produits chimiques, faible sensibilité à l'eau, imperméabilité à la vapeur d'eau, excellentes propriétés électriques, en font un matériau de choix dans les applications les plus variées comme l'extrusion-soufflage de corps creux, l'injection d'articles les plus divers, l'extrusion de films, tubes et câbles pour ne citer que les plus importantes [13].

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

Le Polyéthylène Haute Densité (abréviation PE-HD) a profité des nombreuses recherches faites précédemment sur le PE-BD (le polyéthylène basse-densité), lancées en 1932. Ces recherches proviennent du lancement d'un programme de recherche sur les réactions de chimie organique effectuées à 3000 bars par le Hollandais MICHEL. Ces résultats ont permis de profiter de 20 ans d'expériences dans le domaine. La découverte de "la polymérisation par catalyse ionique de l'éthylène" fut les bases pour la conception du PE-HD. La conception du PE-HD provient du chimiste allemand Karl Ziegler (qui reçoit le prix Nobel en 1963 avec l'italien Giulio Natta) [14].

- polyéthylènes haute densité ou PE-HD : $0,95 \text{ g/cm}^3 < \rho < 0,97 \text{ g/cm}^3$.

c. Valorisation de PEHD

Les emballages fabriqués en polyéthylène sont entièrement recyclables. Ils peuvent être collectés via les conteneurs présents dans les villes ou via la poubelle de tri sélectif. Les déchetteries récupèrent également ce type de plastique.

Les emballages collectés partent ensuite vers un centre de traitement pour être triés, famille par famille. Le polyéthylène est par exemple isolé des autres plastiques puis aplati pour être stocké sous forme de balles (gros cube). Après cette opération, il est envoyé dans un centre de recyclage. Broyé, lavé puis séché, il est transformé en paillettes et incorporé dans la production de nouveaux contenants.

Quand il présente des signes d'usure, le plastique de polyéthylène est entièrement recyclé. On commence par le broyer avant de le chauffer à 200 degrés. Ensuite, il est prêt à entrer dans la composition d'objets en plastique.

C'est avec cette matière particulièrement résistante et atoxique que sont notamment conçus tous les sacs plastiques, les bouteilles de lait, les flacons de lessive, les jouets pour enfants, film d'emballage, tubes. [15].

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

I.6. Source et le danger des déchets plastiques

Il favorise notre hygiène de vie grâce à la conservation des aliments et permet d'économiser de l'énergie pour le transport grâce aux matériaux compactés.

La fabrication intensive du plastique dès 1970 apporte de nombreux avantages pour la société, et offre un avenir technologique et médical avancé. Mais le problème principal du plastique est souvent celui de son usage unique [2].

La production du plastique comprend également l'utilisation des produits chimiques potentiellement nocifs, qui sont ajoutés comme stabilisateurs ou colorants.

L'élimination des produits plastiques contribue également de manière significative sur leur l'impact environnemental. Parce que la plupart des plastiques prennent beaucoup de temps pour se décomposer, probablement pouvant aller jusqu'à des centaines d'années, bien que personne ne sache avec certitude que les plastiques ne durent pas longtemps quand ils sont mis en décharge.

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 [16].

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. [17]

I.7. L'impact des déchets plastiques sur l'environnement

L'impact environnemental du plastique est impossible à nier. En juin 2018, une baleine a été retrouvée morte en Thaïlande. La cause la plus probable de sa mort : les dizaines de sacs plastique qu'elle avait ingérés et qui l'empêchaient de s'alimenter normalement.

Découverte à la fin des années 90, la mer de plastique située dans le nord-est de l'océan Pacifique qui s'étend sur plus d'1,6 million de kilomètres carrés (soit environ la taille de la

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

Mongolie) est un exemple de ces zones d'accumulation de déchets flottants en milieu marin formées sous l'effet des courants.



Figure 19: L'impact du plastique sur la mer.

Outre le danger présenté pour la faune marine (emprisonnement, ingestion...), les déchets plastiques favorisent le transport d'organismes invasifs. Les bactéries ont en effet tendance à s'agglutiner sur la matière plastique, et la migration de certaines bactéries dans des environnements où elles étaient précédemment absentes est une menace non négligeable pour les écosystèmes [18].



Figure 20: L'impact du plastique sur la terre.

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

I.8. Recyclage du plastique

Le recyclage du plastique est considéré comme l'une des meilleures voies de prise en compte du développement durable. Il est devenu, à cet effet, une priorité en termes de gestion du développement durable (Coulibaly, 2008). Jusqu'à récemment, la plupart des objets plastiques en fin de vie étaient mis en décharge. La tendance, aujourd'hui, est de valoriser au maximum ces plastiques usagés (non biodégradables), soit en les recyclant, soit, si cela n'est pas possible pour des raisons techniques ou économiques, en les brûlant dans des incinérateurs pour produire de l'énergie.

Pour le recyclage de ces plastiques, il n'existe pas de bon ou de mauvais moyen, ni de voie unique. En la matière, les systèmes de gestion varient selon les pays en fonction de leurs particularités, de leurs choix stratégiques et des technologies disponibles. En outre, les conditions n'étant pas les mêmes en zone rurale et en zone urbanisée, plusieurs solutions différentes peuvent être mises en œuvre dans un même pays. La valorisation des matières plastiques prend une ampleur de plus en plus considérable, du fait de l'évolution des réglementations sur l'écologie et les demandes sociétales et associatives pour la préservation et la qualité de l'environnement. Quelques codes d'identification de matières plastiques en fonction de leur recyclabilité ont été déterminés (Gervais, 2010 ; CSEMP, 2004 ; Society of Plastic Engineers, 2008 ; Hannequart, 2004) et sont énumérés dans le tableau II [10].

Aux États-Unis, 80 % des déchets plastiques post-consommation sont envoyés à la décharge, 8 % sont incinérés et seulement 7 % sont recyclés. En plus de la nécessité de réduire les quantités des déchets en plastique par élimination, la réutilisation et la revalorisation du plastique peut avoir plusieurs autres avantages:

Conservation des énergies fossiles non-renouvelables, la production en plastique utilise 8 % de la production mondiale du pétrole dont 4 % comme matière première et 4 % au cours de la fabrication

Réduction de la consommation énergétique.

Réduction des déchets solides mis en décharges.

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

Réduction des émissions du dioxyde de carbone (CO₂). l'oxyde d'azote (NO) et du dioxyde de soufre (SO₂) [16].

Tableau 2 : Symboles et caractéristiques des différents types de plastiques recyclables

N° de recyclage	Abréviations	Nom du polymère	Utilisation
	PETE ou PET	Polyéthylène téréphtalate	Recyclable pour produire des bouteilles de limonade, des plateaux de traiteur et de boulangerie, des vêtements, des tapis, des pinceaux, etc.
	HDPE ou PEHD	Polyéthylène haute densité	Recyclable pour produire des bouteilles, sacs à provisions, poubelles, tuyaux agricoles, sous-tasses, barrières, équipement de terrains de jeu, bûches plastiques, Conteneur d'acide (le PEHD est un plastique qui résiste aux acides)
	PVC	Polychlorure de vinyle	Recyclable pour produire des tuyaux, des profilés pour la construction (fenêtres, lames de terrasses, portails...) des grillages et des bouteilles non-alimentaires.
	LDPE ou PEBD	Polyéthylène basse densité	Recyclable pour fabriquer des sacs et films plastiques.
	PP	Polypropylène	Recyclable en pièces de voiture, cabarets, tapis et fibres géo-textiles et industrielles.
	PS	Polystyrène	Recyclable dans une grande variété de produits incluant accessoires de bureau, cabarets, jouets, cassettes vidéos et boîtiers, et panneaux isolants.
	OTHER	Autres plastiques, incluant le polycarbonate, l'acrylique et le nylon	

CHAPITRE I : Généralités sur plastique



Figure 21: schéma de recyclage des plastiques.

I.9. Gestion de déchet plastique

La gestion des déchets plastiques Selon l'échelle de Lansink (Figure 3), outre la prévention, plusieurs types de gestion sont utilisés. Tout d'abord la réutilisation, le recyclage, l'incinération et enfin la mise en décharge. En Europe, 27,3% des déchets plastiques sont mis en décharge, 41,6% sont incinérés et 31,1% sont recyclés (Plastics Europe, 2017) [11].

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

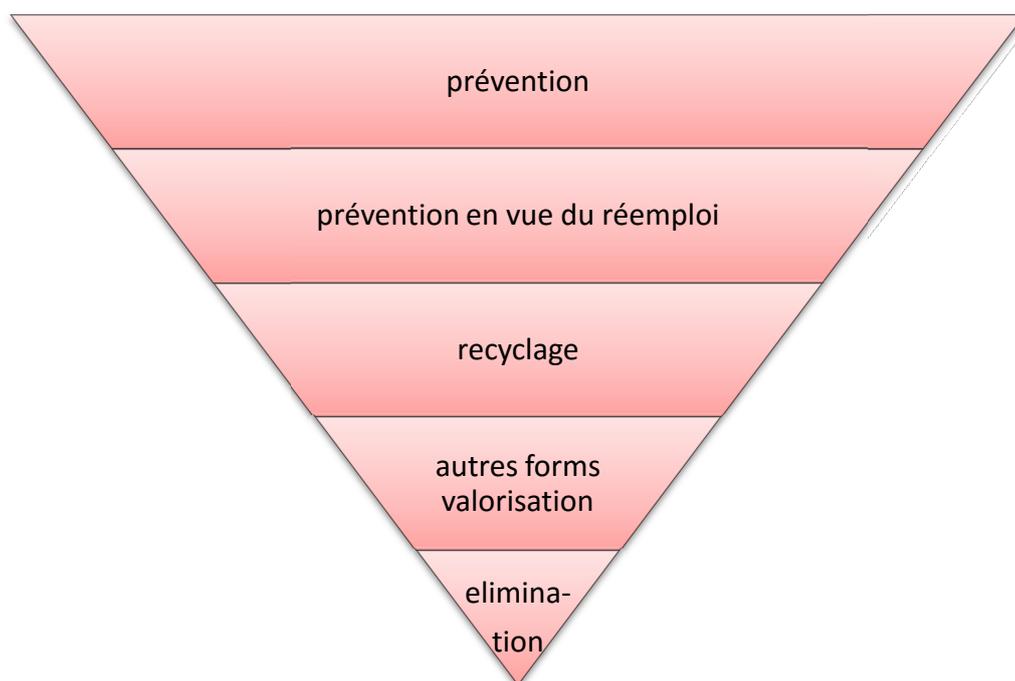


Figure 22 : Echelle de Lansink

I.10. L'intérêt de l'utilisation des déchets plastiques dans le béton et mortier

Des recherches sont menées sur l'utilisation des déchets dans le béton. De tels produits comprennent des pneus, du plastique, du verre, de l'acier, du sable de fonderie brûlé et des sous-produits de combustion du charbon. Chacun de ces déchets a donné un effet spécifique sur les propriétés du béton frais et durci. L'utilisation de déchets dans le béton non seulement le rend économique, mais aussi contribue à réduire les problèmes d'élimination. La réutilisation des déchets volumineux est considérée comme la meilleure alternative environnementale pour résoudre le problème de l'élimination. Un de ces déchets est le plastique, qui pourrait être utilisé dans diverses applications. Cependant, des efforts ont également été déployés pour explorer son utilisation dans le béton.

Le développement de nouveaux matériaux de construction à l'aide de plastiques recyclés est important pour les industries de la construction et du recyclage en plastique [19].

CHAPITRE I : Généralités sur plastique

Le recyclage des déchets plastiques pour produire de nouveaux matériaux comme le béton ou le mortier apparaît comme l'une des meilleures solutions pour éliminer les déchets plastiques, en raison de ses avantages économiques et écologiques.

Plusieurs travaux ont été effectués ou sont en cours pour évaluer les propriétés des matériaux de ciment contenant divers types de déchets plastiques en tant qu'agrégés, charges ou fibres. [19].

I.11. Conclusion

Les déchets constituent un réel problème, inhérent à toute vie biologique et à toute activité industrielle, agricole ou urbaine, et à ce titre, la recherche de solutions est une vraie nécessité pour les collectivités [20]. La récupération et le traitement des déchets des matières plastiques sont devenus un impératif qui gouverne leur développement. Cependant leur valorisation ne se développera que si les conditions de traitement doit répondre à un impératif écologique, le procédé utilisé doit être rentable économiquement. et les déchets utilisés doivent pouvoir être approvisionnés régulièrement en quantité et qualité [1].

L'utilisation des divers déchets en fonction de leur rentabilité d'exploitation et de leurs propriétés. De nombreux types de déchets ne pourront peut-être pas être utilisés à une grande échelle étant donné la diversité de leurs caractéristiques physiques et chimiques.

La valorisation des déchets reste ouverte, à d'autres utilisations et possibilités, permettant ainsi d'élargir la gamme des matériaux de construction, de réduire les déchets à la source et de développer l'utilisation des matériaux recyclés [20].



CHAPITRE II

Généralités sur le béton

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

II.1. Introduction

Les granulats, cailloux, gravillons et sables sont des matériaux naturels. Leurs formes, granularité, propreté, couleur, densité, dureté, varient d'un point à un autre du territoire, de sorte que les qualités d'un béton ne dépendent qu'en partie de celles du liant ; elles peuvent être gravement altérées par les défauts éventuels des granulats ou le mauvais emploi qui en est fait.

Non seulement les granulats peuvent limiter la résistance du béton, mais, selon leurs propriétés, ils affecteront la durabilité et les performances structurales du béton. Ce chapitre s'intéresse davantage aux principes de fabrication, aux caractéristiques et à l'exploitation des gisements des granulats, ainsi qu'aux différents paramètres qui influent sur le comportement du béton.

II.2. Définition et Historique du béton

Le béton, depuis son origine, a été réalisé à partir des composants de base qui sont: le ciment, l'eau et les granulats. Le ciment constitue la phase liante du béton, avec une taille de grains comprise entre 1 et 100 micromètres; le sable, avec une taille de grains comprise entre 1 et 5 mm et les granulats ou graviers de grosseur comprise entre 5 et 25mm.

Les romains le confectionnaient à partir de la chaux, de céramique écrasée et de sable volcanique (Vitruvius "de Architectura" 1er siècle av. J.C.). Le Panthéon de Rome, an 124 après J.C., est couvert par une gigantesque coupole en béton.

Il existe dans la nature sous forme de poudingues calcaires et siliceux, mais c'est aussi un matériau qui est mis en œuvre par l'homme d'abord d'une manière pragmatique dans la maçonnerie romaine qui était faite de cailloux noyés dans un mortier pouzzolanique, puis de manière plus scientifique à partir du 19ème siècle.

Aujourd'hui, il est le matériau le plus utilisé dans tous les domaines de construction, qu'il s'agisse du bâtiment ou des ouvrages d'art comme les ponts ou barrages ou encore dans les pistes d'atterrissage ou jetées de ports.

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

Si le matériau est plastique donc modulable lors de sa fabrication, il acquiert ses propriétés mécaniques au cours du temps. Une fois mature, le béton doit être considéré comme un composite constitué de granulats et d'une pâte de ciment durcie, dont les propriétés dépendent, en grande partie, de sa formulation.

L'évolution des connaissances du matériau, les exigences nouvelles en matière de propriétés ont incité les chercheurs et les industriels à introduire dans les formulations de nouveaux produits afin d'obtenir des propriétés recherchées. Ainsi, actuellement, assiste-t-on à une large variété de gammes de bétons pour répondre à la forte demande des industriels. S'appuyant sur les connaissances de ces nouveaux matériaux, les maîtres d'œuvre proposent des ouvrages innovants. Il s'agit là de réaliser des ouvrages avec des compositions de béton répondant aux critères exigés définis pour chaque ouvrage [21].

II.3. Classification du béton

Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories. Il peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface et peut ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect.

- Les bétons très lourds, dont les masses volumiques peuvent atteindre 6000 kg/m³ servent, entre autres, pour la protection contre les rayons radioactifs. Les bétons courants (lourds) sont les plus utilisés, aussi bien dans le bâtiment qu'en travaux publics. Ils présentent une masse volumique de 2300 kg/m³ environ. Ils peuvent être armés ou non. Ils sont très sollicités en flexion, précontraints. Ils sont performants du point de vue mécanique et du point de vue de l'isolation acoustique (limitent la transmission des sons par vibrations acoustiques). Mais, ils sont moins intéressants du point de vue de l'isolation thermique.
- Pour cette raison, de nouveaux matériaux sont alors apparus, rassemblés sous l'appellation de bétons légers. Ces matériaux font référence à des bétons de masses volumiques plus faibles (inférieure à 1800 kg/m³) que celles des bétons traditionnels et visent principalement une meilleure isolation thermique. Ces matériaux sont obtenus par substitution des gravillons traditionnels, qui peuvent être remplacés : - par

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

des granulats allégés, - par incorporation de bulles d'air (béton cellulaire). Un certain nombre de granulats légers existe à l'état naturel tel que les granulats végétaux qui présentent l'avantage d'utiliser une matière première renouvelable, contrairement aux granulats des carrières dont les ressources s'appauvrissent. Ensuite, ces granulats sont dégradables de manière naturelle, ce qui n'est pas négligeable dans le contexte actuel de limitation des déchets ; c'est le cas du béton de chanvre qui est très apprécié pour sa légèreté et son caractère isolant. Les autres granulats étant obtenus artificiellement par divers procédés chimiques. Parmi ces granulats, il y a le polystyrène expansé. L'intérêt de la légèreté du béton est d'avoir un matériau facile à mettre en œuvre. De plus, il nécessite des fondations moins importantes lors de la construction. C'est dans cette gamme de matériau que se situe le béton à billes de polystyrène, objet de la présente étude. [22].

- Béton lourd (béton courant) : 1800 - 2500 kg/m³.
- Béton très léger : < 500 kg/m³.

Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des liants :

- Béton de ciment (le ciment),
- Béton silicate (la chaux),
- Béton de gypse (le gypse) et
- Béton asphalte ou bitumineux (bitume).

Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface et peuvent ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect [23].

II.4. Les composants du béton

Les bétons sont des matériaux de construction qui contiennent du ciment, de l'eau, du sable, des granulats et des adjuvants (retardateurs ou accélérateurs de prise, réducteurs d'eau...etc.). Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature, les pourcentages des constituants, le malaxage et la mise en œuvre [21]. Le béton est constitué de:

II.4.1. Les ciments

a. Définition

Le ciment est un liant hydraulique qui se présente sous forme de poudre minérale s'hydratant en présence d'eau. Il forme une pâte qui fait prise et qui durcit progressivement à l'air. C'est le constituant fondamental du béton puisque c'est lui qui joue le rôle de cohésion des différents constituants. Le ciment est moulu du refroidissement du clinker qui contient un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à 1450 – 1550 °C, température de fusion. Généralement, on peut utiliser:

- les ciments normalisés (gris ou blanc) ;
- les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt, ..) ;
- les liants à maçonner,
- les chaux hydrauliques naturelles. . [21].

b. Classification des ciments en fonction de leurs compositions

Les ciments constitués de clinker et des constituants secondaires sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux par les normes NF P15-301 et EN 197-1. Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne (la notation française est indiquée entre parenthèse):

- CEM I: Ciment portland (CPA - dans la notation française) : contient au moins 95 % de clinker et au plus 5% de constituants secondaires.
- CEM II A/B: Ciment portland composé (CPJ) : contient au moins 65% de clinker et au plus 35 % d'autres constituants : laitier de haut-fourneau, fumée de silice (limitée à 10%), pouzzolane naturelle, cendres volantes, calcaires.
- CEM III A/B: Ciment de haut fourneau (CHF) : contient entre 36 et 80% de laitier de haut-fourneau et 20 à 64% de clinker.
- CEM III C : Ciment de haut fourneau (CHF) : contient au moins 81% de laitier et 5 à 19% de clinker

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

- CEM IV A/B : Ciment pouzzolanique (CPZ) : Avant l'introduction de la norme NF• EN 197-1, il était connu sous l'appellation CPZ. Ce type de ciment n'est pas fabriqué en France.
- CEM V: Ciment au laitier et aux cendres (CLC) : (anciennement ciment au laitier et• aux cendres) contient de 20 à 64 % de clinker, de 18 à 50% de cendres volantes et de 18 à 50% de laitier de haut-fourneau. Ciment Portland Ciment portland.

Trois classes sont définies en fonction de la résistance normale à 28 jours; des sous classes "R" sont associées à ces 3 classes principales pour désigner des ciments dont les résistances au jeune âge sont élevées. Ces classes sont notées, classe 32,5, classe 42,5, classe 52,5 [25].

c. Formation de ciment

C'est un liant minéral obtenu par décarbonatation d'un calcaire et décomposition d'une argile à une température avoisinant les 1450°C. Broyé sous forme d'une poudre fine souvent d'une couleur grise, en contact avec l'eau il s'hydrate et forme des minéraux hydratés très stables. Les principaux composés du ciment portland sont :

- les silicates tricalciques (alite) : $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ [C3S] ;
- les silicates bicalciques (belite) : $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ [C2S] ;
- les aluminates tricalciques : $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ [C3A] ;
- les aluminoferrites tétracalciques : $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ [C4AF] ;
- Fe_2O_3 Les silicates de calcium (C3S) et (C2S) représentent environ 75% de la masse du ciment. Les caractéristiques granulaires du ciment sont exprimées par sa granulométrie et sa finesse de mouture. Cette finesse de mouture appelée aussi surface spécifique de Blaine peut atteindre 4000 cm^2/g et plus pour les ciments à forte résistance au jeune âge. [26].

II.4.2. L'eau de gâchage

a. Définition

Pratiquement toute eau naturelle potable n'ayant pas une odeur ou un goût prononcé peut être employée pour la fabrication du béton. Cependant, certaines eaux non potables peuvent convenir. Une eau de qualité douteuse peut être utilisée à condition que des cubes de mortier préparés avec cette eau donnent des résistances à 28 jours au moins égales à 90 % de celles obtenues sur des échantillons témoins préparés avec de l'eau que l'on sait potable [23].

L'eau de gâchage est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de béton. Leur rôle :

- Mouiller la surface des granulats, pour que la pâte de ciment puisse y adhérer.
- Permettre la réalisation de cette pâte de ciment.
- Favoriser enfin la maniabilité de béton, en remplissant plus au moins les vides entre les constituants.

Tout comme les autres composants du mélange, l'eau doit être propre. Le dosage doit faire preuve d'une attention particulière :

- Trop d'eau ➡ Mélangé trop mouillé ➡ forte ouvrabilité, entraîne la naissance de fissures et une perte de résistance au moment du séchage.
- Peu d'eau ➡ Mélangé trop sec ➡ Peu Ouvrable. La résistance finale d'un béton dépend du rapport E/C du mélange, ce dernier varie entre 0,4 et 0,6. Les caractéristiques de l'eau de gâchage sont normalisées par la norme NF EN 1008 [27].

b. La fonction :

Dans le béton l'eau remplit deux fonctions essentielles : une fonction physique qui confère au béton frais les propriétés rhéologiques, qui vont lui permettre un écoulement sans ségrégation dans les coffrages ; Une fonction chimique qui contribue au développement des réactions d'hydratation et la formation de la pâte liante dans le béton. L'eau de gâchage doit être propre, elle ne doit pas contenir d'agents agressifs (sels minéraux en quantités abondantes), qui peuvent être facteur de dégradation des structures.. [28].



. Figure 23: L'eau potable convient comme eau de gâchage

II.4.3. Les granulats

a. Définition

Les granulats constituent le squelette du béton. Les granulats se caractérisent par les propriétés intrinsèques de la roche dont ils sont issus : coloration, caractéristiques mécaniques et physico – chimiques. Ils vont influencer directement les propriétés esthétiques, mécaniques et la durabilité du béton. Les granulats sont généralement composés de sable, de gravier, de pierres concassées, de cailloux. La forme et la texture des granulats influencent les propriétés du béton frais et du béton durci Généralement [28].

C'est l'ensemble des grains de dimensions comprises entre 0 et 125mm. Les granulats peuvent être d'origine naturelle (sables et graviers de mer et de rivières), artificiels (argile expansée) ou issue du recyclage de déchets de l'industrie (laitier de haut fourneaux). Ils constituent l'ossature du béton et occupent 70 à 80% environ du volume d'un béton. Ils sont en principe inertes mais peuvent, dans certains cas, favoriser certaines réactions d'hydratation de certains minéraux du clinker c'est l'exemple des silicates tricalciques C3S en présence de filler d'origine calcaire. Leur utilisation pour la confection d'un béton est motivée par le faible coût économique, par une meilleure durabilité et stabilité volumétrique par rapport au mélange (ciment eau). En effet, la nature, la quantité, la forme, la granulométrie, la propreté, l'état de surface et le type de granulats sont des facteurs ayant une influence sur les caractéristiques du béton, aussi bien à l'état durci qu'à l'état frais. . [26].

b. Différents types des granulats

Selon la norme NF EN 12620 [29] on peut classer les granulats en trois catégories:

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 [30].

c. Composition minéralogique des granulats

Les granulas naturels, qu'ils proviennent de roches massives ou de roches meubles, sont essentiellement constitués de silice, de silicates (ces deux familles de minéraux constituent 90% de l'écorce terrestre) et de carbonate [31].



Figure 24: Les photos suivantes présentent de granulats

II.4.4. adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés au béton frais en faible quantité. Ils améliorent les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés. Les principaux adjuvants sont :

- les plastifiants (améliorent la maniabilité et sont réducteurs d'eau),
- les entraîneurs d'air (permettent la formation des micros bulles d'air dans le béton durci)
- les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs),
- les hydrofuges. [31]

II.5. Essais sur les granulats

II.5.1. Analyse Granulométrique : (P18-560) [32]

a. Définition

L'analyse granulométrique est le procédé par lequel on détermine la proportion des différents constituants solides d'un granulat en fonction de leur grosseur à l'aide de tamis. On appelle « refus » sur un tamis le matériau qui est retenu par le tamis, et « tamisât » ou « passants » le matériau qui passe à travers les mailles d'un tamis.

b. But de l'essai

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon .elle s'applique à tous les granulat de dimension nominale inférieure ou égale à 90 mm, à l'exclusion des fillers.

c. Équipements

- Série de Tamis d'ouvertures de mailles normalisées Figure 25) ;
- un échantillon de Ms (g) pour chaque échantillon (sable, plastique, et graviers) (Figure25, 26,27) ;
- un vibro-tamis électrique (Figure 26) ;
- Balance de précision 1 à 2 cg
- Étuve

d. Principe de l'essai

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

Les masses des différents refus ou celles des différents tamisât sont rapportées à la masse initiale de matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique).

e. Mode opératoire

1 – Sécher le matériau à l'étuve à 105 °c pendant 24 heures

2 – Prélever une quantité de matériau sec, quantité qui dépend de la dimension maximale des grains D_M .

Peser la masse M de matériau dans les limites définies par la formule suivante :

$$M_s > 0.2 D_M$$

M_s : La masse de l'échantillon en kilogrammes (kg)

D_M : taille maximale des granulats en millimètres (mm).

3 – Emboîter les tamis utilisés les uns aux autres suivant les dimensions décroissantes du haut vers le bas (Figure 25). Disposer en partie inférieure un fond étanche qui permettra de récupérer des particules fines (filler).

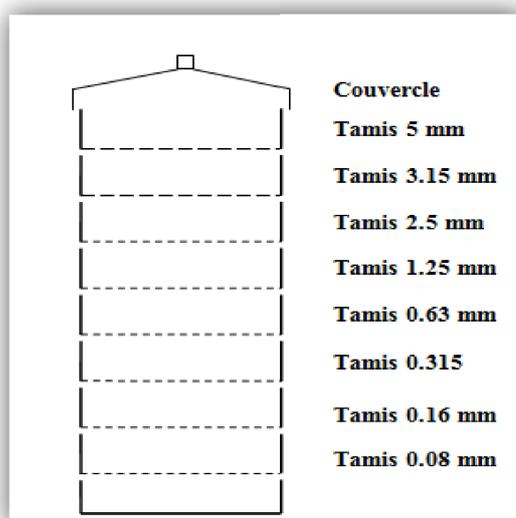


Figure 25: série de tamis



Figure 26: Tamiseuse

CHAPITRE II : Généralités sur le béton



Figure 27: Balance

4 – Verser le granulat sur le tamis supérieur et mettre le couvercle. Fixer la série de tamis sur le vibro-tamis (Figure 26) et la soumettre aux vibrations pendant quelques minutes. Terminer par des secousses manuelles horizontales et verticales.

5 – Prendre le tamis supérieur seul avec son contenu et l'agiter sur un plateau propre. Arrêter l'agitation lorsqu'il n'y aura plus de grains qui passent à travers le tamis.

6 – Peser le refus (à 0.1 % près) et verser le tamisât sur le tamis suivant avec ce qui se trouve déjà (Figure 28).

7 – Faire de même avec le second tamis. Placer le nouveau refus sur la balance avec le premier et verser le nouveau tamisât sur le troisième tamis. Noter le refus cumulé des deux tamis.

8 – Tamiser de même jusqu'au dernier tamis. En pesant le tamisât contenu dans le fond avec la somme des refus cumulés, retrouver la masse pesée au départ. La perte de matériaux ne doit pas dépasser 2 % de la masse totale de l'échantillon.

9-Les masses des différents refus cumulés R_i , sont rapportées à la masse totale calculée de l'échantillon pour essai sec M_s et les pourcentages de refus cumulés ainsi obtenus :

$$\frac{R_i}{M_s} 100$$

10-Inscrits sur la feuille d'essai. Les pourcentages de tamisâtes correspondants sont égaux à :

$$100 - \left(\frac{R_i}{M_s} 100 \right)$$



Figure 28: le poids de refus sans tamis

II.5.1.1. Module de finesse : (EN 933-1) [33]

Le module de finesse est plus particulièrement appliqué aux sables dont il est une caractéristique importante. Un module de finesse est d'autant plus faible que le granulat est riche en éléments fins. [34]

Le module de finesse est défini par la somme des pourcentages de refus cumulés pour différents tamis (0.16; 0.315; 0.63; 1.25; 2.5; 5) Sa valeur dépend surtout de la teneur des fines dans le sable. Selon cette valeur, on peut déterminer la finesse du sable (Tableau 3).

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

Tableau 3: Valeurs préconisées pour module de finesse.

Module de finesse	Spécifications
$2.8 < M_f < 3.2$	sable grossier
$2.2 < M_f < 2.8$	sable moyen
$1.8 < M_f < 2.2$	sable fin

Dans notre cas :

$$M_f = \frac{\sum \text{Refus cum}(\%)}{100}$$

II.5.2. Equivalent de sable (NF P 18-598) [35]

Pour les sables, la propreté peut se contrôler par l'essai d'équivalent de sable.

a. But de l'essai

Cet essai est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans sol des éléments sableux plus grossiers, une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci. : [36]

b. Équipements

- Eprouvettes avec deux traits repères et leur bouchon ;
- Entonnoir pour introduire le sable ;
- Bonbonne de solution lavant avec son bouchon, le siphon et le tube souple ;
- Tube laveur métallique plongeant ;
- Machine agitatrice (Si disponible) (Figure 29) ;
- Réglet métallique pour la mesure des hauteurs des sables et floculats ;
- Piston taré à masse de 1 kg pour la mesure de l'ES ; [37]

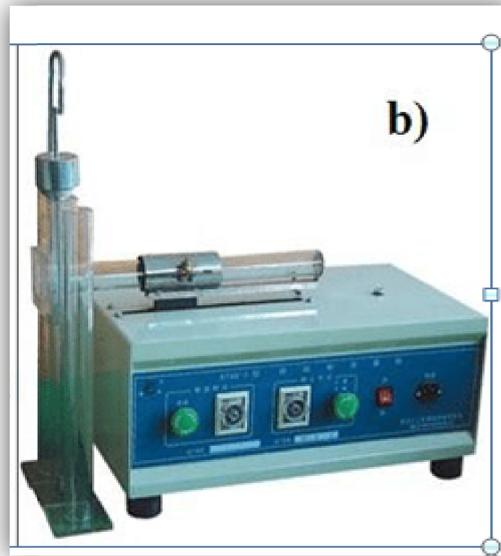


Figure 29: Machine agitatrice

c. Principe de l'essai

L'essai est effectué sur la fraction 0/5mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide pour ne pas perdre d'éléments fins. On lave l'échantillon selon un processus normalisé et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 mn, on mesure les éléments suivants :

La hauteur h_1 : sable propre + éléments fins

La hauteur h_2 : sable propre seulement: [36]

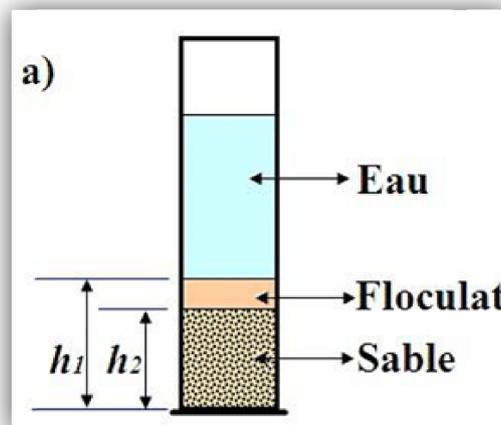


Figure 30: Définition d'équivalent du sable.

d. Mode opératoire

- Remplir une éprouvette graduée jusqu'au 1er trait.
- Verser la quantité de sable (environ 120 g), et laisser reposer pendant 10 min,
- Boucher l'éprouvette, et la faire agiter 90 fois aller et retours dans le sens horizontal puis replacée verticalement,
- Laver le sable avec une solution lavant, et laisser reposer l'ensemble pendant 20 min,
- Mesurer la hauteur du sable propre (h2) et la hauteur du sable propre + éléments fins (h1),
- La mesure de h2 n'est pas toujours aisée, ce qui conduit à faire la mesure la plus précise : ES.
- Descendre lentement le piston dans l'éprouvette jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, l'immobiliser, mesurer h2'.
- L'équivalent de sable visuel (ESV) est défini par :

$$\text{ESV} = \frac{H'2}{H1} 100 \%$$

- L'équivalent de sable piston(ESP) est défini par

$$\text{ESP} = \frac{H'2}{H1} 100 \%$$

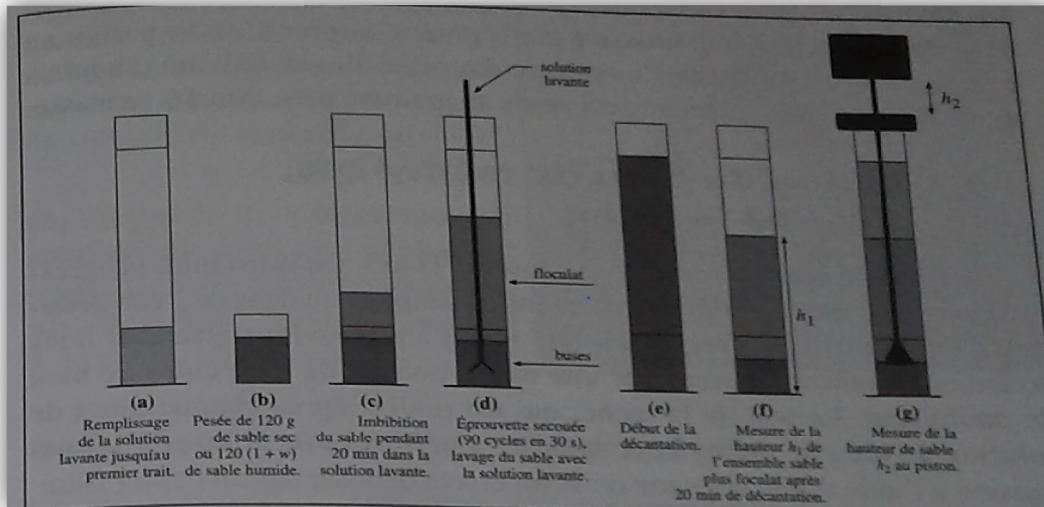


Figure 31: Processus de l'essai équivalent de sable.



Figure 32 : L'échantillon est préparé pour la mesure.

II.5.3. Masse volumique

La masse volumique est la grandeur qui permet de passer de la masse d'un matériau, au volume occupé par ce même matériau. Elle est très utile car les granulats sont destinés à remplir des volumes, par exemple dans un béton ou un terrassement; mais il est difficile de mesurer de manière simple le volume réellement occupé par ces granulats, et eux seuls, en

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

excluant de ce volume les espaces inter granulaires qui seront comblés par l'air, l'eau ou d'autres matériaux. Par contre il est relativement simple de mesurer précisément les masses des granulats et connaissant leur masse volumique, d'en déduire le volume qu'ils occuperont. [36]

Tableau 4:les valeurs limites des masses volumiques des matériaux

<i>Matériau</i>	<i>Masse volumique apparente</i>	<i>Masse volumique absolue</i>
<i>Sable</i>	1450 à 1650 kg/m ³	2600 à 2700 kg/m³
<i>Gravier</i>	1550 à 1900 kg/m ³	2650 à 2850 kg/m³
<i>Ciment</i>	1000 kg/m ³	2900 à 3100 kg/m³
<i>Béton</i>	1800 à 2200 kg/m³	

II.5.3.1. La masse volumique absolue (la norme NF P 18-554) [38]

a. Définition

La masse volumique absolue est le rapport entre la masse de l'échantillon séché en étuve et le volume qu'il occupe dans l'eau, y compris ses pores fermés, mais à l'exclusion des pores susceptibles d'absorber de l'eau [36].

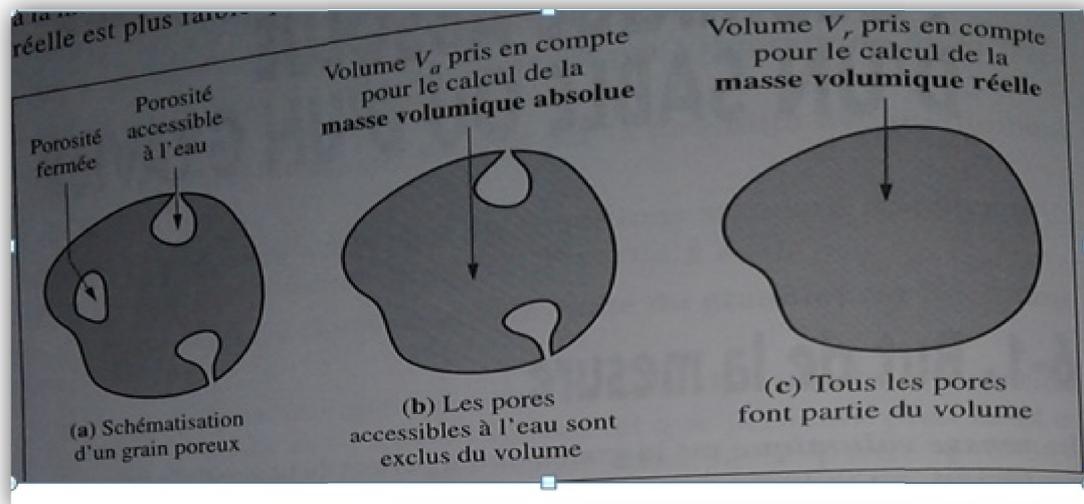


Figure 33 : prise en compte du volume d'un grain dans le calcul de la masse volumique absolue

b. Équipements

- des éprouvettes graduées
- Balance de précision 1 à 2 cg

c. mode opératoire

Est très simple et très rapide. Toutefois sa précision est faible. Elle permet d'obtenir au mieux une valeur de la masse volumique comprise entre la masse volumique absolue et la masse volumique réelle.

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
2. Peser un échantillon sec M de granulats et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
3. Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V_2 . La masse volumique est alors:

$$\gamma_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

4 - répéter 4 fois la manipulation et calculer la moyenne. [36]

5- Le volume absolu est mesuré en immergeant complètement cet échantillon dans un récipient gradué. En effet l'augmentation du volume de l'eau est intégralement produite par le volume des grains de granulat. La mesure de la variation de hauteur d'eau correspond donc au volume absolu des granulats.



Figure 34 : la masse volumique absolue

II.5.3.2. La masse volumique apparente(EN 1097-3) [39]

a. Définition : C'est la masse de l'unité de volume de la matière qui constitué par la matière et des vides qu'elle contient. L'appréciation de la masse volumique en vrac fait l'objet de la norme EN 1097-3.

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

b. Principe : Il consiste à déterminer la masse volumique du matériau, sa densité à l'état naturelle « en présence des pores », avec la quelle on peut calculer la porosité, et la compacité du matériau.

c. Équipements

- Balance de précision 1 à 2 cg
- étuve à $t=105 - 110^{\circ}\text{c}$.
- pot métallique de 1 litre. (Récipient)
- règle plate métallique.
- entonnoir.
- main écope.
- tamis de 0.2 m [40]

d. Le mode opératoire

- 1 – Mettre le matériau à l'étuve à 105°c pendant 24 heures.
- 2 – Placer l'entonnoir au dessus du centre du récipient de mesure de volume $V = 1 \text{ l}$
- 3 – Verser environ M_s de matériau sur la passoire et le faire descendre dans l'entonnoir à l'aide d'une spatule.
- 4 – Ouvrir l'opercule : le matériau tombe dans le récipient de mesure. Refermer l'opercule.
- 5 – Répéter l'opération jusqu'à ce que se produise un débordement.
- 6 – Araser à la règle et peser le contenu. La masse volumique est alors:

$$\gamma_{\text{app}} = \frac{M_1 - M_0}{V}$$

- répéter 4 fois la manipulation et calculer la moyenne.

II.5.4. La teneur en eau (NF 18-554) [38]

a. Définition

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau W contenu par unité de poids de matériau sec.

b. Équipements

- Balance de précision 1 à 2 cg.
- étuve à $t=105 - 110^{\circ}\text{C}$.

c. Mode opératoire

- Prélever un échantillon représentatif du matériau : M_h de matériau .
- Sécher l'échantillon à l'étuve à 105°C pendant 24 heures ou au four à microondes ou à l'alcool à brûler.

La masse est considérée constante lorsque deux pesées successives de l'échantillon de quelques minutes ne diffèrent pas de plus de 0,1 %.

- peser l'échantillon sec : M_s .

$$W\% = (\text{masse d'eau/masse sèche}) * 100$$

- calculer la teneur en eau :

II.6. Formulation du béton

Dans la littérature on trouve plusieurs méthodes de composition de béton .On peut situer :

- ❖ Méthode de Bolomey.
- ❖ Méthode de Faury.
- ❖ Méthode d'Abrams.
- ❖ Méthode de Vallette.
- ❖ Méthode de Joisel.
- ❖ Méthode Américaine.
- ❖ Méthode Britannique.
- ❖ Méthode de Dreux Goriss Toute fois, la méthode de Dreux Gorisse et la plus utilisée.

II.6.1. Méthodes de Formulation du béton selon Dreux Goriss [41]

a. Objectif

La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton conformément au cahier des charges.

Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton :

- Détermination du rapport C/E
- Détermination de C et E
- Détermination du mélange optimal à minimum de vides
- Détermination de la compacité du béton
- Détermination des masses de granulats
- Les résultats intermédiaires relatifs à chaque étape de calcul seront consignés sur la fiche de résultats jointe en annexe.

b. Définition du cahier des charges

Il s'agit de définir, en fonction du type d'ouvrage à réaliser, les paramètres nécessaires à la mise en œuvre du béton et à la stabilité à court et long terme de l'ouvrage.

Les paramètres principaux devant être définis sont : la maniabilité et la résistance du béton, la nature du ciment et le type de granulats.

c. Critère de maniabilité

La maniabilité est caractérisée, entre autre, par la valeur de l'affaissement au cône d'Abrams (Aff.). Elle est choisie en fonction du type d'ouvrage à réaliser, du mode de réalisation et des moyens de vibration disponibles sur chantier (Tableau5)

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

Tableau 5: Affaissement au cône conseillé en fonction du type d'ouvrage à réaliser

Affaissement en cm	Plasticité	Désignation	Vibration conseillée	Usages fréquents
0 à 4	Ferme	F	Puissante	Bétons extrudés Bétons de VRD
5 à 9	Plastique	P	Normale	Génie civil Ouvrages d'art Bétons de masse
10 à 15	Très plastique	TP	Faible	Ouvrages courants
≥ 16	Fluide	FI	Léger piquage	Fondations profondes Dalles et voiles minces

d. Critère de résistance

Le béton doit être formulé pour qu'à 28 jours sa résistance moyenne en compression atteigne la valeur σ'_{28} caractéristique.

Cette valeur doit, par mesure de sécurité, être supérieure de 15 % à la résistance minimale en compression f_{c28} nécessaire à la stabilité de l'ouvrage.

$$\sigma'_{28} = 1,15 \times f_{c28}$$

e. Choix du ciment

Le choix du type de ciment est fonction de la valeur de sa classe vraie σ'_c et des critères de mise en œuvre (vitesse de prise et de durcissement, chaleur d'hydratation, etc...). La classe vraie du ciment est la résistance moyenne en compression obtenue à 28 jours sur des éprouvettes de mortier normalisé. Le cimentier garantit une valeur minimale atteinte par au moins 95 % des échantillons (dénomination normalisée spécifiée sur le sac de ciment). La correspondance entre classe vraie du liant et valeur minimale garantie par le fabricant est donnée dans le tableau 6.

Tableau 6: Correspondance entre classe vraie et dénomination normalisée des ciments.

Dénomination normalisée	32,5 MPa	42,5 MPa	52,5 MPa
Classe vraie σ'_c	35 à 45 MPa	45 à 55 MPa	> 55 MPa

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

- Détermination du rapport C/E
- Le rapport C / E est calculé grâce à la formule de Bolomey :

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

Avec :

σ'_{28} = Résistance moyenne en compression du béton à 28 jours en MPa ;

σ'_c = Classe vraie du ciment à 28 jours en MPa ;

C = Dosage en ciment en kg par m³ de béton ;

E = Dosage en eau total sur matériau sec en litre par m³ de béton ;

G' = Coefficient granulaire (Tableau 7) fonction de la qualité et de la dimension maximale des granulats.

Tableau 7 : Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats D_{max}.

Qualité des granulats	Dimension D _{max} des granulats		
	Fins D _{max} < 12,5 mm	Moyens 20 < D _{max} < 31,5	Gros D _{max} > 50 mm
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Ces valeurs supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonnes conditions (par vibration en principe).

f. Détermination de C

La valeur de C est déterminée grâce à l'abaque de la figure 1 en fonction des valeurs de C/E et de l'affaissement au cône d'Abrams.

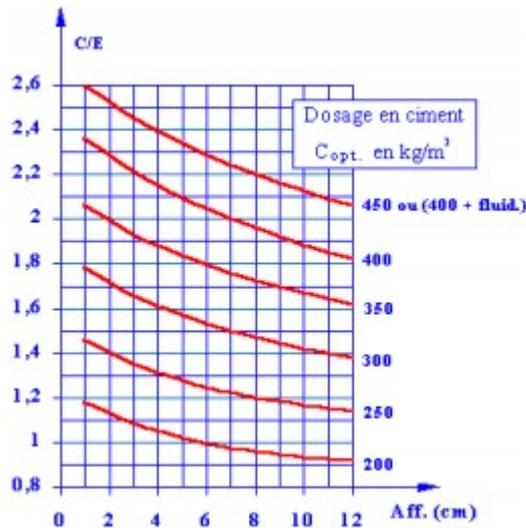


Figure 35 : Abaque permettant la détermination de C_{opt} .

Pour cela il suffit de positionner sur l'abaque les valeurs de C/E et de l'affaissement au cône recherchées. Le point ainsi obtenu doit être ramené parallèlement aux courbes de l'abaque pour déterminer la valeur optimale de C_{opt} . Au delà de 400 kg de ciment par m³ de béton, on préférera à un surdosage en ciment l'usage d'un fluidifiant (Fluide.).

g. Détermination de E

La quantité d'eau E nécessaire à la confection du béton se calcule grâce aux valeurs de C/E et de C.

h. Corrections sur le dosage en ciment C et le dosage en eau E

Lorsque la dimension maximale des granulats D_{max} est différente de 20 mm, une correction sur la quantité de pâte est nécessaire à l'obtention de la maniabilité souhaitée. Les corrections (Tableau 8) sont à apporter sur les quantités d'eau et de ciment (le rapport C/E reste inchangé).

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

Tableau 8 : Correction sur le dosage de pâte en fonction de Dmax

Dimension maximale des granulats (D _{max} en mm)	5	8	12,5	20	31,5	50	80
Correction sur le dosage de pâte (en %)	+ 15	+ 9	+ 4	0	- 4	- 8	- 12

i. Détermination du mélange optimal à minimum de vides

Il s'agit de déterminer les pourcentages de sable, de gravillons et de cailloux qui vont permettre la réalisation d'un squelette granulaire à minimum de vides. Les quantités des matériaux de chaque classe granulaire doivent être judicieuses pour que les plus petits éléments viennent combler les vides laissés par les plus gros. La courbe granulométrique théorique d'un matériau à minimum de vides peut être schématisée par une droite brisée. La démarche proposée par Dreux pour déterminer le mélange optimum à minimum de vides est la suivante :

- Tracé de la droite brisée de référence
- Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux

Tracé de la droite de référence de Dreux :

La droite de référence de Dreux représente la courbe idéale d'un matériau à minimum de vides. C'est une droite brisée dont le point de brisure est défini par son abscisse X et son ordonnée Y : En abscisse :

- le point O est repéré par ses coordonnées: [0,080; 0]
- le point B est repéré par ses coordonnées: [D; 100], (D: le diamètre du plus gros granulat).

Le point de brisure A a les coordonnées suivantes: en abscisse :

- si $D \leq 20\text{mm}$, l'abscisse est de $D/2$,

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

- si $D > 20\text{mm}$, l'abscisse est située au milieu limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant à D.

$$Y = 50 - \sqrt{(D_{\text{max}} + K + K_p + K_s)}$$

- K : terme correcteur que dépend du dosage en ciment, de l'efficacité de la vibration et du forme du granulat (roulé ou concassé).
- K_p : correction supplémentaire ; pour le béton pompable.
- K_s : correction supplémentaire sur le sable ; si le module de finesse est différent à 0,12 (Tableau 9).

$$K_s = 6 M_f - 15 \quad ,$$

Tableau 9 : K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment.

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Forme des granulats (du sable en particulier)							
Dosage en Ciment	400 + Fluid	- 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 droite de Dreux a pour origine le point 0 origine du graphe et pour extrémité le point D_{max} caractéristique des plus gros granulats.

j. Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux

Pour déterminer les pourcentages en volumes absolus de granulats permettant la confection d'un mélange à minimum de vide il est nécessaire de tracer comme indiqué sur la

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

figure 41 des droites reliant deux à deux les courbes granulométriques des matériaux du mélange.

Ces droites sont définies par 5 % de refus pour le matériau à faible granularité et par 5 % de passant pour le matériau à forte granularité. L'intersection des droites ainsi tracées avec la droite brisée de Dreux permet, par prolongement sur l'axe des ordonnées, de déterminer les pourcentages en volumes absolus de chaque matériau. Ces pourcentages doivent permettre l'obtention d'un mélange dont la courbe granulométrique est proche de la droite brisée de Dreux. Si la courbe du mélange obtenue est trop éloignée de la courbe de Dreux, un ajustement de ces pourcentages peut s'avérer nécessaire.

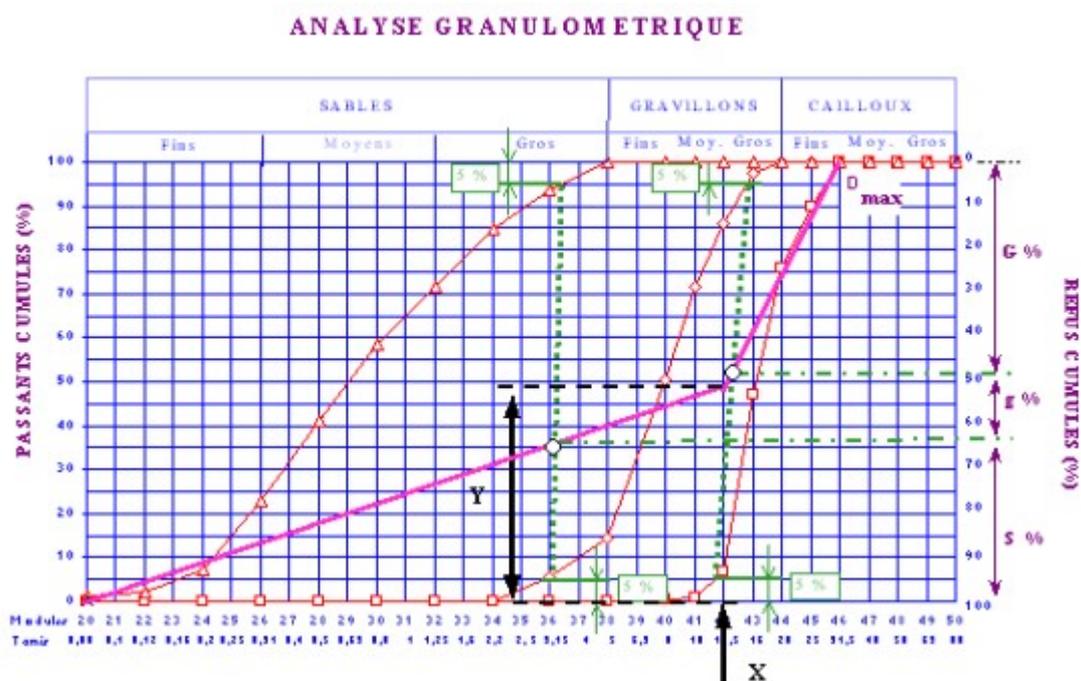


Figure 36 : Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériau.

k. Détermination de la compacité du béton :

Pour déterminer les masses de granulats entrant dans la composition de béton, il est nécessaire de déterminer la compacité du béton qui correspond au volume absolu en m³ de solide contenu dans un mètre cube de béton (volumes absolus de ciment, de sable, de gravette et de gravier). Sa valeur de base c₀ est fonction de la taille des granulats, de la consistance du

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

mélange et des moyens de vibration mis en œuvre (Tableau10). Des corrections (c_1 , c_2 et c_3) fonctions de la forme des granulats, de la masse volumique des granulats et du dosage en ciment, doivent être apportées (Tableau13) : $c = c_0 + c_1 + c_2 + c_3$.

La valeur de la compacité c du béton permet de déterminer le volume total absolu V de granulats intervenant dans la formulation du béton : $V = (c - V_c)$ où V_c est le volume de ciment défini par $V_c = C / \rho_{s(c)}$ où $\rho_{s(c)}$ est la masse volumique absolue du ciment utilisé.

Tableau 10 : Compacité du béton en fonction de D_{max} , de la consistance et du serrage.

Consistance	Serrage	compacité (c_0)						
		$D_{max}=5$	$D_{max}=8$	$D_{max}=12,5$	$D_{max}=20$	$D_{max}=31,5$	$D_{max}=50$	$D_{max}=80$
Molle (TP-FI)	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 normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique (P)	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme (F)	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

Nota :
 * Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes :
 Sable roulé et gravier concassé ($c_1 = - 0,01$)
 Sable et gravier concassé ($c_1 = - 0,03$)
 * Pour les granulats légers on pourra diminuer de 0,03 les valeurs de c : ($c_2 = -0.03$)
 * Pour un dosage en ciment $C \neq 350 \text{ kg/m}^3$ on apportera le terme correctif suivant :
 ($c_3 = (C - 350) / 5000$)

I. Détermination des masses de granulats

Connaissant le volume total absolu des granulats (V) et les pourcentages en volume absolue de sable ($S \%$), de gravillon ($g \%$) et de gravier ($G \%$), il est alors possible de déterminer les

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

volumes de sable (V_s) de gravillon (V_g) et de gravier (V_G) ainsi que leurs masses respectives (S , g et G) :

- $V_s = V * S \%$ $S = V * S \% * \rho_s(S)$
- $V_g = V * g \%$ $g = V * g \% * \rho_s(g)$
- $V_G = V * G \%$ $G = V * G \% * \rho_s(G)$

A défaut de renseignements précis concernant les masses volumiques absolues des matériaux, on peut en première approximation utiliser les valeurs suivantes : $\rho_s(c) = 3,1 \text{ t/m}^3$, $\rho_s(S) = 2,6 \text{ t/m}^3$, $\rho_s(G) = 2,6 \text{ t/m}^3$ et $\rho_s(g) = 2,6 \text{ t/m}^3$.

m. Obtention de la formulation théorique de béton

La formulation théorique de béton recherchée est définie par les quantités d'eau E , de sable S , de gravillon g et de gravier G . La masse totale d'un mètre cube de béton $\Delta o = (E+C+S+g+G)$ est pour un béton courant comprise entre $2,3 \text{ t/m}^3$ et $2,5 \text{ t/m}^3$. La formulation obtenue reste théorique et il convient de la tester et de la corriger par des essais de laboratoire avant d'être utilisée.

II.7. ESSAIS SUR BETON

II.7.1. Mode opératoire de malaxage

La préparation du mélange à été faite en respectant soigneusement les démarches suivantes :

- Introduction de tous les granulats dans le malaxeur (sable, gravillon et granulats) (figure 38). en faire le malaxage pendant 3 min afin d'assurer une bonne dispersion des G.C. 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 (figure 41).

CHAPITRE II : Généralités sur le béton



Figure37 : Pesage des granula



figure38 : les matériaux dans le malaxeur



Figure39: le malaxeur



Figure 40: béton frai



figure 41: Introduire de l'eau

Après le malaxage, le béton est prêt à l'emploi. Le béton est introduit dans des moules déjà graissés par une huile pour faciliter le démoulage après 24 heures de leur coulage. Le remplissage des moules est exécuté en deux couches, chaque couche est piquée par 25 coups. Le but de piquage est le remplissage parfait du moule. Le remplissage des moules se fait avec délicatesse particulièrement pour les éprouvettes de compression. Les moules remplis sont par la suite vibré sur par un vibreur une table vibrante pour évacuer les bulles d'air et éviter les cavités dans le béton frais (augmente la compacité du béton) (figure 40). A la fin du coulage, il faut araser les éprouvettes à l'aide d'une règle selon les normes NF P18-422[42] et NF P 18-423[43]. La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse est bien finie. Après 24 heures, les éprouvettes sont démoulées. Ils sont ensuite soumis, à une cure humide dans l'eau jusqu'à l'âge de l'essai (figure 43).



Figure 42: La table vibrante



Figure 43: La mise en place du béton et la conservation des éprouvettes avant le démoulage

II.8.Essais sur le béton frais

II.8.1.Mesure de la maniabilité (l'ouvrabilité)

La caractéristique essentielle du béton frais est l'ouvrabilité (maniabilité), qui conditionne non seulement sa mise en place pour le remplissage parfait du coffrage et du ferrailage, mais également ses performances à l'état durci. Un béton frais doit être facilement maniable et facile à mettre en place. Il doit être aussi homogène et cohésif. Pour remplir toutes ses qualités, les constituants du béton doivent être soigneusement mélangés. Il existe plusieurs facteurs qui affectent la maniabilité d'un béton:

- Quantité et caractéristiques des composants (liants, granulats) ;
- Forme, granulométrie et type de granulats ;
- Le volume d'air ;

Le dosage en eau ;

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.

II.8.1.1. Affaissement au cône d'Abrams (NF P18-451) [44]

a. Définition de l'essai

On mesure l'ouvrabilité en mesurant l'affaissement au cône d'Abrams Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son poids propre. Plus cet affaissement sera grand et plus le béton sera réputé fluide [45].

- L'appareillage est schématisé sur la figure 42.

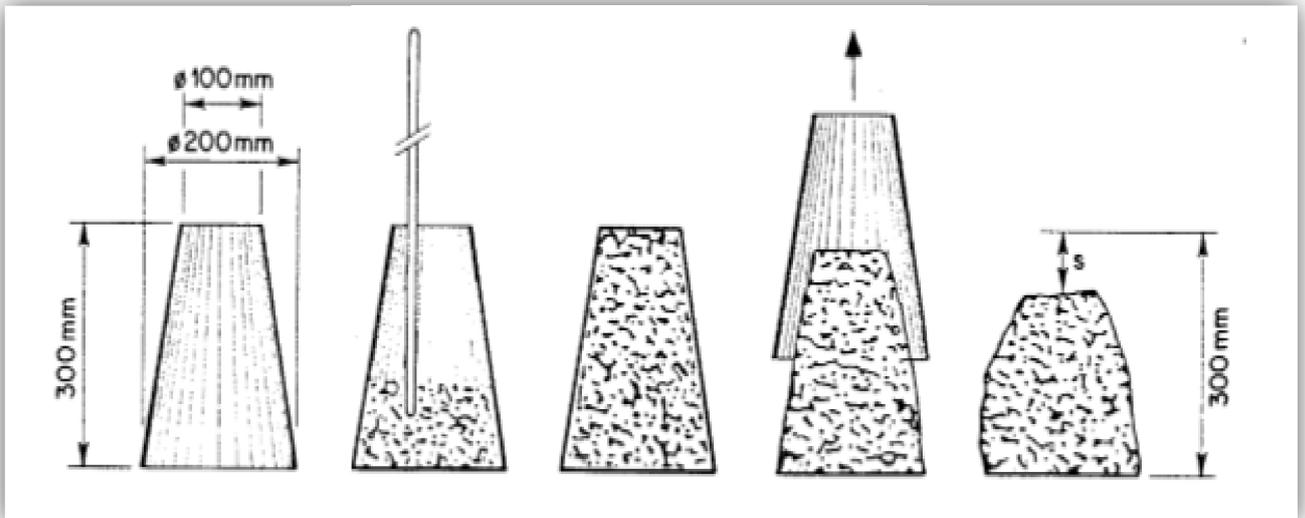


Figure 44 : Diagramme schématisé d'une expérience d'affaissement au cône d'Abrams

b. Equipement nécessaire

✓ Moule

Le moule, sans fond, de forme tronconique, a les dimensions intérieures suivantes (en millimètres) :

- diamètre du cercle de la base supérieure : $100 \pm 0,5$
- diamètre du cercle de la base inférieure $200 \pm 0,5$
- hauteur. 300 ± 1

Est construit de manière à être indéformable.

La paroi intérieure est non absorbante, non réactive au liant, lisse et sans aspérités.

Il doit être muni :

Aux $2/3$ de la hauteur à partir de la base, de deux poignées, à la partie inférieure, de dispositifs de fixation ou d'appuis pour les pieds de l'opérateur, permettant de l'assujettir sur la surface d'appui.



Figure 45 : moule de cône d'Abrams

- ✓ Tige de piquage
- ✓ portique de mesure.
- ✓ surface d'appui de l'ensemble

c. Conduite de l'essai

Pour mesurer l'affaissement on introduit le béton frais dès la fin de sa confection en trois couches recevant chacune 25 coups de piquage. Araser le moule, démouler immédiatement en soulevant le moule. Après mesurer l'affaissement à partir du point le plus bas du béton. L'affaissement est mesurer par la différence de hauteur entre le moule et le niveau supérieur du béton après démoulage, le résultat obtenu permet de classer les bétons [45].

II.8.2. Masse volumique à l'état frais (NF EN 12350-6) [46]

Pour déterminer la masse volumique d'un béton frais, il faut suivre les étapes suivantes :

- Remplir en béton frais un récipient de volume V_r et de masse M_r . Le remplissage est exécuté en deux couches.
- Araser le haut du récipient.

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

- Peser le récipient rempli du béton, soit M_t . La masse volumique du béton frais δ_f est donnée par la relation suivante :

$$\gamma_{abs} = \frac{M_t - M_r}{V_r}$$



Figure 46 : peser du moule vide



figure 47: peser du moule rempli de béton frais

II.9. Essais sur béton durci

II.9.1. Essais de compression (EN 12390-3) [47]

Les essais de compression simple ont été réalisés au laboratoire sur une presse hydraulique de type CONTROLS (Figure 48) pilotée par un micro-ordinateur. Elle est programmée pour les essais de compression des éprouvettes cubiques. Les valeurs de la force et de la contrainte sont lues directement sur l'écran de la machine, l'évolution de la déformation est contrôlée à l'aide d'un extensomètre disposé directement sur l'éprouvette. Les valeurs enregistrées pour chaque étape de chargement sont ensuite tracées sous forme de courbe contrainte – déformation et ce jusqu'à rupture en compression.

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

a. But de l'essai

Le résultat que l'on cherche à obtenir avec cet essai est la détermination de la résistance à la compression f_c (rapport entre la force appliquée/la section de l'éprouvette) du béton, évolution de la déformation et de la contrainte.

b. Principe de l'essai

Les éprouvettes confectionnées, sont donc ajustées entre les deux plateaux de la presse. Le plateau supérieur étant fixe, le plateau inférieur sur lequel est posée l'éprouvette est mobile. En remontant celui-ci écrase le corps de l'éprouvette contre le plateau supérieur. Un extensomètre, placé sur la face latérale de l'éprouvette permet de mesurer les valeurs de la déformation. L'effort est appliqué progressivement à vitesse de chargement constante. La valeur de l'effort vertical ainsi que la déformation correspondante sont enregistrées, et ce jusqu'à la rupture totale de l'éprouvette qui se traduit par l'arrêt de la presse.

L'essai de compression est ainsi achevé. La charge maximale P est donnée dès que la rupture est enclenchée. Cette charge maximale servira à déterminer la résistance f_c , qui s'obtient comme étant le rapport de cette charge sur la section S de l'éprouvette, soit le rapport P/S [21].



Figure 48 : L'hydraulique pour l'essai de compression

CHAPITRE II : Généralités sur le béton

II.9.2. Essai de traction par flexion : NFP 18-407 [48]

L'essai de traction par flexion est réalisé sur des éprouvettes prismatiques (7x7x28) cm³ selon les normes NF P.18-407, il s'agit de déterminer la résistance à la flexion (3 points) de l'éprouvette soumise à un effort centré exercé à l'aide d'une presse hydraulique.

$$\sigma_t = 1.5 F L / B^3$$

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

σ_t : résistance à la traction par flexion en (MPa)

F: La charge appliquée à la rupture en (N)

L: la distance entre les appuis (L = 210 mm)

B: le côté de la section carrée de l'éprouvette (B = 70 mm) [50].



Figure 49: machine de flexion

II.9.3. Module d'élasticité

a. Objectif de l'essai

Pour de petites déformations du béton, la courbe contrainte-déformation peut être assimilée à une droite .il y a approximativement proportionnalité entre la contrainte σ_c et la déformation ϵ_c Soit E_c , ce coefficient de proportionnalité:

$$\sigma_c = \epsilon_c E_c$$

E_c est appelé module d'élasticité. L'objectif de l'essai est d'évaluer E_c .

a. Principe de l'essai

Soit f_c la résistance à la compression du béton étudié. Il s'agit d'appliquer des contraintes σ_c croissantes à une éprouvette de ce béton et de mesurer les déformations correspondantes, jusqu'à une valeur $\sigma_c = 0,6 f_c$. Il est alors possible de tracer la courbe $\sigma_c = f(\epsilon_c)$ pour σ_c variant entre 0 et $0,6 f_c$. Sur cette courbe, on peut mesurer la pente de la tangente à l'origine (module tangent) et la pente de la droite passant par l'origine et le point de coordonnée ϵ_c et $0,6 f_c$. $E_{cm} = 0.6 f_c / \epsilon_c$.

b. Équipement nécessaire

L'appareillage permettant de mesurer les déformations de l'éprouvette n'est pas normalisé. Il en existe de plusieurs types. Il est possible de mesurer, pour des contraintes données, les déformations longitudinales d'une éprouvette cylindrique suivant 3 génératrices au moyen d'un extensomètre tel que celui schématisé sur .

c. Conduite de l'essai

Les extrémités de l'éprouvette sont d'abord rectifiées. Puis l'éprouvette est en fonction du système de mesure dont on dispose : soit on colle des équipées plots, grâce à un gabarit, à une distance L les uns des autres, le long de 3 génératrices repérées a , b et c ; soit on installe les deux couronnes à une distance L l'une de l'autre; l'éprouvette est alors centrée sur les plateaux de la presse comme pour un essai de résistance à la compression.

Dans le cas de l'extensomètre, le réglage à zéro du comparateur se fait sur la barre étalon en Invar. On relève d'abord la distance initiale entre les billes collées sur le béton : soit $\Delta L_a (\sigma_c=0)$, $\Delta L_b (\sigma_c=0)$ et $\Delta L_c (\sigma_c=0)$ les différences relevées entre les plots collés sur la barre étalon en Invar et ceux collés suivant les 3 génératrices a , b et c ; soit $\Delta L(0)$ la moyenne de ces 3 mesures. Soit $\Delta L (\sigma_c)$ la moyenne relevée de la même manière pour une contrainte σ_c appliquée à l'éprouvette. La déformation de l'éprouvette pour cette contrainte est:

$$\epsilon_c = \frac{\Delta L(\sigma_c) - \Delta L(0)}{l}$$

Dans le cas où l'on opère avec les deux couronnes, le principe de la mesure est le même, mais la mise à zéro se fait directement sur les instruments de mesure solidaires des couronnes et la mesure en est simplifiée.

- Ordre de grandeur du module d'élasticité

L'Euro code 2 et le BAEL 91 évalue la valeur du module d'élasticité sécant en fonction de f_c la résistance caractéristique, de la manière suivante :

$$E_{cm} = 22000 * \left(\frac{f_{ck}+8}{10}\right)^{0.3} \quad (\text{Euro code})$$

$$E_{cm} = 11000 * f_{ck}^{1/3} \quad (\text{BAEL})$$

Dans ces relation E_{cm} et f_{ck} sont exprimés en MPa [45].

II.9.4. Essai Ultrason (Norme NF P 18-418) [50]

Cet essai consiste à mesurer la vitesse longitudinale du son dans le béton à l'aide d'un appareil comportant une boîte de mesure, et deux têtes (une émettrice et l'autre réceptrice). Les essais ultrasoniques ont été effectués sur des éprouvettes cubiques (10x10x10cm). Une fois l'appareil mis en marche, on peut lire le temps de propagation en microseconde ainsi La vitesse de propagation V en m /sec [49].

a. Mode opératoire

- Avant de procéder aux mesures, l'appareil doit être calibré sur la barre d'étalonnage. Selon le mode opératoire de l'appareil.
- L'émetteur et le récepteur sont appliqués sur les deux faces opposés de l'élément à mesurer.
- Exercer une pression sur le béton avec les transducteurs jusqu'à stabilisation du signal.
- Le temps de propagation des ondes soniques seront exprimés en micro secondes.
- La vitesse de propagation en mètre par seconde.



La figure50 : Appareil d'ultrason

II.10. Conclusion

Cette étude a été menée faire le point sur les connaissances relatives aux constituants des bétons, les méthodes de leur formulation ainsi que les propriétés à l'état frais et à l'état durci du béton. Une application de ce chapitre sera les caractéristiques des matériaux utilisés et application numérique de formulation des bétons étudiés, seront exposées dans le chapitre II de la partie 2

Partie pratique



CHAPITRE I

*Les caractéristiques des matériaux
utilisés*

CHAPITRE I : les caractéristiques des matériaux utilisés

I.1. Introduction

Pour réaliser ce travail une série d'essais déterminant les caractéristiques des matériaux utilisés : sable graviers et granulats plastiques a été réalisées dans le laboratoire des matériaux de construction appartenant au département de génie civil et hydraulique de l'université de Biskra.

I.2. Les matériaux utilisés

Pour réaliser ce travail une série d'essais déterminant les caractéristiques des matériaux utilisés : sable graviers et granulats plastiques a été réalisés dans le laboratoire des matériaux de construction appartenant au département de génie civil et hydraulique de l'université de Biskra

Le choix des matériaux s'est porté sur leur disponibilité dans la région. Les matériaux utilisés sont :

- Un sable (0/5) concassée d'AIN TOUTA la wilaya de BATNA (située à l'est de l'Algérie). ;
- Un gravier (3/8) concassé d'AIN TOUTA la wilaya BATNA ;
- Un gravier (8/16) concassé d'AIN TOUTA la wilaya BATNA ;
- Eau de gâchage : c'est l'eau de robinet du laboratoire
- 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 Le ciment utilisé pour la confection des bétons est un ciment portland composé CPJ-CEM II/A 42,5 fabriqué par la cimenterie d'AIN TOUTA.

CHAPITRE I : les caractéristiques des matériaux utilisés

a. Composition chimique de ciment

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) [51]. Les résultats sont donnés dans le tableau 11:

Le plastifiant que nous avons utilisé est un super plastifiant haut réducteur d'eau appelé MEDAFLOW 30. Il est conçu à base de poly carboxylates qui améliorent considérablement les propriétés du béton. Ce plastifiant ne présente pas d'effet retardataire [21].

a. Propriétés physiques

Tableau 11: composition chimique du ciment utilisé [FICHE TECHNIQUE].

Elément	Teneur %
SiO₂	20.65
Al₂O₃	4.92
Fe₂ O₃	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

CHAPITRE I : les caractéristiques des matériaux utilisés

Tableau 12: Caractéristiques du ciment [FICHE TECHNIQUE].

Nomination		CEM II/A-L 42.5
Caractéristiques		
Masse Volumique Apparente (g/cm³)		1.05
Masse volumique Absolue (g/cm³)		3.03
Surface spécifique (BLAINE) (cm²/g)		3495
Temps de prise	Début	02h27
	Fin	03h27

b. Caractéristiques Physico-mécaniques

Tableau13: Propriétés du ciment du fiche techniques.

CHAPITRE I : les caractéristiques des matériaux utilisés

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 tamis 45 μm		%	-	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

CHAPITRE I : les caractéristiques des matériaux utilisés



Figure 51 : gravier (8/16)



Figure 52 : gravier (3/8)



Figure 53 : sable (0/5)



Figure 54: ciment CPJ-CEM II/A 42,5



Figure 55 : Plastique PEHD



CHAPITRE I : les caractéristiques des matériaux utilisés

I.3. Les caractéristiques des matériaux utilisés:

I.3.1. Analyse Granulométrique :

Les résultats de l'analyse granulométrique obtenus des différents granulats sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

Sable 0/5 :

Tableau14 : Analyse granulométrique du sable.

Tamis (mm)	Refus Partiel (g)	Refus cumule (g)	Refus cumule (%)	Tamisât cumule (%)
5	0	0	0	100
2.5	328.30	328.30	16.42	83.58
1.25	534.40	862.70	43.14	56.86
0.63	419.30	1282	64.10	35.90
0.315	317	1599	79.95	20.05
0.16	249.20	1848.20	92.41	7.59
0.08	123.80	1972	98.60	1.40
Fond	27	1999	99.95	0.05

Plastique 0/5 :

Tableau 15: Analyse granulométrique du plastique.

Tamis (mm)	Refus Partiel (g)	Refus cumule (g)	Refus cumule (%)	Tamisât cumule (%)
5	0	0	0	100
4	911.45	911.45	91.14	8.85
2.5	85.51	996.96	99.69	0.30
1.25	1.84	998.80	99.88	0.12
Fond	0.09	998.89	99.89	0.11

CHAPITRE I : les caractéristiques des matériaux utilisés



Figure 56 : classes granulaires de sable

I.3.1.1. Module de finesse :

Le module de finesse est défini par la somme des pourcentages de refus cumulés pour différents tamis (0.16; 0.315; 0.63; 1.25;2.5;5) Tableau16). Sa valeur dépend surtout de la teneur des fines dans le sable. Selon cette valeur, on peut déterminer la finesse du sable (voir le Tableau 3).

Tableau16: Module de finesse du sable 0/5

Sable 0/5						
Tamis	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16
Refus cum(%)	0	16.42	43.14	64.10	79.95	92.41

Dans notre cas :

$$Mf = \frac{16.42+43.14+64.10+79.95+9.41}{100}$$

Mf = 2.96 donc c'est un sable grossier

CHAPITRE I : les caractéristiques des matériaux utilisés

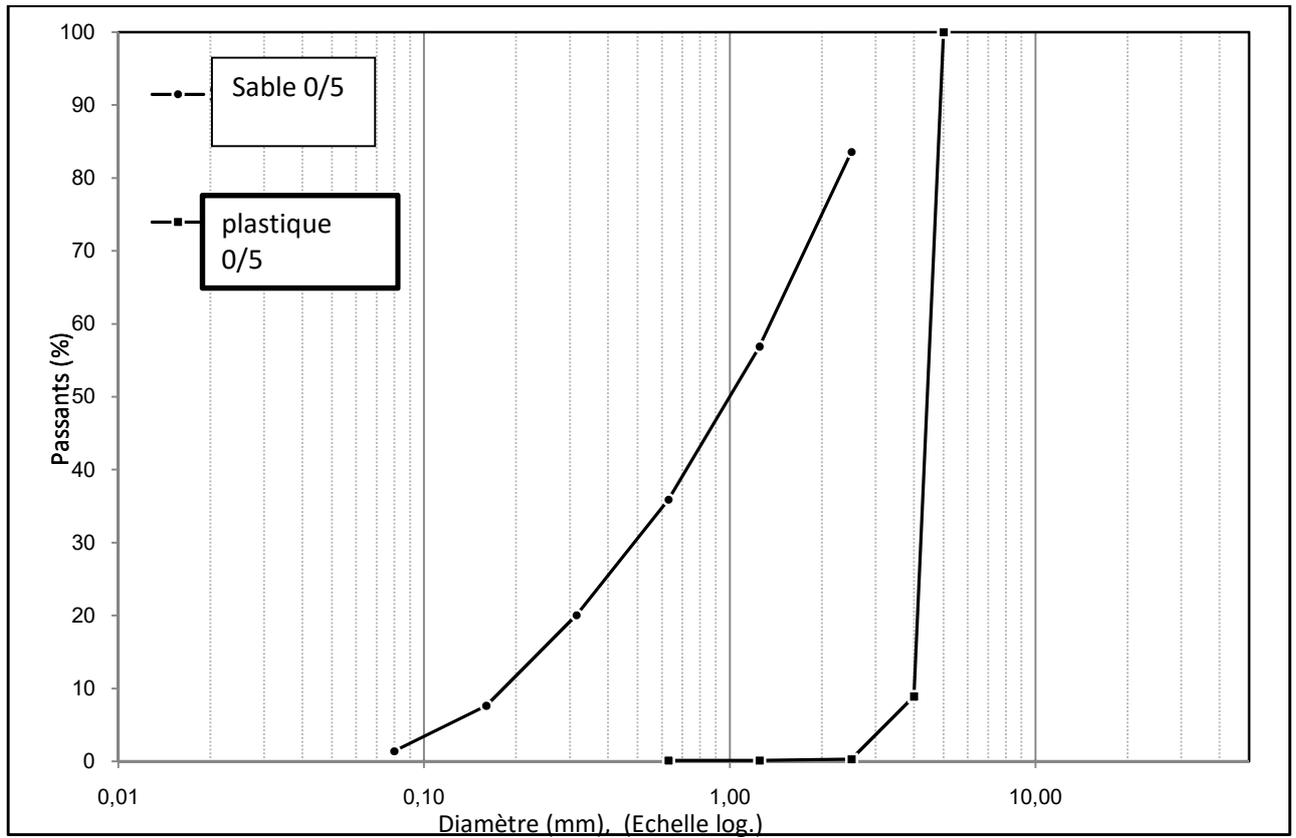


Figure 57 : courbe granulométrique du sable et du plastique.

CHAPITRE I : les caractéristiques des matériaux utilisés

Graviers :

Pour la réalisation de L'analyse granulométrique des graviers on a utilisons des échantillons de (2000g gravier (3/8) et 3000g gravier (8/16) de masse, Les analyses granulométriques établies pour chaque fraction sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau17 : Analyse granulométrique de gravier de la classe 3/8 et 8/16

Tam is (mm)	Gravier 3/8 :				Gravier 8/16 :			
	Refus Partiel (g)	Refus cumul e (g)	Refus cumule (%)	Tamisât cumule (%)	Refus Partiel (g)	Refus cumule (g)	Refus cumule (%)	Tamisât cumule (%)
16					25.7	25.7	0,85	99,15
12.5					818.8	844.5	28,15	71,85
10					1373.3	2217.8	73,92	26,08
8	0	0	0	100	643.9	2861.7	95,39	4,61
6.3	1039.2	1039.2	51.96	48.04	125.5	2987.2	99,57	0,43
5	463.4	1502.6	75.13	24.87	4	2991.2	99,7	0,3
3.15	462.1	1964.7	98.24	1.76				
2.5	27.7	1992.4	99.62	0.38				
Fond	6.6	1999	99.95	0.05				

Les valeurs données sur le tableau ci-dessus nous permettent de tracer les courbes granulométriques pour chaque type de granulats, voir figure 63

CHAPITRE I : les caractéristiques des matériaux utilisés

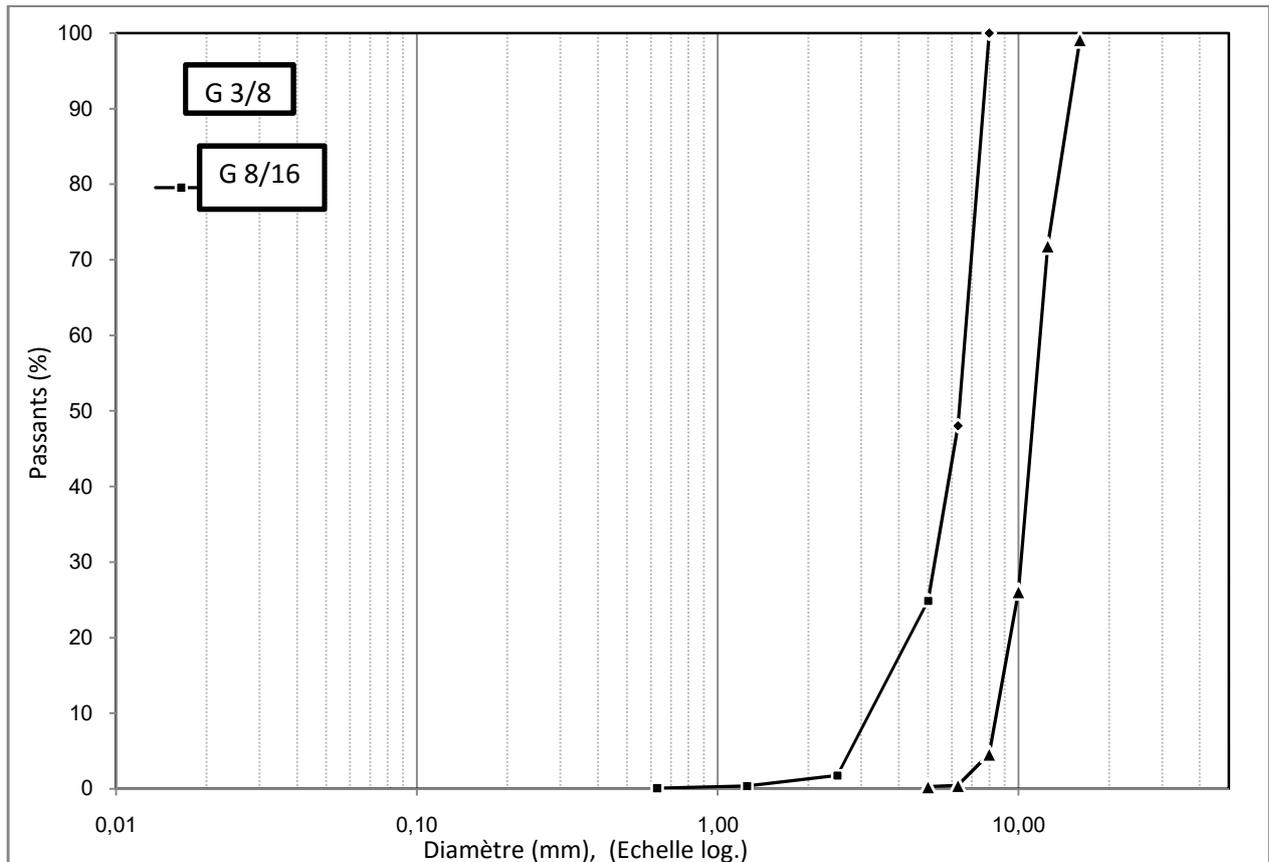


Figure 58 : courbe granulométrique des gravies 3/8 et 8/16



Figure 59 : classes granulaires d'un gravier 8/16 et 3/8

CHAPITRE I : les caractéristiques des matériaux utilisés

I.3.2. Equivalent de sable NF P18-589

Calculs et résultat :

Les résultats de L'équivalent de sable obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 18 : Résultat de l'équivalent de sable.

Lectures		essai n°1	essai n°2	essai n°3
h1 (cm)		10.5	10.7	9.5
h2 (cm)		9	8.7	8
h2' (cm)		9	8.7	7.5
Sur chaque prise%	ESV	85.71	81.30	84.21
	ES	85.71	81.30	78.94
Sur l'échantillon %	ESV		83.74	
	ES		81.32	

Tableau 19 : Valeurs préconisées pour l'E.S

ESV	ESP	sable concassée
≤ 60	≤ 55	Sable argileux
60-70	55-65	Peu argileux
70-80	65-75	Sable propre
> 80	> 75	Très propre

Commentaire :

D'après les résultats de l'équivalent de sable, ce sable est très propre : pas de fines argileuses, ce qui risque en fait d'amener un défaut de plasticité du béton ⇒ augmenter le dosage d'eau ; donne des bétons exceptionnels de très haute résistance.

CHAPITRE I : les caractéristiques des matériaux utilisés

I.3.3. Masse volumique:

I.3.3.1. La masse volumique absolue :

Les résultats de La masse volumique absolue obtenus des différents granulats sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

Sable :

Tableau20 : Résultat de la Masse volumique absolu de sable.

N°: de l'essai	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
Ms(g)		200		
V1 (ml)	600	700	800	900
V2 (ml)	680	780	880	980
γ_{abs} (g/cm3)	2.5	2.5	2.5	2.5
γ_{absmoy} (g/cm3)	2.5			

Tableau21 : Résultat de Masse volumique absolu de plastique.

N°: de l'essai	Essai 1	Essai 1	Essai 1 ...	Essai 1
Ms(g)		40		
V1 (ml)	200	300	400	500
V2 (ml)	245	345	445	545
γ_{abs} (g/cm3)	0.88	0.88	0.88	0.88
γ_{absmoy} (g/cm3)	0.88			

Graviers :

Tableau22 : Résultat de Masse volumique absolue de gravier 8/16

	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
Ms(g)	200	300	400	500
V1 (ml)	500	600	700	800
V2 (ml)	575	710	850	993
γ_{abs} (g/cm3)	2.6	2.7	2.6	2.59
γ_{absmoy} (g/cm3)	2.6			

CHAPITRE I : les caractéristiques des matériaux utilisés

Tableau23: Résultat de Masse volumique absolue de gravier 3/8

	Essai 1	Essai 1	Essai 1	Essai 1
Ms(g)	300	400	500	540
V1 (ml)	600	700	800	750
V1 (ml)	715	860	1000	915
γ_{abs} (g/cm³)	2.61	2.50	2.50	2.73
γ_{absmoy} (g/cm³)	2.6			

Ciment : Le ciment est un corps réagissant avec l'eau, les méthodes de mesure doivent utiliser des liquides qui ne réagissent pas avec le ciment. de Masse volumique absolue de ciment Montré dans La norme EN 196-1[52], et dans la fiche technique

Alor, $\gamma_{abs} = 3.03$ (g/cm³)

I.3.3.2. La masse volumique apparente:

Sable :

En remplissant en laissant tomber du sable d'une dizaine de centimètre et sans le tasser dans un récipient d'un litre, le volume apparent de l'échantillon de sable vaut I litre M0 . Le récipient doit être arasé avec un réglé par mouvement de va et vient.

La pesée de cet échantillon sur une balance tarée à la masse du récipient indique la masse de sable correspondant à cet échantillon de sable M1. Figure 60

Tableau24: Résultat de Masse volumique apparent de sable.

N°: de l'essai	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
V (l)		1		
M0 (g)		299.49		
M1 (g)	1816.80	1829.44	1840.32	1831.92
γ_{app} (g/cm³)	1.52	1.53	1.54	1.53
γ_{appmoy} (g/cm³)	1.53			

Tableau 25: Résultat de Masse volumique apparent de plastique.

N°: de l'essai	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
V (l)		1		
M0 (g)		299.49		
M1 (g)	851.83	848.52	848.84	851.12

CHAPITRE I : les caractéristiques des matériaux utilisés

γ_{app} (g/cm ³)	0.55	0.54	0.54	0.55
γ_{appmoy} (g/cm ³)	0.55			



Figure 60: Essai de la masse volumique apparente de sable

Graviers :

en remplissant, en laissant tomber du gravier d'une dizaine de centimètre et sans le tasser dans un récipient de 5 litres (Figure 61) , le volume apparent de l'échantillon de gravier vaut 5 litres . Le récipient doit être arasé avec un réglé par mouvement de va et vient.

La pesée de cet échantillon sur une balance tarée à la masse du récipient indique la masse de gravier correspondant à cet échantillon.



Figure 61 : récipient d'essai de volume 5 l

CHAPITRE I : les caractéristiques des matériaux utilisés

Tableau26 : Résultat de Masse volumique apparent de gravier 8/16

N°: de l'essai	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
V (l)		5		
M0 (g)		3612.3		
M1 (g)	10315.7	10337.5	10272.7	10336.0
γ_{app} (g/cm ³)	1.34	1.35	1.33	1.34
γ_{appmoy} (g/cm ³)	1.34			

Tableau27: Résultat de Masse volumique apparent de gravier 3/8

N°: de l'essai	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
V (l)		5		
M0 (g)		3612.3		
M1 (g)	10066.4	10216.0	10074.5	10142.6
γ_{app} (g/cm ³)	1.29	1.32	1.29	1.31
γ_{appmoy} (g/cm ³)	1.30			

Ciment :

Tableau28 : Résultat de Masse volumique apparent de ciment

N°: de l'essai	Essai 1	Essai 1	Essai 1
V (l)		1	
M0 (g)		299.49	
M1 (g)	1352.41	1333	1325.44
γ_{app} (g/cm ³)	1.05	1.03	1.02
γ_{appmoy} (g/cm ³)	1.03		

I.2.4. Teneur en eau :

Tableau29: les résultats du teneur en eau

	M _h (g)	M _s (g)	P _w (g)	W (%)
Sable 0/5	1259.4	1247.6	11.8	0.94
Gravier 3/8	1384.6	1374.9	9.7	0.70
Gravier 8/16	1824.2	1821.2	3	0.16

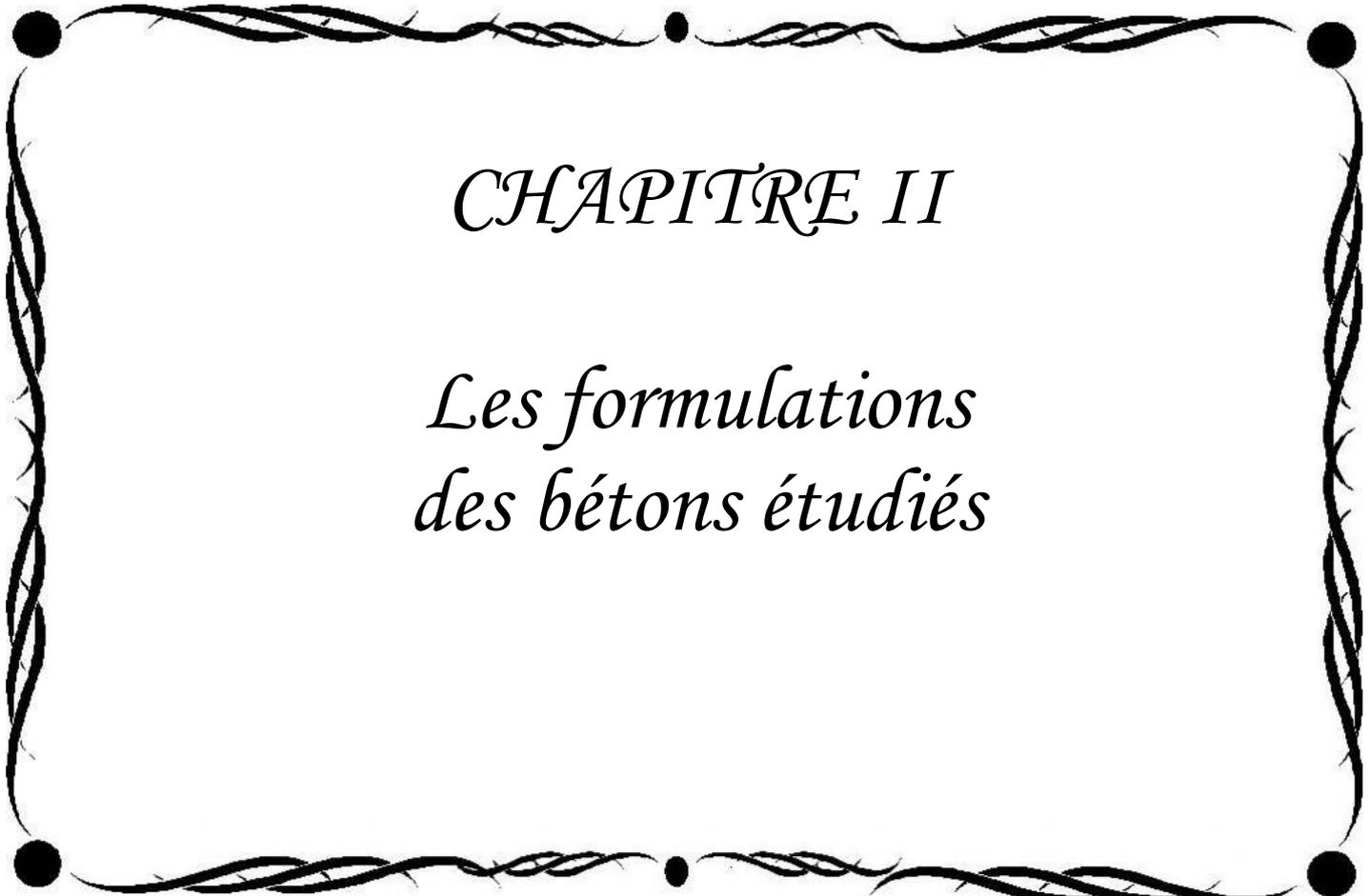
CHAPITRE I : les caractéristiques des matériaux utilisés



Figure 62 : Échantillon à l'étuve

I.4. CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats des essais à matériaux utilisés (sable, gravier, ciment et granulats plastiques). On focalisera la suite du travail sur les résultats obtenus pour la formulation de béton (Dreux Gorisse)



CHAPITRE II

*Les formulations
des bétons étudiés*

CHAPITRE II : Les formulations des bétons étudiés

I.1. introduction

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des granulats, où l'on dispose le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités sont celles recherchées pour la construction de l'ouvrage désiré [53]. Doit être respecter un dosage minimum en ciment et à ne pas dépasser un rapport de la masse d'eau à la masse de ciment, appelé E/C.

I.2. Formulation de béton

I.2.1. Résistance visée

- La résistance désirée pour un béton témoin à 28 jours est telle que : $\sigma_{28} = 25 \text{ MPa}$
- La résistance visée est telle que: $\sigma'_{28} = 1.15 \times 25 = 28.75 \text{ MPa}$

I.2.2. Choix approprié du coefficient granulaire G

G est un coefficient granulaire sans dimension dont la valeur est choisi dans le tableau (voir le tableau 10) après établi par George DREUX [42].

Les granulats utilisés ont un diamètre inférieur à 16 mm, ce qui donne un coefficient granulaire **G=0,45**, avec une bonne qualité.

I.2.3. Choix de la classe vraie de ciment σ_c

Parmi la liste des ciments disponibles sur le marché des matériaux de construction, nous avons retenu le ciment CPJ-CEM II/A 42,5. Sa classe vraie est estimée à : **$\sigma_c = 45 \text{ MPa}$** . (voir le tableau 9)

- Le rapport C/E est donné par : $\frac{C}{E} = \frac{28.75}{0.45 \times 45} + 0.5 = 1.66$

CHAPITRE II : Les formulations des bétons étudiés

I.2.4. Dosage en ciment par m³ de béton

Connaissant le rapport $\frac{C}{E}$ et l'affaissement au cône d'ABRAMS souhaité A, on en déduit, grâce l'abaque, $\frac{C}{E}$ en fonction de A, le dosage en ciment C correspondant:

$\left\{ \begin{array}{l} \frac{C}{E} = 1.66 \\ A = 7 \text{ cm} \end{array} \right\}$ L'abaque donne la valeur du dosage en ciment **C = 330 kg** (Figure 63).

$\left\{ \begin{array}{l} \frac{C}{E} = 1.66 \\ C = 330 \text{ kg} \end{array} \right\}$ On en déduit la valeur de E qui est **E = 198.79 l**

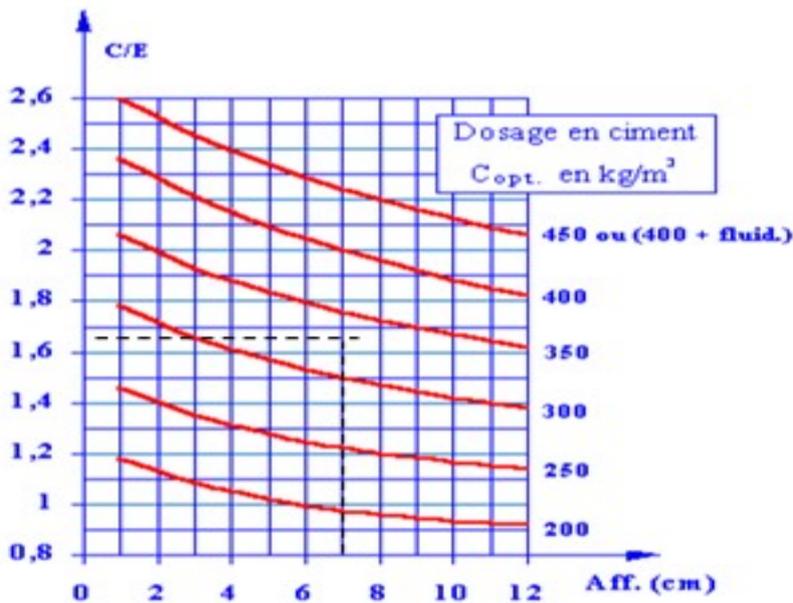


Figure 63: Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône)

I.2.5. Correction du dosage en eau en fonction de D_{max}

Si l'on a $D < 25$ mm, la surface spécifique des granulats augmente et à plasticité équivalente, il faudra légèrement majorer le dosage en eau, et vice-versa. La correction sur le dosage en eau correspond à $D = 25$ mm, peut être approximativement évaluée d'après les valeurs du (voir le tableau 11) en fonction de D.[53].

CHAPITRE II : Les formulations des bétons étudiés

Donc : $E = 198.79 + 198.79 \times 0.04 = 206.74$

I.2.6. Tracé de la courbe granulaire de référence

- le point O [0,080; 0]
- le point B [16; 100],
- Le point A :
 - Le plus gros granulat est $D=16\text{mm}$, donc le point de brisure a pour abscisse: $D/2=8\text{mm}$.

-K : pour $C = 330\text{Kg/m}^3$; Vibration normale; Sable concassé on trouve: $K = +2$ voir le tableau 12

- $K_p = 0$

- $K_s = 3.48$

Donc : $Y = 45.36$

- le point A [8; 45.36].

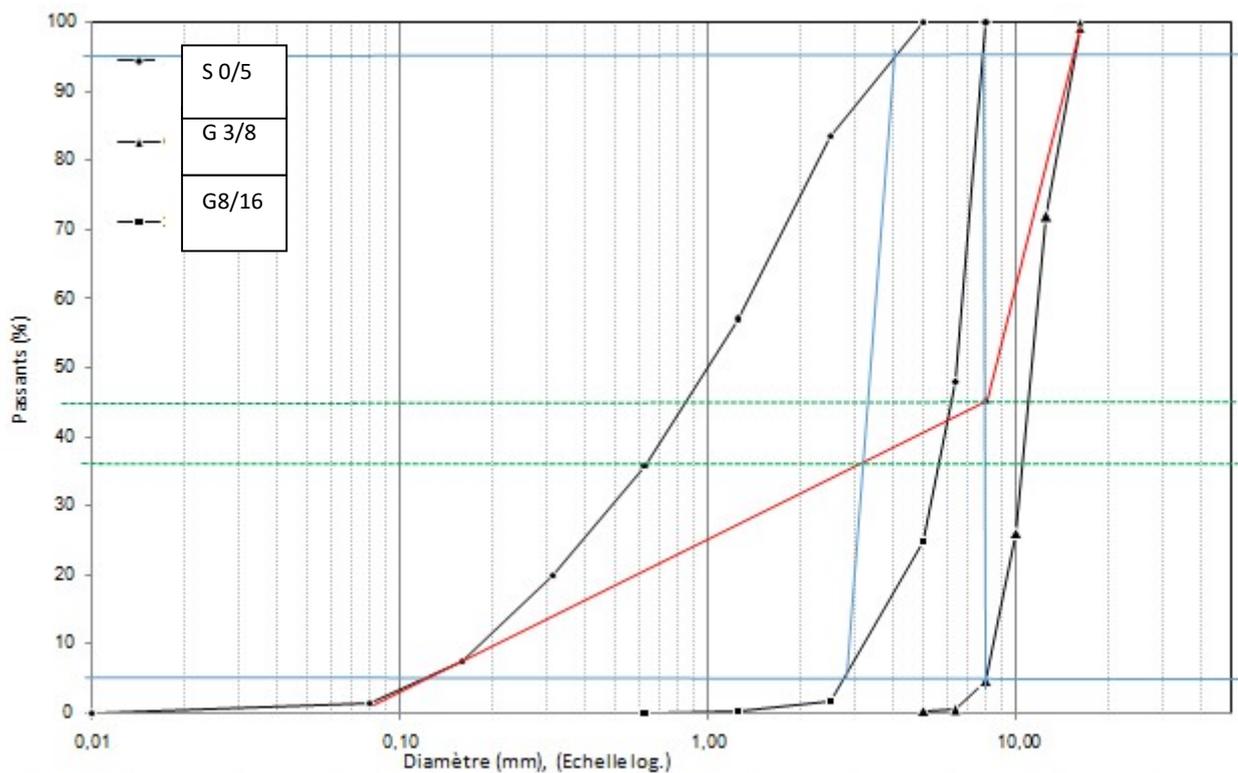


Figure 64 : les courbes granulométriques

CHAPITRE II : Les formulations des bétons étudiés

A partir de la courbe, On obtient donc un mélange optimal avec un volume absolu de 36 % de sable 0/5 et 64% de gravier (Gravier 3/8: 9% + Gravier 8/16: 55 %). Sur la courbe granulométrie, les points d'intersection entre les lignes de partage et la courbe OAB donnent les pourcentages des granulats suivants :

Sable 0/3 : 36%

Gravier 3/8 : 9 %

Gravier 8/16 : 55 %

I.2.7. Coefficient de compacité

En utilisant le tableau (voir le tableau 13) des valeurs du coefficient de compacité et après interpolation pour un diamètre maximum de granulats égal à 16 mm, on trouve une valeur de $c = 0,815$.

Donc : $\gamma = 0.815 - 0.03 = 0.785$

I.2.8. Dosage des granulats

- Volumes absolus des constituants solides sont:
- Le volume total absolu : $1000 \gamma_c = 785 \text{ l/m}^3$
- Le volume absolu du ciment : $(330/3,1) = 106.45 \text{ l/m}^3$
- Le volume absolu des granulats : $785 - 106.45 = 678.55 \text{ l/m}^3$
- Le volume absolu du gravier 3/8 : $VG1 = 678.55 \times (9/100) = 61.06 \text{ l/m}^3$
- Le volume absolu du gravier 8/16: $VG2 = 678.55 \times (55/100) = 373.20 \text{ l/m}^3$
- Le volume absolu du sable : $VS = 678.55 \times (36/100) = 244.27 \text{ l/m}^3$

I.2.9. Connaissons les masses volumiques absolues des granulats

- Gravier 3/8 = $61.06 \times 2,6 = 158.75 \text{ Kg/m}^3$
- Gravier 8/16 = $373.20 \times 2,6 = 970.32 \text{ Kg/m}^3$
- Sable 0/5 = $244.27 \times 2,5 = 610.67 \text{ Kg/m}^3$

Pour préparer 1 m^3 de béton, il faudra donc les masses représenté dans le tableau 30.

CHAPITRE II : Les formulations des bétons étudiés

Tableau 30: Composition d'un mètre cube du béton

Composants	Quantité
Ciment	330 Kg/m ³
Sable	610.67Kg/m ³
Gravier3/8	158.75 Kg/m ³
Gravier 8/16	970.32 Kg/m ³
Eau	206.74 Kg/m ³
Rapport E/C	1.66 litre /m ³

I.3. 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 poudrettes de plastique 10 % ,20 % et 30% successivement en substituant le sable en volume.

I.4. Composition et Nombre d'éprouvettes réalisées pour chaque substitution

-Les quantités des composants (eau, ciment et gravier) sont identiques pour toutes substitutions

-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). représentée dans le tableau 31.

CHAPITRE II : Les formulations des bétons étudiés

Tableau 31 : Dosages Des BT

Composants	Quantité
Ciment	330 Kg/m ³
Sable	610.67Kg/m ³
Gravier3/8	158.75 Kg/m ³
Gravier 8/16	970.32 Kg/m ³
Eau	206.74 Kg/m ³
Rapport E/C	1.66 litre /m ³
Nombres d'éprouvettes	<p>9 éprouvettes Cubiques de(10x10x10cm) pour l'essai de compression</p> <p>4 éprouvettes Cylindriques de (16x32cm) pour l'essai détermination du module d'élasticité</p> <p>4 éprouvettes de Prismatiques de (7x7x28cm) pour l'essai de traction par flexion</p>

❖ Béton modifié BP10%

On a utilisé les déchets de plastique comme granulats dans le béton en substitution d'une fraction volumique du sable, avec des taux de substitution de 10%. La composition des différents mélanges des bétons testés est représentée dans le tableau 32

$$\left\{ \begin{array}{l} Ms = 610.67 \text{ Kg} \\ \text{BP10\%} \end{array} \right\} \quad ms = \frac{610.67 \times 10}{100} = 61.06 \text{ Kg}$$

$$V_{pl} = \frac{ms}{\gamma_s} = \frac{61.06}{2.5 \times 1000} = 24.42 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m_{pl} = V_{pl} \times \gamma_s = 24.42 \times 0.88 = 21.48 \text{ Kg}$$

$$ms = 610.67 - 61.06 = 549.60 \text{ kg}$$

CHAPITRE II : Les formulations des bétons étudiés

➤ représentée dans le tableau 32

Tableau 32 : Dosages Des BP 10%

Composants	Quantité
Sable	549.60Kg
Plastique	21.48 kg
Nombres d'éprouvettes	9 éprouvettes Cubiques de (10x10x10cm) pour l'essai de compression. 4 éprouvettes Cylindriques de (16x32cm) pour l'essai détermination du module d'élasticité 4 éprouvettes de Prismatiques de (7x7x28cm) pour l'essai de traction par flexion

❖ Béton modifié BP20%

$$\left\{ \begin{array}{l} M_s = 610.67 \text{ Kg} \\ \text{BP20\%} \end{array} \right\} m_s = \frac{610.67 \times 20}{100} = 122.13 \text{ Kg}$$

$$V_{pl} = \frac{m_s}{\gamma_s} = \frac{122.13}{2.5 \times 100} = 48.85 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m_{pl} = V_{pl} \times \gamma_s = 48.85 \times 0.88 = 42.99 \text{ Kg}$$

$$m_s = 610.67 - 42.99 = 567.68 \text{ kg}$$

➤ représentée dans le tableau33

CHAPITRE II : Les formulations des bétons étudiés

Tableau33 : Dosages Des BP 20%

Composants	Quantité
Sable	549.60Kg
Plastique	21.48 kg
Nombres d'éprouvettes	<p>9 éprouvettes Cubiques de (10x10x10cm) pour l'essai de compression.</p> <p>4 éprouvettes Cylindriques de (16x32cm) pour l'essai détermination du module d'élasticité</p> <p>4 éprouvettes de Prismatiques de (7x7x28cm) pour l'essai de traction par flexion</p>

❖ Béton modifié BP30%

$$\left\{ \begin{array}{l} Ms = 610.67 \text{ Kg} \\ \text{BP30\%} \end{array} \right\} \quad ms = \frac{610.67 \times 30}{100} = 183.20 \text{ Kg}$$

$$V_{pl} = \frac{ms}{\gamma_s} = \frac{183.20}{2.5 \times 10} = 73.28 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m_{pl} = V_{pl} \times \gamma_s = 73.28 \times 0.88 = 64.48 \text{ Kg}$$

$$ms = 610.67 - 64.48 = 546.19 \text{ kg}$$

➤ représentée dans le tableau34

CHAPITRE II : Les formulations des bétons étudiés

Tableau 34 : Dosages Des BP 30%

Composants	Quantité
Sable	546.19Kg
Plastique	64.48 kg
Nombres d'éprouvettes	9 éprouvettes Cubiques de (10x10x10cm) pour l'essai de compression. 4 éprouvettes Cylindriques de (16x32cm) pour l'essai détermination du module d'élasticité 4 éprouvettes de Prismatiques de (7x7x28cm) pour l'essai de traction par flexion

I.5. Conclusion

En étudiant la composition du béton, nous avons pu déterminer le mélange optimal d'agrégats et connaître le nombre et la composition des échantillons d'essai qui ont été effectués pour chaque remplacement. Dans le travail suivant, nous avons expliqué les expériences sur le béton préparé et connaissons ses propriétés mécaniques, son opérabilité et sa densité apparente.



CHAPITRE III
ANALYSE ET DISCUSSION
DES RESULTATS

CHAPITRE III : Analyse et discussion des résultats

III.1. Introduction

Ce chapitre, est consacré à l'analyse des résultats obtenus à partir des différents essais cités dans la partie I chapitre II. Il caractérise le comportement physico-mécanique à l'état frais et durci des bétons 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), tels que l'ouvrabilité, la masse volumique à l'état frais, les résistances mécaniques à la compression à 7 et 28 jours et la vitesse d'impulsion des ondes sonores.

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 empêché la réalisation des essais restants tels que : la résistance à la flexion et le module d'élasticité dynamique E_d , malgré la confection des éprouvettes.

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 (tableau 35) en précisant pour chacune les types de plastiques et les pourcentages de substitutions prises dans les études considérées.

CHAPITRE III : Analyse et discussion des résultats

Tableau 35 : tableau en précisant les types de plastiques et les pourcentages de substitutions prises dans les études considérées.

Référence	Type de granulats	Taille des particules	Origine de granulats	Densité	Composite	Type et taux de substitution
Kou et al. [54]	PVC	$\leq 5\text{mm}$	Plastique	1,4	Béton	Agrégat, 5%, 15%, 30% et 45% du volume
Senhadji et al. [55]	PVC	$3\text{mm} \leq d \leq 8\text{mm}$	Tuyaux de PVC	1,44	Béton	Agrégat, 30%, 50%, et 70% du volume
Albano et al. [56]	PET	$0.26\text{cm} \leq d \leq 1.14\text{cm}$	Bouteilles en PET	-	Béton	Agrégat fin, 10% et 20% du volume
Saikia et al. [57]	PET	$4\text{mm} \leq d \leq 11.2\text{mm}$	Bouteilles en PET	1,34	Béton	Agrégat, 5%, 10%, et 15% du volume
Akçaözöglu et al. [58]	PET	$\leq 4\text{ mm}$	Bouteilles en PET	1,27	Béton	Agrégat, 20% - 100% du volume
Babu et al. [59]	EPS	$4.75\text{mm} \leq d \leq 6.3\text{mm}$	polystyrène expansé	0,029	Béton	Agrégat grossier, 16.3 –66.5% du volume
Herki et al. [60]	EPS	$\leq 8\text{ mm}$	polystyrène expansé	0,8	Béton	Agrégat fin, 60% et 100% du volume
Ismail et al. [61]	PEHD	≤ 2.36	PEHD	1,04	Béton	Agrégat fin 2%, 4% et 6% du volume
Matos et al. [62].	Liège	-	bouchons de bouteille	0,079	Béton	1.06 - 8.57% du volume de ciment
Choi et al.	WPLA	$\leq 0.15\text{ mm}$	Bouteilles en PET	1,39	Mortier/Béton	[54] Agrégat, 25%, 50%, et 75% du volume

CHAPITRE III : Analyse et discussion des résultats

III.2. Les essais programmés avec nombres d'éprouvettes confectionnées

Dans cette études, on quatre types de béton formulés : un béton témoin (BT) et trois béton (B10, B20, B30) avec trois substitutions (10%, 20%, et 30%) et pour effectuer les essais suivants :

- **La résistance à la compression** : pour les quatre bétons
Eprouvettes cubiques (10x10x10) : 3ép pour 7j + 3ép pour 28j + 3ép pour 120j = 9ép
- **La résistance à la traction par flexion** : pour les quatre bétons
Eprouvettes prismatiques (7x7x28) : 2ép pour 28j + 2ép pour 120j = 6ép
- **Le module d'élasticité** : pour les quatre bétons
Eprouvettes cylindriques (16x32) : 2ép pour 28j + 2ép pour 120j = 4ép
- **Les essais non destructifs** : Pour chaque type de béton sur trois éprouvettes cubiques avant écrasement

Au total : 36 éprouvettes cubiques 10x10x10

16 éprouvettes prismatiques 7x7x28

16 éprouvettes cylindriques 16x32



Figure 65: Eprouvettes cubiques



Figure 66 : Eprouvettes prismatiques



Figure 67: Eprouvettes cylindriques

CHAPITRE III : Analyse et discussion des résultats

Remarques

- Toutes les éprouvettes ont été confectionnées et conservées dans un bac d'eau au laboratoire ;
- Les deux essais concernant le module d'élasticité et la résistance à la traction par flexion ont été annulés à cause du confinement suite à la propagation de l'épidémie covid19.

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

III.3.1. Essai d'affaissement

L'essai d'affaissement au cône d'Abrams est réalisé selon la norme NF P18-451.

L'affaissement des bétons est donné dans le tableau 36



Figure 68: Mode opératoire de l'essai d'Affaissement au cône d'Abrams

Tableau 36: les résultats d'affaissement au cône d'Abrams

Béton	Affaissement
BT	4.5
B10%	5
B20%	6
B30%	10

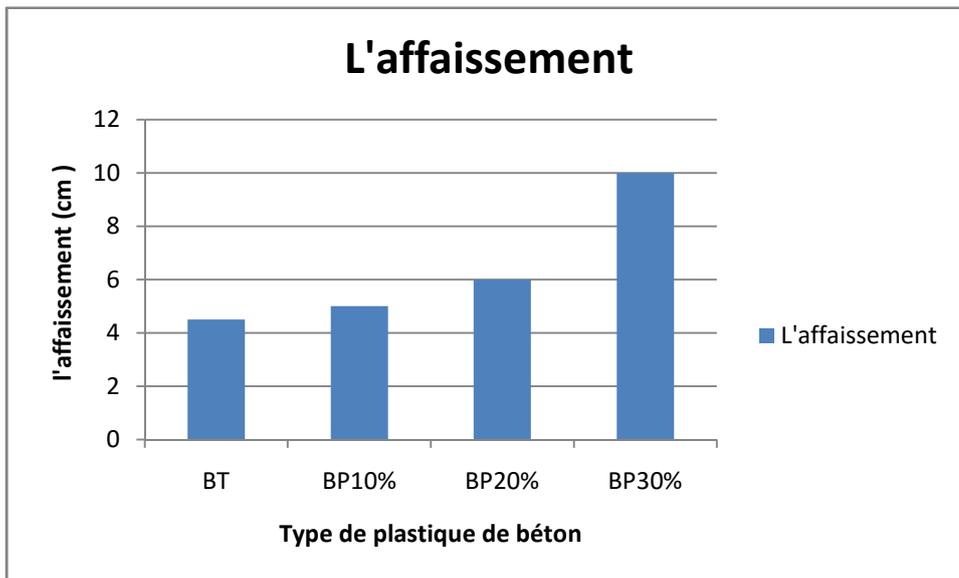


Figure 69: valeurs d'affaissement pour les quatre types du béton

Tableau 37: 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 F1	≥ 16	

Discussion des résultats

D'après la Figure 69 et le Tableau 37 on peut constater que l'affaissement augmente avec l'incorporation des plastiques. En effet il passe de 4.5cm pour le béton ordinaire à 5cm pour un béton contenant 10% de plastique et 6cm pour BP20%. Par ailleurs, on constate que le BP30% présente une ouvrabilité (10cm), Le béton est presque très plastique.

CHAPITRE III : Analyse et discussion des résultats

Selon des études précédentes

- Un certain nombre de facteurs, tels que le dosage de substitution en PA, le rapport eau-ciment (E/c) et la forme des granulats plastiques, affectent l'affaissement du béton contenant des granulats plastiques [2 (Gu 2016)]
- Sharma (2016) affirme que l'ouvrabilité du béton dépend de la quantité d'eau libre dans le béton qui est influencée par la présence des granulats plastiques, affectant ainsi l'ouvrabilité du béton.
- Selon Ismail (2017), Batayneh(2007), et Rai(2012) : l'augmentation de la substitution en granulats plastique S_{PA} diminue la maniabilité du béton frais (faible affaissement) est du à la forme angulaire des particules et les arêtes vives de l'agrégat plastique, la faible fluidité résultant de formes non uniformes de PA et le grand rapport de particules fines ou de poudre (qui est souvent causé par le broyage du plastique) augmente la surface totale augmentant ainsi la nécessité d'augmenter la teneur en eau pour entourer ces particules.

D'après ces études et les résultats qu'on a obtenus ainsi que les caractéristiques des granulats plastiques utilisés, on confirme que : l'augmentation de la substitution en granulats plastique S_{PA} augmente la maniabilité du béton frais à cause de la forme arrondie et la surface lisse des particules plastiques qui engendre une quantité d'eau libre dans le béton.

III.3.2. La Masse volumique (la densité) à l'état frais

Le PEHD 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 PEHD comme agrégat diminue généralement la densité du béton résultant du fait de la légèreté de l'agrégat en PEHD.

Dans le tableau 38 et la figue 70 donnent les résultats des mesures de la masse volumique à l'état frais pour les 04 formulations du béton.

CHAPITRE III : Analyse et discussion des résultats

Tableau 38: Les résultats de la Masse volumique à l'état frais

	BT	BP10%	BP20%	BP30%
La masse volumique à l'état frais (g/cm³)	2.55	2.47	2.44	2.38

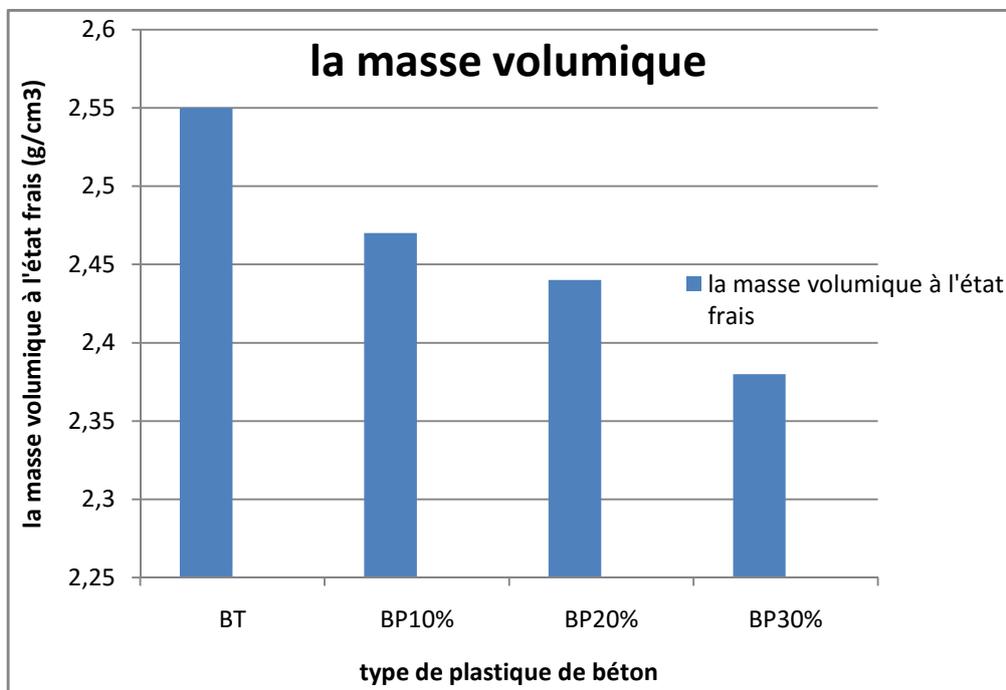


Figure 70: Variation de la masse volumique à l'état frais selon l'incorporation de AP

D'après la figure 76, 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%.

CHAPITRE III : Analyse et discussion des résultats

La masse volumique à l'état frais des bétons diminue avec l'augmentation du taux de substitution en granulats 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 PA). Le béton devient également plus légers avec 30% de PA. Cette observation a déjà été vérifiée par plusieurs auteurs (Baboo et al.2012, Ferreira et al.2012, Saikia et de Brito, Hannawi et al., Fraj et al.).

La masse volumique à l'état frais des bétons diminue avec l'augmentation du taux de substitution en granulats en plastique, ceci s'explique logiquement par le fait que le produit de substitution (granulats de plastique) est plus léger que le sable naturel (densité de 2,5 pour le sable contre 0,88 pour le AP).

III.4 Caractérisation des bétons à l'état durci

III.4.1 Résistance à la compression

La variation de la résistance à la compression a été étudiée à l'âge de 7 et 28jours, les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 39: Les résultats de la résistance à la compression.

		BT	B10%	B20%	B30%	
Résistance à la compression (MPA)	7jours	25.11		23.77	22.78	19.67
	28 jours	35.13		31.27	29.54	26.61

CHAPITRE III : Analyse et discussion des résultats



Figure 71: la résistance a la compression en fonction du temps pour la BP 10% à appareil de compression



Figure 72 : Une éprouvette BP 10% après l'écrasement à la presse

CHAPITRE III : Analyse et discussion des résultats

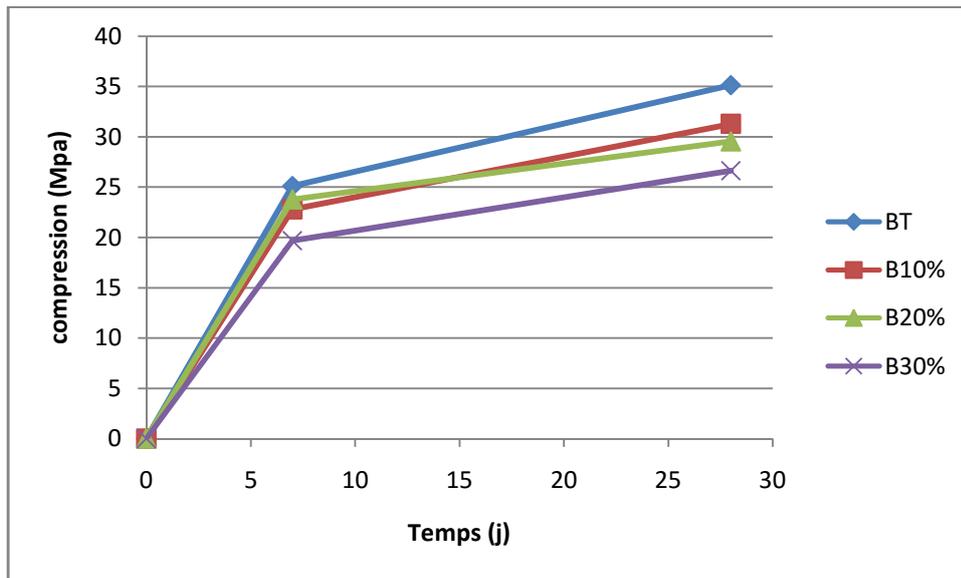


Figure 73: variation de la résistance a la compression en fonction de la substitution en AP

D'après les résultats obtenus : La résistance à la compression du béton PA avec le même E/c diminue avec l'augmentation du S_{PA} .

- Pour une substitution de 10% une diminution de plus de 5% à 7 jours et plus de 12% à 28 jours par rapport au béton témoin (sans granulats plastiques) ;
- Pour une substitution de 20% une diminution de plus de 10% à 7 jours et presque de 19% à 28 jours ;
- Pour une substitution de 30% une diminution de plus de 21% à 7 jours et plus de 24% à 28 jours ;

La résistance à la compression du béton PA dépend de nombreux paramètres tels que le E/c, le S_{PA} et les types et formes de déchets plastiques. Cette réduction est due à :

- la faible adhérence entre la surface du PA et la pâte de ciment;
- la réaction d'hydratation du ciment contenue près de la surface du PA résultant de la nature hydrophobe du PA;
- La haute teneur en air et porosité du béton PA;

CHAPITRE III : Analyse et discussion des résultats

Selon les auteurs

- Toutes les études indiquent que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation de S_{PA} .
- De nombreux paramètres, tels que le S_{PA} , les formes et les types de déchets plastiques et le rapport E/C, affectent la résistance à la compression du béton contenant du plastique [Gu 2016].
- Gu et Ozbakkaloglu (2016) ont observé que la résistance à la compression des mélanges de béton contenant du PWA de forme non uniforme diminue de manière plus significative que celle des mélanges de béton contenant du PWA de forme uniforme. De plus, le module d'élasticité du PWA joue un rôle important dans la résistance du béton.
- L'utilisation de PWA avec un module d'élasticité élevé (PET) diminue la résistance à la compression du béton.
- Selon Gu2016 et Saikia et al.2012 : la très faible adhérence entre la pâte de ciment et la surface des granulats plastique diminue la résistance à la compression du béton BP.
- Batayneh et al 2007. ont observé une réduction des résistances à la compression du béton contenant du PWA en remplacement du sable. Un taux de remplacement de 20% a conduit à diminuer la résistance à la compression de 72% des échantillons de référence. Alors que 5% de PWA conduit à réduire la résistance à la compression à 23% .
- Albano et al. a étudié l'influence du rapport E/C sur la résistance à la compression du béton à différents âges et le dosage de PET. L'ajout de PET a diminué la résistance à la compression du béton par rapport aux échantillons de référence à différents âges de durcissement. 10% du PET ont diminué la résistance à la compression de 15% par rapport au béton témoin.

III.4.2 Essais non destructif impulsions ultrasoniques (Norme NF P 18-418)

Le test de la vitesse des impulsions ultrasoniques est effectué pour étudier l'homogénéité et la structure du béton. Actuellement, peu d'études sont disponibles pour évaluer l'UPV du béton contenant du plastique. Les études précédentes montrent que le béton contenant du plastique a des valeurs d'UPV plus bas en raison du développement des pores.

CHAPITRE III : Analyse et discussion des résultats

Tableau40 : la vitesse et le temps des impulsions ultrasoniques

Type du béton	La vitesse (m/s)
BT	4115
B10%	3915
B20%	3800
B30%	3665

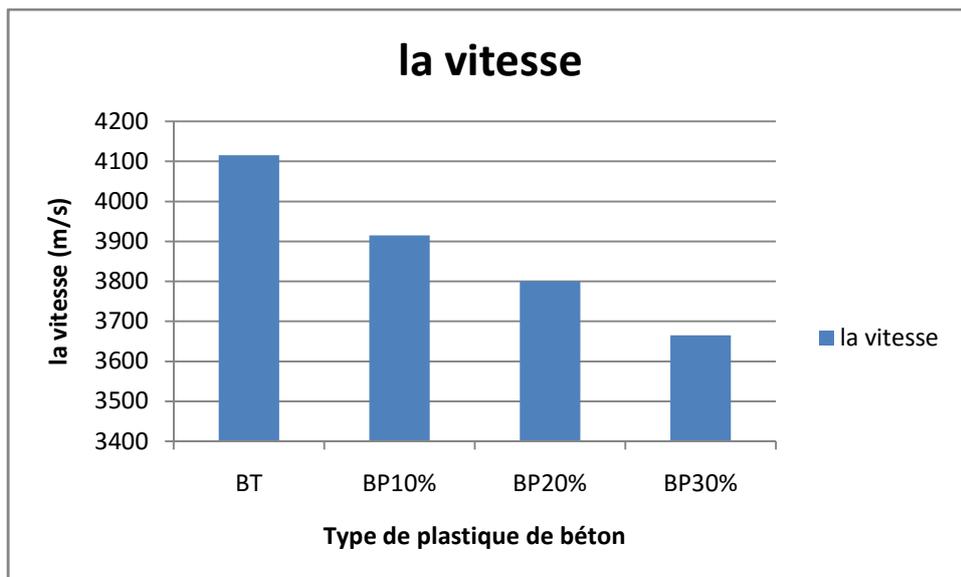


Figure 74 : Variation de la vitesse des impulsions ultrasoniques en fonction de l'incorporation des granulats plastiques dans le béton

CHAPITRE III : Analyse et discussion des résultats

La vitesse des impulsions ultrasoniques diminue avec l'augmentation de la substitution en granulats PEHD ;

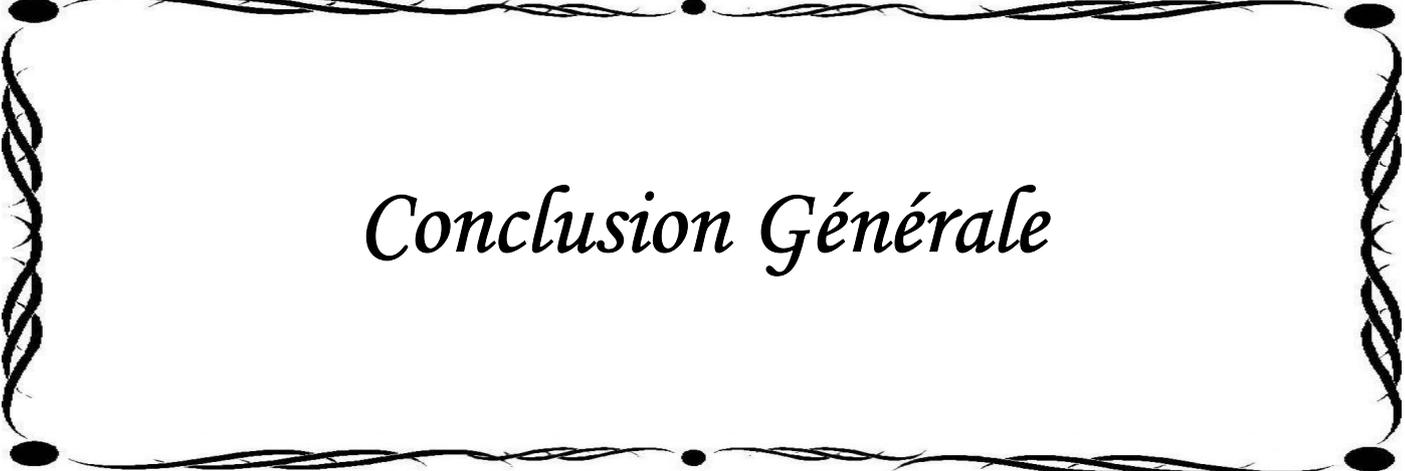
La diminution de la vitesse des impulsions ultrasoniques est due à la porosité accrue dans le béton causée par l'incorporation des granulats plastiques c'est-à-dire l'incorporation des granulats de PEHD rend le béton poreux.

Selon Azhdarpour et al, Rahmani et al, la diminution de la vitesse des impulsions ultrasoniques est due à la porosité accrue dans le béton causée par l'incorporation des granulats de PET ainsi que par l'augmentation du rapport E/C

III.5. Conclusion

Les résultats présentés dans ce chapitre montrent l'influence de l'incorporation de granulats de plastique sur les propriétés du béton à l'état frais et durci. On a constaté que :

- La présence des granulats en plastique a augmenté la maniabilité du béton.
- La masse volumique des bétons incorporant des PA plus faible que celle du BT, cette diminution est due à la faible densité du plastique par rapport à celle des granulats naturels.
- L'incorporation de granulats en plastique diminue la résistance à la compression et à la traction par flexion. Plus le taux de substitution en PA est élevé plus les valeurs des propriétés Mécaniques diminuent.
- on constate la diminution du module d'élasticité et La vitesse longitudinale du son dans le béton avec l'augmentation de la teneur globale en matière plastique.



Conclusion Générale

Conclusion générale

Plusieurs études ont déployé des efforts considérables pour étudier les propriétés du béton contenant du plastique (plastique recyclé) comme granulats. ces études ont obtenu des résultats différents mais le comportement était le même selon le type, la taille et la proportion de plastique utilisé. Les propriétés du béton sont réduites, mais du béton léger est obtenu. Le plastique peut ainsi être utilisé dans certaines proportions dans le béton, et les recherches dans ce sens se poursuivent.

A notre tour des conclusions sont tirées, suite à cette étude des caractéristiques physico-mécaniques du béton contenant des granulats en PEHD :

1. l'augmentation de la substitution en granulats plastique S_{PA} augmente la maniabilité du béton frais à cause de la forme arrondie et la surface lisse des particules plastiques qui engendre une quantité d'eau libre dans le béton ;
2. La masse volumique à l'état frais des bétons diminue avec l'augmentation du taux de substitution en granulat en plastique, ceci s'explique logiquement par le fait que le produit de substitution (granulats de plastique) est plus léger que le sable naturel (densité de 2,5 pour le sable contre 0,88 pour le AP) ;
3. La substitution du plastique comme agrégat réduit généralement le poids unitaire quels que soient le type et la taille de la substitution .Le poids unitaire du béton diminue avec l'augmentation du dosage en granulats plastiques.
4. La diminution de la vitesse des impulsions ultrasoniques est due à la porosité accrue dans le béton causée par l'incorporation des granulats plastiques c'est-à-dire l'incorporation des granulats de PEHD rend le béton poreux.
5. L'UPV, qui reflète la qualité du béton, diminue avec l'augmentation de la proportion de plastique. Cette constatation peut refléter la mauvaise qualité du béton en présence de plastique.

Enfin, l'intérêt majeur qui a été à l'origine de cette étude est la possibilité de substituer partiellement des agrégats naturels, par un déchet. En effet les déchets étant des produits nuisibles pour l'environnement et ils sont beaucoup moins chers que les granulats

naturels, qui eux, passent par des processus coûteux. Donc, la présente étude a montré bien des résultats tout à fait encourageants pour la valorisation des déchets pour la confection des Eco-matériaux de construction.

Recommandations :

1. Les études futures devraient viser à améliorer la résistance à la compression du béton, sur laquelle reposent de nombreuses propriétés du béton.
2. Il est recommandé d'utiliser du béton contenant du plastique dans des éléments non structurels qui ne nécessitent pas une résistance à la compression élevée. La perméabilité élevée et la faible absorption du plastique peuvent être exploitées dans le béton et utilisées dans de nombreuses applications, telles que les chaussées qui nécessitent un bon drainage de l'eau et les terrains de sport.

Référence :

[1] N. BELHANECHÉ, M.A. CHABOU. « Contribution a la valorisation des déchets de matières plastiques ». El- Harrach, Alger. Département Génie de l'environnement Ecole Nationale Polytechnique, BP182.

[2] Gaelle Bissagou Koumba. « Fragmentations Chimique et physique de plastiques et micro plastiques en eau douce sous irradiation UV-visible ». Mémoire de Master 2 Recherche et Développement des Matériaux pour l'énergie en génie civil Université Clermont Auvergne, 2018. Français

[3] Ghernouti. Y , Brahim. B, Safi and Rabah Chaid. University M'Hamed Bougara of Boumerdes. Algeria.)

(Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Technologies Volume 8, ISSN 1314-7269 (Online), Published at:

<http://www.scientific-publications.net> use of recycled plastic bag waste in the concrete

[4] <http://www.pepctplastics.com/>.

[5] PlasticsEurope. Plastics – the Facts 2014/2015. Accédé 4 mars, 2017. Disponible au: http://www.plasticseurope.org/documents/document/20150227150049final_plastics_the_facts_2014_2015_260215.pdf

[6] <https://fr.statista.com/infographie/20457/evolution-de-la-production-mondiale-de-plastique/>

[7] <http://lavalorisationdesdechets.e-monsite.com/pages/valorisation-de-matiere/mais-de-quoi-est-compose-le-plastique.html>.

[8] Colin Jacob-Vaillancourt. « Caractérisation avancée et valorisation des plastiques mélangés postconsommation ». Étude de cas chez Gaudreau Environnement Inc. Maîtrise en génie civil Maitre ès sciences (M. Sc.) Québec, Canada © Colin Jacob-Vaillancourt, 2018.

[9] American Chemistry Council. Lifecycle of a Plastic Product. Accédé 05 mars, 2017. Disponible au: <https://plastics.americanchemistry.com/>

[10] Traore. B. « Elaboration et caractérisation d'une structure composite (sable et déchets plastiques recyclés): Amélioration de la résistance par des charges en argiles ». Pour obtenir le titre de docteur en sciences de la terre, spécialité : géomatériaux. Université Bourgogne Franche-Comté; Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 2018. Français.

[11] Buyck, Maxime «Gestion des déchets plastiques et détection de micro-déchets plastiques en station d'épuration en Wallonie ». Mémoire de Master en bioingénieur : sciences et technologies de l'environnement, à finalité spécialisée. UNIVERSITE GEMBLOUX AGRO-BIO TECH. 2017-2018

[12] KADDECHE. M. « Étude de la rupture du polyéthylène sous charge constante ». Mémoire de doctorat en génie mécanique. Université de Guelma. 2014.

[13] M. Wanin, évaluation non destructive de la qualité des matériaux (partie 1), techniques de l'ingénieur m 4 130 – 2.

<https://www.techniques-ingenieur.fr/>

[14] Blondet. R, Fouere. G. (L2, Institut Villebon-Charpak promotion 2018).

<https://ramenetessciences.wordpress.com/2017/05/02/le-polyethylene-haute-densite-pehd/>

[15] <https://www.servipac-salazie.com/>

[16] GOUASMI. M. T. « effets d'agrégats légers à base de poly téréphtalate d'éthylène sur les propriétés des mortiers ». Mémoire de Mastère en chimie. Université d'Oran. 23 Mai 2013.

[17] Corinaldesi V, Donnini J, Nardinocchi A: Lightweight plasters containing plastic waste for sustainable and energy-efficient building. Construction and Building Materials 2015, 94:337345.

[18] <https://lenergeek.com/2018/09/27/plastique-pollution-environnement-couverts-contenants/>

[19] Mell. MIRI Léila. « Valorisation des déchets plastiques sous forme des fibres dans les mortiers ». Mémoire de Master en génie civil. Université AKLI MOHAND OULHADJ de BOUIRA. 2016/2017.

[20] CHELABI. H, TALEB. Z. « Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre ». Mémoire de Master en Génie Civil. UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ. BOUIRA . 2016/2017

[21] M. MAKHLOUF Née CHERGUI. N. « caractérisations en statique du comportement en traction directe du béton arme de fibres en copeaux ». Mémoire de magister de Génie Civil. Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou. 30 / Novembre / 2010.

[22] CHIKHI. A. « Etude du Comportement Thermo-Hydrique des Parois des Bâtiments. Influence des Effets de l'Etat Hygrothermique et des Propriétés Thermo-Physiques». Thèse de doctorat en Génie Climatique Campus. Université Ahmed Hamani Constantine. Soutenue le : 06 Novembre 2016.

[23] CHABI. M, LAMALI. B «Valorisation de la poudre de verre dans un béton ordinaire destiné Pour la précontrainte». Mémoire de Master en Génie de matériaux. Université de M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES. 2016/2017.

[24] NF P15-301. Liants hydrauliques Ciments courants. Composition, spécifications et critères de conformité. Juin 1994

[25] http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_deux.html.

[26] HADRI. S. «Le passage d'un Béton à Haute Performance à un Béton Autoplaçant Haute Performance ». Mémoire de magister en Génie Civil Université Guelma. Année 2012.

[27] Ho A. C (2010). : Thèse de doctorat: « Optimisation de la composition et caractérisation d'un béton incorporant des granulats issus du broyage de pneus usagés » : Application aux éléments de grande surface. Université INSA de Toulouse. 60-62.

[28] FEDAOUI-AKMOUSSI. O. « Étude du comportement mécanique et durabilité des bétons fibrés : influence de différents environnements et de la nature des fibres ». Thèse de doctorat en génie civil. Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou. Soutenue le 06 / 03 / 2016.

[29] la norme NF EN 12620 +A1 : Granulats pour béton. Indice de classement : P 18-601. Juin 2008.

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

[31] BENCHIKH. C. «Influence des particules fines sur les caractéristiques mécaniques et le retrait d'un béton ordinaire ». Mémoire de magister en Génie Civil Université A.Mira-BEJAIA.

2010/2011.

[32] la norme: P18-560 Granulats - Analyse granulométrique par tamisage. Septembre 1990.

[33] la norme NF P 18-540 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Décembre 1997

[34]ATHAMNIA. H, BENHAMIDA. B. « Caractérisation de l'ouvrabilité des mortiers et des bétons ». Mémoire de Mastère en génie Civil. Université de Guelma. Juin 2013

[35]la norme NF P18-589 : Equivalent de sable .Octobre 1991.

[36]R.Oupain, J.C. Saint. Arroman. Granulats, sols, ciments et béton. Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire.

[37]QUINAOU. G et MARTEIL. S. Exposé du 29/01/99. Elèves de BTS Bâtiment 1 ère année 1998-1999.

[38] la norme NF P 18-554 : Granulats. Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux. Décembre 1990.

[39] la norme NF EN 1097-3 : Déterminé les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Août 1998

[40] www.scribd.com

[41] DREUX G., FESTA J. (1998) ; Nouveau guide du béton et ses constituants, éditions Eyrolles ; Paris, 409 p.

[42] la norme NF P18-422 : Mise en place par aiguille vibrante. Décembre 1981

[43] la norme NF P 18-423 :

[44] la norme NF P 18-451 : Béton .Essai D'affaissement . Décembre 1981.

[45] QUINAOU. G et MARTEIL. S. Exposé du 29/01/99. Elèves de BTS Bâtiment 1 ère année 1998-1999

[46] la norme NF EN 12350-6 : Essai pour béton frais, la masse volumique. Indice de classement : P 18-440. Décembre 1999.

[47] la norme EN 12390-3 : Essai pour béton durci, résistance à la compression des éprouvettes. Indice de classement : P 18-455. Février 2003.

[48] la norme NFP 18-407 : Béton, essai de flexion. Décembre 1981.

[49] GADRI, K et GUETTALA, A. : « évaluation du module d'élasticité à l'aide des techniques non destructive » 22ème Congrès Français de Mécanique, Lyon, 24 au 28 Aout 2015.

[50] la norme NF P 18-418) : Béton. Auscultation sonique. Décembre 1989.

[51] la norme NF EN 196-2 : Méthodes d'essais des ciments. Indice de classement : P 15-471-2. Avril 2006.

[52] la norme EN 196-1 : Méthodes d'essais des ciments. Avril 2006. Septembre 2016.

- [53] RAMACHANDRAN V-S utilisation des déchets et sous produits comme granulats du [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.
- [54] 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.
- [55] 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.
- [56] Saikia N, Brito Jd: Waste polyethylene terephthalate as an aggregate in concrete. *Materials Research* 2013, 16(2):341-350.
- [57] 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.
- [58] 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.
- [59] Herki B, Khatib J, Negim E: Lightweight concrete made from waste polystyrene and fly ash. *World Applied Sciences Journal* 2013, 21(9):1356-1360.
- [60] 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.
- [61] Matos AM, Nunes S, Sousa-Coutinho J: Cork waste in cement based materials. *Materials and Design* 2015,85:230–239.
- béton, CBD-215-F, conseil national de recherches Canada, Juin 1981.