

**UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS**



BP. 368 GOMA

[www.ulpgl.net](http://www.ulpgl.net)

**FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES APPLIQUEES**

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

**ETUDE COMPARATIVE DE RESISTANCE EN  
COMPRESSION ENTRE UN BETON ORDINAIRE ET  
UN BETON POLYMERE DE DECHETS PLASTIQUES**

Par : **HATEGEKA GASORE Claude**

Travail présenté en vue de l'obtention du Diplôme de  
Graduat en Sciences Appliquées.

**Option** : Génie Civil

**Directrice** : Msc. Ir. NIGENE NDEZE Ernestine

**Encadreur** : Ir GABRIEL KASHALA Djibril

**ANNEE ACADEMIQUE :2021 – 2022**

## **EPIGRAPHE**

« Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ».

**Antoine LAVOISIER**

## **DEDICACES**

A mes chers parents RWAGASORE Muhatsi Patrick et NYIRANDEGE Bugeni Georgette.

HATEGEKA GASORE Claude

## **REMERCIEMENTS**

Nos premiers remerciements s'adressent à l'Eternel Dieu, le tout puissant, qui nous accorde la santé et nous soutient dans toute chose.

Notre grande reconnaissance s'adresse aux autorités de l'ULPGL et à celles de la Faculté des Sciences et des technologies appliquées pour leurs formations de mérite dont nous bénéficions.

Nos profonds remerciements s'adressent à la Mastère Ingénieure NDEZE Nigene Ernestine pour son temps nous accordé et à l'assistant ingénieur GABRIEL KASHALA Djibril pour ses conseils.

Notre grande reconnaissance s'adresse aux autorités de l'ULPGL et à celles de la Faculté des Sciences et des technologies appliquées pour leurs formations de mérite dont nous bénéficions.

Nos remerciements s'adressent aussi à nos parents RWAGASORE Muhatsi Patrick et NYIRANDEGE Bugeni Georgette pour leur encouragement et leur soutien.

Nos sincères remerciements s'en vont à nos chers camarades étudiants, en particuliers MWAKA E, FURAHA Ciza et CIRIGIRI Marie-jeanne, nous leurs disons un grand merci pour leur soutien et leur présence.

Nous remercions toute personne, qui a contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

HATEGEKA GASORE Claude

## RESUME

Le présent travail a pour objectif la comparaison de la résistance en compression entre un béton ordinaire et un béton polymère de déchets plastiques. Sur ce, le béton ordinaire utilisé est un béton couramment confectionné, avec des constituants couramment utilisés et ayant une application simple. Sa formulation s'est faite suivant la méthode de Dreux-Gorisse et a donné un résultat moyen de 8,4 MPa à 28 jours. Le béton polymère quant à lui utilise du plastique comme liant, c'est-à-dire à une substitution totale au ciment et à 45 pourcents du mélange. Le plastique utilisé est du polyéthylène haute densité (PEHD) retrouvé dans des déchets. Le choix de ce type de plastique s'est basé sur son abondance, sa résistance et surtout son caractère recyclable. La collecte de ce plastique s'est effectuée dans nos différentes maisons et dans certains marchés de la ville. Pour la mise en œuvre de ce béton, le plastique a été d'abord débarrassé de toute impureté, ensuite décheté en petits morceaux pour être fondu et mélangé aux granulats. Le résultat moyen obtenu fut de 5,5 MPa après cinq jours.

**Mots clés** : Résistance en compression, béton ordinaire, béton polymère, recyclage.

## ABSTRACT

The objective of this work is to compare the compressive strength between ordinary concrete and polymer concrete from plastic waste. So, the ordinary concrete used is a commonly made concrete, with commonly used constituents and having a simple application. It was formulated using the Dreux-Gorisse method and gave an average result of 8.4 MPa after 28 days. Polymer concrete, on the other hand, uses plastic as a binder; it means a total substitution of cement and 45 percent of the mixture. The plastic used is high-density polyethylene (HDPE) found in waste. The choice of this type of plastic was based on its abundance, its resistance and above all its recyclable nature. The collection of this plastic took place in our various homes and in some markets in the city. For the implementation of this concrete, the plastic was first cleared of any impurity, and then shredded into small pieces to be melted and mixed with the aggregates. The average result obtained was 5.5 MPa after five days.

**Key words:** compressive strength, ordinary concrete, polymer concrete, recycling.

# TABLE DES MATIERES

EPIGRAPHE.....	i
DEDICACES.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT.....	v
TABLE DES MATIERES.....	vi
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES FIGURES.....	xi
INTRODUCTON GENERALE.....	1
0. 1. Généralités sur le thème.....	1
0. 2. Identification et formulation du problème.....	1
0. 3. Questions de recherche.....	2
0. 4. Formulation des hypothèses.....	2
0. 5. Justification du choix du sujet.....	2
0. 6. Enoncé des objectifs de recherche.....	2
0. 7. Méthodologie et définition du travail.....	2
0. 8. Subdivision du travail.....	3
CHAPITRE PREMIER : LES GENERALITES.....	4
1. 1 GENERALITES SUR LE BETON.....	4
1.1.1. CLASSIFICATION DES BETONS.....	4
1.1.2. CONSTITUANTS DU BETON.....	5
1.1.3. PROPRIETES DES BETONS.....	9
1.1.4. IMPORTANCES DU BETON.....	11
1. 2 GENERALITES SUR LES POLYMERES.....	11
1.2.1 LE PLASTIQUE.....	12
1.2.2 LE BETON POLYMERE (BP).....	21
1. Caractéristiques mécaniques d'un béton polymère.....	22
a. 2. <i>Caractéristiques chimiques d'un béton polymère</i> .....	23
a. 3. <i>Caractéristiques physiques d'un béton polymère</i> .....	23
a. 4. <i>Caractéristiques hydrauliques</i> .....	25
b. <i>Principaux avantages et les inconvénients du béton polymère</i> .....	25
b. 1. <i>Avantages d'un béton polymère</i> .....	25
1. 3 CONCLUSION PARTIELLE.....	26
CHAPITRE DEUXIEME : MATERIELS ET METHODES DE RECHERCHE.....	27
2.1 NATURE ET ORIGINE DES CONSTITUANTS.....	27

2.2	PROPRIETES DES CONSTITUANTS .....	27
2.2.1	Le sable .....	27
2.2.2	Le gravier.....	30
2.2.3	Le plastique .....	33
2.3	FORMULATION DU BETON ORDINAIRE .....	34
2.3.1	Choix de la méthode .....	34
2.3.2	Principe de formulation .....	34
2.3.3	Étape de formulation .....	34
2.4	CARACTERISATION DU BETON .....	40
2.4.1	Caractérisation à l'état frais.....	40
2.4.2	Caractérisation à l'état durci.....	42
2.5	PREPARATION DU BETON POLYMERE .....	42
2.5.1	Le choix du polymère.....	42
2.5.2	Les étapes de confection du BP .....	43
2.6	CONCLUSION PARTIELLE .....	45
CHAPITRE TROISIEME : PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS.....		46
3.1.	CARACTERISTIQUES DES CONSTITUANTS .....	46
3.1.1.	Sable .....	46
3.1.2.	Gravier.....	48
3.2.	FORMULATION DU BETON ORDINAIRE .....	50
3.2.1.	Rapport pondéral C/E.....	50
3.2.2.	Quantités des granulats.....	51
3.3.	CARACTERISTIQUES DU BETON ORDINAIRE .....	52
3.3.1.	Ouvrabilité.....	52
3.3.2.	Résistance en compression.....	52
3.4.	CONFECTION DU BETON POLYMERE .....	52
3.4.1.	Polyéthylène haute densité .....	52
3.4.2.	Résistance en compression.....	52
3.5.	CONCLUSION PARTIELLE .....	53
CONCLUSION GENERALE .....		54
BIBLIOGRAPHIE .....		55
ANNEXES .....		57

## SIGLES ET ABREVIATIONS

**AFNOR** : Association Française de Normalisation

**AG** : Analyse granulométrique

**BP** : Béton polymère

**C** : Proportion du ciment

**Cm** : Centimètre

**CPA** : Ciments portland artificiels

**D<sub>max</sub>** : Diamètre du plus gros granulat

**E** : Proportion en eau

**E/C** : Rapport eau sur ciment

**ES** : Equivalent de sable

**F<sub>CE</sub>** : Classe vraie du ciment

**f<sub>ck</sub>** : Résistance caractéristique

**f<sub>cm</sub>** : Résistance moyenne

**G** : Proportion du gravier

**K** : Terme correcteur

**K<sub>DG</sub>** : Coefficient granulaire

**L** : Litre

**Kg** : Kilogramme

**KN** : Kilonweton

**m<sup>3</sup>** : mètre cube

**mm<sup>2</sup>** : millimètre carré

**M<sub>F</sub>** : Module de finesse

**MPa** : Méga Pascal

**NF** : Norme Française

**PEBD** : Polyéthylène basse densité

**PEHD** : Polyéthylène haute densité

**PET** : Polyéthylène téréphtalate

**PH** : Potentiel hydrogène

**PP** : Polypropylène

**PS** : Polystyrène

**PVC** : Chlorure de polyvinyle

**R<sub>c</sub>** : Refus cumulé

**S** : Proposition de sable

**ULPGL** : Université Libre des Pays des Grands Lacs

**UV** : Rayon ultraviolet

**%** : Pourcentage

**°C** : degré Celsius

**ρ<sub>abs</sub>** : Masse volumique absolue

**ρ<sub>app</sub>** : Masse volumique apparente

**Υ<sub>th</sub>** : coefficient de compacité

## LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1. 1 : Classe des bétons</i> .....	5
<i>Tableau 1. 2 : Série de tamis pour la détermination du module de finesse du sable.</i> .....	7
<i>Tableau 1. 3 : Types de plastiques et leurs caractéristiques essentielles.</i> .....	19
<i>Tableau 2. 1 : Propriétés des thermoplastiques</i> .....	33
<i>Tableau 2. 2 : Coefficient granulaire <math>K_{DG}</math></i> .....	36
<i>Tableau 2. 3 : Évaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône.</i> .....	37
<i>Tableau 2. 4 : Correction en pourcentage d'eau en fonction de la dimension des plus gros granulats <math>D_{max}</math>.</i> .....	38
<i>Tableau 2. 5 : Valeur du terme correcteur <math>K</math> en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats</i> .....	38
<i>Tableau 2. 6 : Valeur du coefficient de compacité <math>\gamma</math>.</i> .....	40
<i>Tableau 2. 7 : Classe d'affaissement.</i> .....	41
<i>Tableau 2. 8 : Dosage des constituants du BP.</i> .....	44
<i>Tableau 3. 1 : Les masses volumiques absolue et apparente du sable.</i> .....	46
<i>Tableau 3. 2 : La répartition granulométrique du sable.</i> .....	47
<i>Tableau 3. 3 : Les résultats de l'ES.</i> .....	48
<i>Tableau 3. 4 : La répartition granulométrique du gravier.</i> .....	49
<i>Tableau 3. 5 : Les propriétés du PEHD.</i> .....	52

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. 1 : Un monomère (Ethylène).....	11
Figure 1. 2 : Un polymère (Polyéthylène).....	11
Figure 1. 3 : Raffinage du pétrole.....	12
Figure 1. 4 : les thermoplastiques.....	14
Figure 1. 5 : les thermodurcissables .....	14
Figure 1. 6 : les élastomères .....	15
Figure 1. 7 : Des sacs en PEBD.....	16
Figure 1. 8 : Des bouchons en PEHD.....	16
Figure 1. 9 : Bouteille en PET.....	17
Figure 1. 10: La numérotation des catégories de plastique .....	18
Figure 1. 11: Les symboles de recyclage .....	20
Figure 1. 12 : Réparation d'une chaussée par du béton polymère.....	22
Figure 1. 13 : Système de drainage préfabriqué en BP. ....	22
Figure 2. 1 : Abaque pour l'estimation de la quantité de ciment.....	37
Figure 2. 2 : Utilisation de la courbe granulaire de référence. ....	39
Figure 3. 1 : Courbe granulométrique du sable. ....	48
Figure 3. 2 : La courbe granulaire du gravier. ....	50
Figure 3. 3 : Abaque pour l'estimation de la quantité du ciment. ....	51

## INTRODUCTON GENERALE

### 0. 1. Généralités sur le thème

Dans les domaines du bâtiment et du génie civil, le béton a toujours occupé une place importante. De par ses constituants majeurs, sa résistance et tous ses atouts, il est le matériau le plus utilisé par l'homme. Mais comme le monde évolue avec ses problèmes tels que la pollution environnementale et l'économie qui est en baisse, l'homme cherche toujours un moyen de sauver sa planète.

C'est dans ce contexte que des études ont été menées pour trouver des nouvelles formes de bétons utilisant les déchets plastiques, et pouvant répondre tant soit peu, aux exigences de la construction. Un béton utilisant le plastique en général, par substitution totale ou partielle du ciment, du sable ou des graviers est appelé béton polymère.

Dans le béton, les déchets plastiques sont utilisés sous différentes formes. Soit sous forme fondue, par substitution au ciment, soit sous forme des fibres rectilignes ou des fibres ondulés ou encore des grains, par substitution au sable ; soit sous forme concassée par substitution au gravier. L'utilisation de telle ou telle autre forme dépend des types de plastique.

### 0. 2. Identification et formulation du problème

Au cours de ces dernières années, la valorisation des déchets dans la construction est devenue un moyen sûr et efficace pour pallier aux problèmes économiques et environnementaux. Parmi les déchets utilisés, nous trouvons le plastique, qui est l'un des plus grands polluants de la nature et touchant même la santé de l'homme. En effet, le plastique fait partie du cadre de vie de l'homme. On le retrouve partout sous forme d'emballages, des bouteilles d'eau, d'équipements ménagers, etc. C'est lors de son abandon qu'il cause plus de dégâts. Il est à l'origine de plusieurs maladies, il bouche les canaux d'évacuation des eaux usées, et à cause de sa longue durée de vie, il cause l'infertilité du sol en le rendant imperméable à l'eau. Trois techniques ont été mises en œuvre pour diminuer sa quantité nuisible dans l'environnement, à savoir : l'enfouissement, l'incinération et le recyclage [20].

Dans notre pays la RDC, il existe déjà quelques entreprises qui s'occupent du recyclage des matières plastiques. Le recyclage étant le meilleur moyen de gestion des déchets, il demande parfois une industrialisation pour la transformation de la matière.

### **0. 3. Questions de recherche**

Deux questions nous sont nécessaires pour nous permettre d'atteindre les objectifs de ce travail :

- Serait-il possible d'utiliser le déchet plastique comme liant dans un béton ?
- Le béton ainsi obtenu pourrait-il résisté aussi bien que le béton ordinaire couramment utilisé dans la ville de Goma ?

### **0. 4. Formulation des hypothèses**

Parmi les techniques de diminution des déchets plastiques, seul le recyclage est bénéfique. Il serait donc judicieux d'utiliser les déchets plastiques car on pourrait participer à la bonne gestion de l'environnement. Les plastiques pourraient être utilisés sous forme fondue pour remplacer le ciment qui est le constituant le plus cher du béton.

### **0. 5. Justification du choix du sujet**

Face aux problèmes environnementaux causés par la mauvaise gestion des déchets plastiques, nous avons trouvé utile de nous intéresser au recyclage de ces derniers pour la confection d'un béton polymère. Le recyclage étant le meilleur moyen d'utiliser les déchets à bon escient, il permet de retransformer les déchets en une matière première et donner vie à un nouveau matériau.

### **0. 6. Enoncé des objectifs de recherche**

L'objectif principal de notre travail est de comparer la résistance en compression entre le béton couramment utilisé et le béton utilisant les déchets plastiques comme liant. Des résultats obtenus, nous pourrions dégager quelques applications avantageuses pour l'usage du béton polymère.

### **0. 7. Méthodologie et définition du travail**

Notre travail est basé essentiellement sur la méthode expérimentale avec des manipulations en laboratoire. En effet, les constituants essentiels de nos deux types de bétons ont besoin d'être analysés. Les étapes de confection des deux bétons doivent être suivies avec rigueur surtout celles du béton polymère qui renferment :

- La collecte des déchets,
- Le triage et le lavage
- La fusion et le mélange de ces déchets avec les granulats.

*Etude comparative de résistance en compression entre le béton ordinaire et le béton polymère de déchets plastiques*

## **0. 8. Subdivision du travail**

Ce travail sera subdivisé en trois chapitres en omettant l'introduction et la conclusion.

- Le premier chapitre présente les généralités, notamment sur les bétons et sur les polymères.
- Le deuxième chapitre s'intitule : méthodologie et matériels de recherche. Il présente les différents matériaux utilisés pour la confection de nos deux types de béton ainsi que les méthodes et formulation nécessaires pour la confection de ceux-ci.
- Le troisième chapitre porte sur la présentation et l'interprétation des résultats.

# CHAPITRE PREMIER : LES GENERALITES

## 1.1 GENERALITES SUR LE BETON [10]

Le béton est un matériau de construction obtenu par réunion des granulats au moyen d'un liant, spécialement par un mélange de graviers, de sable, de ciment, d'eau et d'adjuvants. C'est le matériau le plus important en construction grâce aux propriétés qu'il offre. Ses propriétés ont été énumérées par la norme NF EN 206/CN, à savoir :

- sa résistance mécanique ;
- sa consistance ou son ouvrabilité ;
- la durabilité du béton.

### 1.1.1. CLASSIFICATION DES BETONS [25]

Les bétons se classifient suivant leur masse volumique, leur résistance mécanique, le type de liant utilisé pour leur confection et suivant leur destination.

#### *A. Classification suivant la masse volumique*

Selon la masse volumique, on distingue :

- le béton extra léger :  $\rho < 500 \text{ kg/m}^3$
- le béton léger :  $\rho$  entre 500 et 1800  $\text{kg/m}^3$
- le béton lourd :  $\rho$  entre 1800 et 2500  $\text{kg/m}^3$
- le béton extra lourd :  $\rho > 2500 \text{kg/m}^3$ .

#### *B. Classification suivant la résistance mécanique*

Pour classifier les bétons suivant la résistance, on réalise des essais à la compression des éprouvettes cylindriques de dimension 11\*22, 16\*32, 25\*50 (dimensions données en cm). Le cylindre le plus utilisé est le 16\*32. Dans la mesure, la résistance à la compression d'un béton est exprimée par sa résistance caractéristique notée  $f_{ck}$ . La norme ENV 206 classe les bétons en fonction de leurs résistances caractéristiques à la compression suivant le tableau 1.1.

**Tableau 1. 1 : classe des bétons**

Classe	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30
$F_{ck,cyl}(MPa)$	12	16	20	25
$F_{ck,cube}(MPa)$	15	20	25	30

Dans le tableau 1.1,  $F_{ck,cyl}$  est la résistance caractéristique mesurée sur éprouvettes cylindriques,  $F_{ck,cube}$  est la résistance caractéristique mesurée sur éprouvettes cubiques.

### **C. Classification suivant le type de liant**

Suivant le type de liant, on distingue :

- Les bétons de ciments confectionnés avec des liants hydrauliques tels que les ciments portlands,
- les bétons de silicate confectionnés avec des liants à chaux,
- les bétons de gypse utilisant des liants d'anhydrite aux plâtres,
- les bétons utilisant les liants organiques. C'est dans cette catégorie que nous trouvons les bétons polymères.

### **D. Classification suivant la destination**

Suivant leurs destinations, nous pouvons classer les bétons comme suit :

- Les bétons ordinaires (pour les éléments de construction porteurs : poteaux, dalles, poutres, etc.).
- Les bétons hydrotechniques par barrage, écluses, revêtement des canaux.
- Les bétons pour les murs des bâtiments.
- Les bétons pour les planchers légers, couverte et fondations des chaussées, etc.
- Les bétons de destination spéciale (bétons résistants à la chaleur, antiacides).

### **1.1.2. CONSTITUANTS DU BETON [25]**

Les constituants du béton sont principalement : les granulats (sables, graviers, cailloux), le liant (ciment), l'eau et éventuellement les adjuvants. Si le type de liant utilisé n'est pas un ciment, on peut parler alors, soit de liant composé binaire, ternaire ou quaternaire. Ces constituants se différencient ; leur masse volumique va de  $1 \text{ t/m}^3$  pour l'eau à  $3 \text{ t/m}^3$  pour le ciment et leur granulométrie de  $0,5 \mu\text{m}$  pour les grains les plus fins du ciment à  $25 \text{ mm}$  pour les gravillons.

### 1.1.2.1. Les granulats

Le rôle des granulats dans un mélange de béton est de permettre de produire un matériau ayant une résistance et une durabilité appropriée avec le moindre coût possible. Il constitue le squelette même du béton. Les caractéristiques principales recherchées pour les granulats sont :

- la granulométrie, la texture de surface et la forme des particules ;
- la résistance mécanique, la résistance à l'abrasion et aux chocs (à déterminer avec l'essai de Los Angeles pour le gravier) ;
- La densité relative, la masse volumique ;
- l'absorption, la porosité et la teneur en humidité ;
- la présence de matières nuisibles soit la propreté (valeur au bleu de méthylène ou équivalent sable) ;
- la résistance aux cycles de gel et dégel ;
- les propriétés chimiques.

Les granulats doivent être chimiquement inertes vis-à-vis du ciment, de l'eau et de l'air. Les formations géologiques à partir desquelles il est possible de produire des granulats à béton peuvent être d'origine détritique (essentiellement alluvionnaire), sédimentaire, métamorphique ou éruptive.

On utilise en général, pour les ouvrages courants, des granulats constitués uniquement par du sable et des gravillons.

#### ***A. Caractéristiques des granulats***

Les granulats utilisés dans les travaux de bâtiment et de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et à des caractéristiques propres à chaque usage. Les propriétés des granulats sont liées aux caractéristiques intrinsèques des roches originales et aux caractéristiques de fabrication. Le prélèvement d'un échantillon pour la caractérisation doit se faire conformément aux normes " NF P 18-553 et EN 932-1 " relatives au prélèvement par échantillonneur ou par quartage.

#### ***B. Le module de finesse***

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Il est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimés en pourcentages sur une série de tamis.

Le tableau 1.2 présente la série des tamis employés pour la caractérisation du module de finesse selon la norme prise en compte.

**Tableau 1. 2 : Série de tamis pour la détermination du module de finesse du sable.**

01	Tamis : 0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5mm	"NF P 18-540"
02	Tamis : 0.125-0.25-0.5-1-2 et 4mm	"EN 12620"

Un bon sable pour béton doit avoir un module de finesse compris entre 2.2 et 2.8. Au-dessous, le sable est en majorité d'éléments fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fins et le béton y perd en ouvrabilité.

### 1.1.2.2. Les liants et les adjuvants des bétons

#### A. Les liants

On distingue deux grands groupes de liants :

- Les liants minéraux qui se subdivisent en liants hydrauliques et liants aériens ;

Les liants minéraux sont des poudres finement broyées qui, mélangées à l'eau forment une pâte plastique qui à son tour durcit pour former un matériau solide, véritable roche artificielle.

Les liants hydrauliques sont des matières qui peuvent durcir, se conserver pendant longtemps non seulement à l'air, mais aussi sous l'eau. Les exemples les plus courants sont les ciments portland et ses variétés, les ciments alumineux, les chaux hydrauliques, etc.

Les liants aériens sont ceux qui se conservent pendant une longue durée et augmentent de résistance uniquement à l'air. Comme exemples les plâtres, la chaux aérienne...

- Les liants organiques.

Les liants organiques sont des liants hydrocarbonés. On les appelle encore liants bitumineux ou goudronneux. Ils sont des mélanges composés d'hydrocarbure avec soufre, l'oxygène, l'azote

dont les propriétés physico-mécaniques varient en fonction de la température. Ils sont noirs, visqueux et peuvent durcir et se conserver pendant une longue durée sans addition d'eau, mais par simple abaissement de température. Ce sont les bitumes, les goudrons.

### ***B. Les adjuvants***

Un adjuvant est un produit qui, ajouté au béton ou au mortier en faible quantité (moins de 5% du poids du ciment), améliore certaines propriétés de façon provisoire ou définitive. Lorsque les quantités utilisées sont plus importantes, on utilise le terme adjonction ou ajout. Les adjuvants sont donnés en pourcentage du ciment, tandis que les adjonctions sont données en pourcentage du béton.

Un adjuvant se caractérise par la fonction principale pour laquelle il est agréé et par ses fonctions secondaires éventuelles.

On distingue :

- Les accélérateurs et les retardateurs de prise ;
- Les entraîneurs d'air ;
- Les hydrofuges ;
- Les plastifiants.

#### **1.1.2.3 Eau**

Selon la norme NF P18-303, seule l'eau potable peut être reconnue pour la fabrication du béton. L'eau de mer est interdite pour les bétons armés et précontraints. Toutes les eaux usées, de rejets industriels, de ruissellements doivent faire l'objet d'un contrôle selon la norme NF.

La teneur en chlorure dans l'eau ne doit jamais excéder 500 mg/litre. L'eau facilite la mise en œuvre du ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton dans la mesure où l'on n'abuse pas cette influence par un excès d'eau qui diminue les résistances et la durabilité du béton. Une augmentation du dosage en eau aura une incidence directe sur les performances mécaniques selon :

- Baisse de la résistance à la compression / flexion

- Baisse de la compacité
- Augmentation de la porosité
- Augmentation de la perméabilité

### **1.1.3. PROPRIETES DES BETONS [13]**

Le béton possède deux comportements : l'état frais et l'état durci. Parmi tous les constituants du béton, l'eau reste l'ingrédient qui peut nuire le plus même si c'est à grâce à l'eau que le béton peut être manipulé. Réduire son dosage permet : d'augmenter la résistance en compression et en flexion, réduire la perméabilité, Réduire la contraction volumique (retrait de séchage), Moins de risques d'attaques d'agents agressifs extérieurs. La réduction d'eau rend par contre le béton moins plastique. Avec l'incorporation des adjuvants chimiques, cela devient possible.

#### **1.1.3.1. Caractéristiques du béton frais**

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 dont notamment :

- La méthode et la durée de transport ;
- La quantité et les caractéristiques des composants (liants, granulats) ;
- La Forme, granulométrie et type de granulats ;
- Le volume d'air ;
- Le dosage en eau.

L'ouvrabilité se mesure à l'aide d'un cône d'Abram. L'essai s'appelle essai d'affaissement au cône d'Abram.

Lorsque l'affaissement est trop élevé et se trouve en dehors de la zone de tolérance, il y a risque de ségrégation (c'est-à-dire que les gros éléments de gravier risquent de descendre pour s'agglomérer vers le bas). Il faut donc être vigilant lors de la vibration. Quand l'affaissement est

trop petit, il faut ajouter de l'eau afin d'améliorer l'ouvrabilité. Mais il y a risque de baisser la résistance du béton (présence éventuelle de plus de vides plus tard dans le béton durci).

### **1.1.3.2 Caractéristiques du béton durci.**

Le béton est un matériau travaillant bien en compression, dont la connaissance de ses propriétés mécaniques est indispensable pour le calcul du dimensionnement des ouvrages.

Assez souvent, beaucoup de professionnels du béton considèrent que la caractéristique essentielle du béton durci est sa résistance mécanique en compression à un âge donné (28 jours).

Sa résistance à la traction ainsi que celle en flexion sont beaucoup plus faibles que sa résistance à la compression.

De nos jours, il est aussi important de se soucier des autres caractéristiques telles que la perméabilité, la porosité etc. Pour maximiser les performances du béton, on doit lui assurer un mûrissement adéquat.

La résistance à la compression du béton dépend de la résistance du ciment, du rapport C/E, de la qualité des agrégats (granulats), du degré de compacité du mélange et des conditions de durcissement.

Plus on compacte le béton, plus il est résistant car le volume des pores se réduit. Il faut donc bien compacter son béton afin de réduire le volume des pores autant que possible, mais tout en évitant la ségrégation.

S'agissant des conditions de durcissement ; le milieu ambiant influe beaucoup sur l'accroissement de la résistance du béton. Les conditions normales de durcissement du béton sont l'humidité relative de l'air entre 90 et 100% et une température de 20 plus ou moins 2°C. En effet, l'humidité élevée de l'air empêche l'évaporation précoce de l'eau du béton, ce qui provoquerait l'arrêt du durcissement. L'élévation de la température accélère le durcissement. Pour le bétonnage sous des basses températures, on utilise dans la pratique des adjuvants accélérateurs de prise telle que le NaCl (Chlorure de Sodium), etc.

Pour améliorer la maniabilité d'un béton, il faut ajouter de l'eau. Or cet ajout va diminuer la compacité et donc la résistance mécanique. Dans la composition du béton, il faudra donc concilier la résistance et l'ouvrabilité.

### 1.1.4. IMPORTANCES DU BETON [25]

Les performances et souplesse d'emploi permettent au béton d'être présent dans tous les domaines du bâtiment et du génie civil. Ainsi, le béton fait partie de notre vie, le béton participe à l'architecture, le béton permet de franchir des longues portées et le béton entre dans les routes.

- Le béton fait partie du cadre de vie de l'être humain
- Il participe de manière visible à l'architecture
- Le béton permet de franchir des longues portées
- Le béton facilite la circulation routière
- Le béton est un matériau économique

## 1.2 GENERALITES SUR LES POLYMERES

Les polymères sont des corps formés par polymérisation, une réaction chimique qui enchaîne des molécules de faible masse moléculaire (monomères) pour en faire des composés de masse moléculaire élevée (polymères) [26]. Les figures 1.1 et 1.2 ci-dessous illustrent l'exemple de l'Ethylène et du Polyéthylène qui sont respectivement un monomère et un polymère.

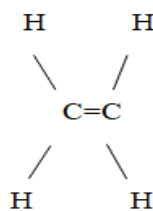


Figure 1. 1 : Un monomère (Ethylène)

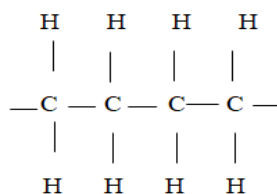


Figure 1. 2 : Un polymère (Polyéthylène)

Les polymères sont les matières de bases qui composent le plastique. Le plastique est généralement obtenu par polymérisation d'un hydrocarbure. On utilise aussi le mot hydrocarbure pour faire référence, en particulier, au pétrole et au gaz naturel.

### 1.2.1 LE PLASTIQUE [15]

Une matière plastique ou en langage courant un plastique, est un mélange contenant une matière de base (un polymère) qui peut être moulé, façonné, en général à chaud et sous pression, afin de produire un objet. Il existe un grand nombre de matières plastiques, dont certaines connaissent un grand succès commercial. Les plastiques se présentent sous de nombreuses formes : pièces moulées, tubes, films, fibres, tissus, revêtements, etc. Ils sont présents dans de nombreux secteurs, même dans les plus avancés de la technologie.

#### a. Origine

Le plastique est le plus souvent produit à partir du pétrole par différents processus de fabrication. Ce dernier est une huile minérale composée d'une multitude de composés organiques, essentiellement des hydrocarbures. Une fois le pétrole extrait, soit dans le sol soit en mer, il est envoyé dans une raffinerie qui est une usine spéciale pour le traitement du pétrole.

Le pétrole est chauffé dans un four de distillation. Lorsque l'on chauffe le pétrole, un phénomène physique se produit, il se sépare en différents états qui ont des températures d'ébullition différentes. Le four de distillation chauffe le pétrole à 370°C. A cette température, on procède au « craquage » du pétrole. C'est-à-dire qu'on le divise en plusieurs parties : en fiouls lourds, en mazout et diesel (gazole), en kérosène, en essence, en naphta (utilisé par la pétrochimie) et enfin, en gaz. La figure 1.3 présente un schéma illustratif du raffinage du pétrole. Pour produire du plastique, on utilise uniquement la fraction naphta.

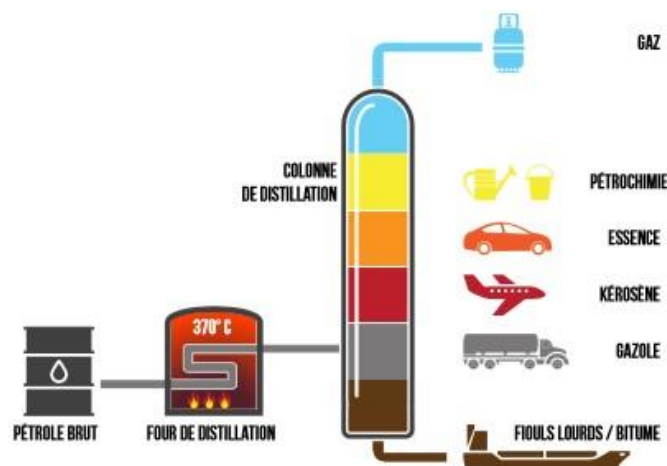


Figure 1. 3 : Raffinage du pétrole. [15]

Il est ensuite envoyé dans une autre usine spéciale, une usine de plasturgie qui est l'industrie du plastique. Dans l'usine de plasturgie, le naphtha est transformé en différents types de plastiques grâce à différents procédés.

Une fois que le polymère fondu est prêt sous forme de pâte visqueuse, il ne reste plus qu'à donner la forme que l'on veut au plastique. Suivant les besoins, il existe plusieurs techniques de mettre en forme le polymère fondu, comme le moulage. Chaque pièce en plastique destinée à un objet doit avoir certaines caractéristiques (par exemple : la couleur, la dureté, la transparence, etc). Cependant, chaque objet a ses propres caractéristiques, c'est pourquoi il existe plusieurs types de plastiques.

### ***b. Types de plastiques [16]***

Les plastiques sont subdivisés en 3 grandes familles : les thermoplastiques, les thermodurcissables, et les élastomères.

- ***Les thermoplastiques [26]***

Les thermoplastiques ramollissent sous l'effet de la chaleur. Ils deviennent souples, malléables et durcissent à nouveau quand on les refroidit. Comme cette transformation est réversible, ces matériaux conservent leurs propriétés et ils sont donc facilement recyclables. Leurs polymères de base sont constitués par des macromolécules linéaires, reliées par des liaisons faibles qui peuvent être rompues sous l'effet de la chaleur ou de fortes contraintes. Elles peuvent alors glisser les unes par rapport aux autres pour prendre une forme différente et quand la matière refroidit, les liaisons se reforment et ils gardent leur nouvelle forme. La figure 1.4 présente quelques objets en matières thermoplastiques.



Figure 1. 4 : les thermoplastiques.

- ***Les thermodurcissables [26]***

Les thermodurcissables sont des plastiques qui prennent une forme définitive au premier refroidissement. La réversibilité de forme est impossible car ils ne se ramollissent plus une fois moulés. Sous de trop fortes températures, ils se dégradent et brûlent (carbonisation). Les molécules de ces polymères sont organisées en de longues chaînes dans lesquelles un grand nombre de liaisons chimiques solides et tridimensionnelles ne peuvent pas être rompues et se renforcent quand le plastique est chauffé. La matière thermodurcissable garde toujours sa forme en raison de ses liaisons croisées et des pontages très résistants qui empêchent tout glissement entre les chaînes. Les thermodurcissables ne sont donc pas recyclables. Les plus connus sont les polyuréthanes, les polyesters, les phénoplastes, les aminoplastes, les poly époxydes (résines époxydes) et les phénoliques. La figure 1.3 présente quelques objets en matières thermodurcissables.



Figure 1. 5 : les thermodurcissables. [8]

- ***Les élastomères [26]***

Ces polymères présentent les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc. Un élastomère au repos est constitué de longues chaînes moléculaires repliées sur elles-mêmes. Sous l'action d'une contrainte, les molécules peuvent glisser les unes par rapport aux autres et se déformer. Les élastomères sont employés dans la fabrication des coussins, de certains isolants, des semelles de chaussures ou des pneus. La figure 1.4 présente quelques objets en matières élastomères.

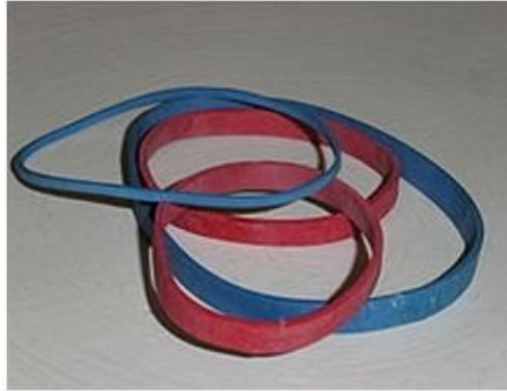


Figure 1. 6 : les élastomères [26]

### ***b.1. Les thermoplastiques [16]***

Nous allons plus nous concentrer sur les thermoplastiques qui sont les plus recyclés et qui présentent des propriétés importantes. D'une manière générale leur température de fusion se situe entre 85° C et 300° C. Ils ont des conductivités électrique et thermique faibles et sont moins dense que les métaux. Cette famille des plastiques comprend :

#### ***- Le polyéthylène (PE) [16] :***

Cette matière plastique représente à elle seule environ un tiers de la production totale des matières synthétiques et constitue la moitié des emballages plastiques. Plusieurs millions de tonnes de polyéthylène sont produites chaque année car c'est un matériau extrêmement polyvalent et important sur le plan économique et écologique. Grâce à sa structure chimique simple, le polyéthylène prime sur la plupart des autres matériaux car il peut être réutilisé. Le polyéthylène est translucide, inerte, facile à manier et résistant au froid. Il existe différents polyéthylènes classés en fonction de leur densité. Celle-ci dépend du nombre et de la longueur des ramifications présentes dans le matériau. On distingue deux sous-familles : le PEBD ou polyéthylène basse densité et le PEHD polyéthylène haute densité.

Le **PEBD**, en anglais **LDPE** (Low-density Polyethylene), est utilisé dans les domaines les plus divers. Sa densité varie entre 0,91 et 0,925. Il présente une bonne résistance chimique. Il est olfactivement, gustativement et chimiquement neutre pour les denrées alimentaires. Il est transparent, peut être facilement transformé et se prête très bien au soudage. Sa durée de vie est très longue à cause de sa grande stabilité mais il se recycle bien. Les principales applications du PEBD sont des produits souples : sacs, films, sachets, sacs poubelle, récipients souples (bouteilles de ketchup, de shampoing, tubes de crème cosmétique ...). La figure 1.5 présente des objets en PEBD.



Figure 1. 7 : Des sacs en PEBD [16]

Le **PEHD**, en anglais **HDPE** (high-density polyethylene), est utilisé pour des objets plastiques rigides. On le trouve par exemple dans des bouteilles et des flacons, des bacs poubelles, des tuyaux, des fûts, des jouets, des ustensiles ménagers, des bidons d'huile, ... Sa densité varie entre 0,94 et 0,965. La figure 1.6 présente des objets en PEHD.



Figure 1. 8 : Des bouchons en PEHD. [15]

**- Les polyesters et le polyéthylène téréphtalate (PET) :**

C'est un polymère obtenu par la polycondensation de deux composants : le diméthyltéréphtalate et l'éthylène glycol. Le PET est surtout employé pour la fabrication de fils textiles, de films et de bouteilles. C'est le polymère le plus recyclé [15]. La figure 1.7 présente un objet en PET.



Figure 1. 9 : Bouteille en PET.

**- Le polystyrène (PS) [16]:**

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

**- Le polychlorure de vinyle (PCV) :**

Il est obtenu par la polymérisation des monomères de chlorure de vinyle  $\text{CH}_2 = \text{CH}-\text{Cl}$ .

Il peut être soit rigide soit souple selon les ingrédients qu'on lui incorpore. Le PVC rigide qui a un aspect lisse et dur est utilisé pour les tuyaux de canalisation. Le PVC souple qui recouvre certaines pièces comme les manches de pinces a un aspect brillant. C'est après le PE, le plastique le plus utilisé au monde. Il est largement employé dans l'industrie de l'ameublement et dans le bâtiment ou le génie civil [16]. La figure 1.8 présente un objet en PVC.

**- Le polypropylène (PP) :**

C'est aussi un polymère très polyvalent qui sert à la fois comme thermoplastique et comme fibre. Il est très facile à colorer et n'absorbe pas l'eau. On en trouve beaucoup sous forme de pièces moulées dans les équipements automobiles (pare-chocs, tableaux de bord, habillage de l'habitacle) et dans le mobilier de jardin.

**c. Recyclage des plastiques [20]**

Le recyclage des plastiques c'est le retraitement des déchets plastiques de postconsommation et de pré consommation en des produits exploitables. Le recyclage du plastique réduit le besoin de nouvelles matières en plastique et réduit ainsi les quantités de ressources et d'énergie employées pour sa production. À cause des nombreux types de plastique, le recyclage des plastiques est une opération plus complexe que le recyclage du métal ou d'autres matériaux. Il faut donc que la possibilité de recyclage et la compatibilité environnementale soient des paramètres à prendre en considération au début du processus de conception des produits en plastique.








Les plastiques ne se recyclent pas tous de la même façon. Les PET offrent beaucoup d'avantages par rapport à des produits plus complexes comme les composites, les articles de faible poids ou les produits contaminés par d'autres produits, qui sont moins favorables au recyclage. Comme chaque type de plastique présente sa propre composition chimique, ses propriétés et ses applications, l'industrie du plastique a mis place dans les années 1980 une classification du plastique permettant au consommateur de reconnaître le type de plastique et ainsi de l'aider indirectement dans le recyclage des déchets plastiques. La classification se présente sous la forme d'un triangle sans fin nommé triangle de Moebius. Ce triangle indique que le produit ou l'emballage est recyclable. De plus, à l'intérieur de ce triangle se trouve un numéro indiquant la composition du plastique [27]. La figure 1.10 présente les types de plastiques selon leurs caractères recyclables.



Figure 1. 10: La numérotation des catégories de plastique.

Le tableau 1.3 présente la classification des thermoplastiques, leurs caractéristiques essentielles, ainsi que des produits qui leurs sont associés.

**Tableau 1. 3 : les types de plastiques et leurs caractéristiques essentielles. [27]**

Type de plastique	Caractéristiques	Produits associés
 Polyéthylène Téréphtalate	Plastique le plus répandu : transparent, souple et léger.  Généralement recyclé mais plus complexe à travailler.	Bouteilles à boissons, Bouteilles d'huile de cuisine, détergent...
 Polyéthylène Haute Densité	Opaque, rigide et solide.  Fonctionne très bien lors du recyclage.	Bouteilles de lait, produits cosmétiques,...
 Polychlorure de Vinyle	Souvent recyclé par de grandes industries possédant des machines très qualifiées afin de réduire ou du moins supprimé sa toxicité car il rejette des dioxines et des substances cancérigènes.	Chaise de jardin, tuyaux, bouteilles non alimentaires,...
 Polyéthylène Basse Densité	Souvent sous forme de films plastique plutôt que des récipients. Se recycle très bien.	Certains sacs et emballages plastiques.
 Polypropylène	Sert principalement à conditionner les aliments.	Barquettes, pots de yaourts,...
 Polystyrène	Sert souvent à emballer les appareils sensibles aux chocs.	Emballages à usage unique,...
 Autres Polymères	Autres plastiques que ceux nommés de 1 à 6.	Biberons en plastique, matériel médical,...

Pour des raisons économiques et environnementales, la majorité des déchets plastiques recyclés sont de types PET et PEHD. En effet, les autres emballages en plastiques ne contiennent pas assez de matière première pour les recycler et leur recyclage n'est ainsi pas viable sur le plan économique. Le meilleur moyen de les valoriser est de les incinérer pour récupérer l'énergie calorifique.

La présence du triangle de Moebius ne signifie pas que le produit va être effectivement recyclé car le système de recyclage dépend des territoires.

Néanmoins, les consommateurs peuvent se fier à d'autres symboles de recyclage comme le logo Triman ou le logo Point vert [27]. La figure 1.11 présente quelques symboles universels de recyclage.



Figure 1. 11: Les symboles de recyclage. [27]

Le Point Vert en dernière position et le logo Triman en avant dernière position.

#### ***d. Importances des plastiques [24]***

- Les plastiques sont peu coûteux : Ils sont fabriqués à partir d'une matière première encore relativement abondante et, jusqu'à récemment, pas chère : le pétrole.
- Les plastiques ont des propriétés physico-chimiques variées : Suivant leur composition, ils peuvent être élastiques ou rigides, durs ou malléables, résistants à la chaleur, aux chocs, aux produits agressifs et dangereux comme les acides.
- Les plastiques peuvent être facilement modelés ou moulés : pour prendre les formes souhaitées les plus variées, même les plus complexes.
- Les plastiques sont légers et donc moins coûteux à transporter que les matériaux à base de métal ou de bois.
- Les plastiques sont d'excellents isolants thermiques.

- Les plastiques sont relativement durables.
- Les plastiques sont faciles à nettoyer.
- Les plastiques sont en partie recyclables.

***e. Déchets plastiques [19]***

Les déchets plastiques proviennent des résidus de processus de production, de transformation et de consommation. Il existe donc plusieurs types de déchets plastiques.

- Les déchets plastiques industriels
- Les déchets plastiques de post-consommation

**1.2.2 LE BETON POLYMERE (BP) [6]**

Le BP est un matériau fabriqué en remplaçant totalement ou partiellement le ciment par un polymère. Il est utilisé très efficacement de par sa résistance élevée et sa légèreté, en éléments préfabriqués dans le bâtiment, pour les tabliers de pont, pour les conteneurs de déchets dangereux, pour bases de machines industrielles, pour la fabrication des carreaux de planchers en marbre synthétique et les panneaux d'escaliers, des plaques et panneaux de parements de diverses structures, d'appuis de fenêtre, etc. Pour améliorer les propriétés physiques et mécaniques et permettre une bonne durabilité des bétons de résine renforcés ou non tout en satisfaisant les exigences économiques qui se rapportent au coût du produit fini, plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'optimisation de la formulation du BP par la diminution de la fraction massique de la résine et/ou par le remplacement ou l'ajout d'une partie du squelette granulaire par d'autres composantes, conférant aux bétons des qualités meilleures en abaissant le prix du matériau du produit fini.

La légèreté de ce matériau facilite énormément sa mise en chantier et la présence de résine réduit l'absorption d'eau et garantit ainsi sa complète étanchéité. Ces matériaux résistent bien à l'abrasion et possèdent une grande stabilité aux cycles gel-dégel. En outre, comme ils ont une plus grande résistance mécanique que le béton de ciment portland, ils permettent d'économiser jusqu'à 50% de matériau. Ainsi, pour certaines applications spécifiques, ils concurrencent le béton conventionnel. La résistance aux agents chimiques et les caractéristiques mécaniques dépendent essentiellement de la nature du polymère utilisé et de la quantité de charge. Lorsque la charge est du sable avec la pierre concassée, le gravier, le calcaire ou la craie, le composite obtenu est appelé béton polymère comme le montre la figure 1.11 et figure 1.12.

*Etude comparative de résistance en compression entre le béton ordinaire et le béton polymère de déchets plastiques*



Figure 1. 12 : Réparation d'une chaussée par du béton polymère.

La figure 1.12 présente un caniveau préfabriqué en BP.



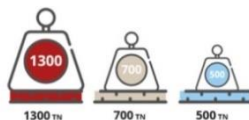
Figure 1. 13 : Système de drainage préfabriqué en BP.

#### *a. Caractéristiques des bétons polymères [8]*

##### **1. Caractéristiques mécaniques d'un béton polymère**

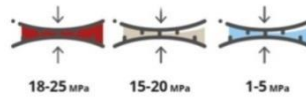
Le béton polymère représenté les caractéristiques suivantes :

- ***Résistance à la compression***



Le BP appliqué aux systèmes préfabriqués, il peut supporter jusqu'à 1300 kg/cm<sup>2</sup> dans les cas idéals, par rapport aux 700 kg/cm<sup>2</sup> supportés par le fibrociment ou les 500 kg/cm<sup>2</sup> supportés par le béton traditionnel. Avant de se casser ou de se fendre.

- **Résistance à la flexion**



Le BP appliqué aux systèmes préfabriqués, il peut supporter jusqu'à 18-25 MPa par rapport aux 15-20 supportés par le fibrociment ou les 1-5 MPa supportés par le béton traditionnel. Avant de se casser ou de se fendre !

- **Résistance à l'abrasion**



Le BP garantit une bonne conservation des surfaces exposées au trafic routier. D'où abrasion=1,15.

- **Module de Young**

Le module de Young d'un béton polymère est de 21 300 MPa.

**a. 2. Caractéristiques chimiques d'un béton polymère**

- **Résistance au PH**



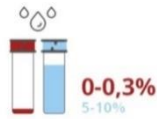
La résistance totale aux agressions des effluents sans aucun traitement ; résistance du PH est de 1 à 14.

- **Autres caractéristiques chimique**

Résistance totale à l'H<sub>2</sub>S ainsi qu'aux produits chimiques. Résistance aux hydrocarbures aux huiles, au vieillissement naturel, aux UV et est peu sensible à l'humidité.

**a. 3. Caractéristiques physiques d'un béton polymère**

- **Absorption d'eau**



La nature polymérique de ce matériau lui confère une surface lisse qui minimise les frottements dans les préfabriqués et facilite l'évacuation rapide des fluides. De plus, il présente un pourcentage d'absorption de l'eau quasiment nul. D'où l'absorption d'eau est de 0,3 %.

- **Résistance au choc**



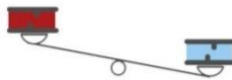
S'agissant d'un matériau composé, il garantit une conservation parfaite des surfaces face à l'usure ou au passage du temps. Sans aucune perception d'usure.

- **Inaltérable face aux cycles de gel/dégel**



Contrairement aux bétons traditionnels, le BP ne subit pas les cycles de gel-dégel, ce qui évite l'apparition de fissures ou de fentes et maintient toutes les propriétés physiques intactes.

- **Légèreté**



Grâce à ses excellentes propriétés mécaniques, le BP permet la réalisation de pièces avec un profil plus fin. Cette légèreté permet d'économiser, étant donné que l'utilisation de moyens auxiliaires de transport au chantier est réduite et cela permet également une installation sur place avec des rendements optimaux.

- **Autres caractéristiques physiques**

→ Coefficient d'écoulement : 108 moyens.

→ Densité : 2,1-2,3.

→ Module d'élasticité 20 – 34 kN/mm<sup>2</sup>

**a. 4. Caractéristiques hydrauliques**

- Excellent coefficient d'écoulement (offrant un matériau auto curant et de l'ouvrage).
- Totale étanchéité dans la masse grâce à la très faible porosité de surface du béton polymère.
- Excellente tenue à l'abrasion (coefficient d'abrasion permettant de conserver les qualités hydrauliques des ouvrages durant des décennies).

**b. Principaux avantages et les inconvénients du béton polymère [8]**

**b. 1. Avantages d'un béton polymère**

En raison de sa composition, le béton polymère présente un certain nombre d'avantages importants et aide souvent là où la probabilité de destruction ou de déformation du béton ordinaire est enlevée. Nous pouvons donc citer comme avantages :

- Une bonne résistance aux agents chimiques et aux agents corrosifs ;
- Une plus faible perméabilité à l'eau et une bonne résistance aux cycles de gel-dégel ;
- Un faible coefficient de dilatation thermique ;
- Un durcissement rapide ;
- Une bonne adhésion aux granulats et aux bétons anciens ;
- Des résistances mécaniques meilleures que celles des bétons hydrauliques ;
- Une bonne résistance à l'abrasion ;
- Une excellente durabilité avec un coût raisonnable ;
- Capacité de réhabiliter des zones soumises à des dommages mécaniques ;
- La combinaison d'un matériau de haute résistance ;
- Surface lisse et antidérapante du matériau ;
- Variété de couleurs ;
- Possibilité de transformation du matériel avec retour en production ultérieure ;
- Prix moins enlevé par rapport au béton traditionnel.

**b) 2. Inconvénients d'un béton polymère**

Les inconvénients du béton polymère par rapport au béton traditionnel peuvent être considérés de la manière suivante :

- Inflammabilité des matériaux à de température supérieure à 200°C ;

- Ces bétons se caractérisent par une mauvaise odeur et une toxicité provenant de la partie liante du matériau c'est-à-dire la résine et le durcisseur pendant le malaxage et la mise en œuvre.

### **1.3 CONCLUSION PARTIELLE**

Ce chapitre présente les généralités sur les deux types de bétons, c'est-à-dire le béton ordinaire couramment utilisé et le béton polymère utilisant du plastique comme liant. Pour le béton ordinaire, nous avons parlé de ses constituants, de ses propriétés essentielles, de ses caractéristiques ainsi que de ses diverses classifications. Pour le béton polymère, nous avons parlé de son composant le plus essentiel qui est le plastique. Nous avons aussi parlé de ses caractéristiques les plus importantes, de ses avantages et de ses inconvénients dans la construction.

## **CHAPITRE DEUXIEME : MATERIELS ET METHODES DE RECHERCHE**

### **2.1 NATURE ET ORIGINE DES CONSTITUANTS**

Les constituants utilisés pour le béton ordinaire ainsi que le BP sont de nature et d'origines différentes. Le ciment utilisé pour le béton ordinaire est le ciment portland SIMBA, fabriqué en Ouganda et de classe commerciale 32,5R. Le sable utilisé est un sable roulé du Rwanda de deuxième qualité et classe granulométrique 0/5. Le gravier utilisé est de type concassé d'origine basaltique. Le polymère utilisé pour le BP est le PEHD retrouvé dans les déchets des bidons récupérés à divers endroits.

### **2.2 PROPRIETES DES CONSTITUANTS**

Pour trouver certaines propriétés importantes de constituants du béton ordinaire et du BP, nous avons effectué quelques essais en laboratoire et quelques recherches. Pour le sable, la détermination des masses volumiques absolue et apparente, l'analyse granulométrique et l'équivalent de sable. Pour le gravier, la détermination des masses volumiques absolue et apparente et l'analyse granulométrique.

#### **2.2.1 Le sable [7]**

##### ***a) Masse volumique apparente***

Le but de cet essai est de savoir le volume occupé par le sable dans son état brut et naturel.

##### ***- Mode opératoire***

On tamise le sable sec avec un tamis des mailles de dimension 2mm. On remplit trois moules de volumes connus  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$  du sable et bien arasé au-dessus et sans tasser les matériaux.

On pèse à l'aide d'une balance de précision les 3 moules contenant du sable et on obtient respectivement  $M_1$ ,  $M_2$  et  $M_3$  sans tenir compte des poids des moules.

##### ***- Résultat***

Nous pouvons trouver les masses volumiques apparentes suivantes :

$$\rho_1 = \frac{M_1}{V_1}, \quad \rho_2 = \frac{M_2}{V_2}, \quad \rho_3 = \frac{M_3}{V_3}. \quad (2. 1)$$

La masse volumique apparente finale est la moyenne des masses volumiques apparentes obtenues :  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  et  $\rho_3$  à partir des trois moules.

$$\rho_{app} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3}{3}. \quad (2. 2)$$

- *Appareillage*

Trois moule de 200 cm<sup>3</sup> de volume intérieur chacun, un tamis de maille de dimension 2mm, une balance de précision et une spatule.

**b) Masse volumique absolue**

Cet essai a pour but de déterminer le volume réel occupé par les grains solides du sable c'est-à-dire sans tenir compte des vides entre les grains du sable.

- *Mode opératoire*

On prélève trois échantillons du sable sec avec de masses respectives  $M_1$ ,  $M_2$  et  $M_3$ . On verse de l'eau dans trois éprouvettes graduées jusqu'à des volumes initiaux équivalents à  $V_{01}$ ,  $V_{02}$  et  $V_{03}$ . A l'aide de l'entonnoir, on insère petit à petit dans chaque éprouvette les masses du sable respectivement ; On tapote légèrement les éprouvettes afin d'éliminer les bulles d'air et on laisse reposer pendant quelques minutes. Enfin, on lit les volumes finaux  $V_{F1}$ ,  $V_{F2}$  et  $V_{F3}$  du niveau de l'eau due à l'ajout du sable dans les éprouvettes.

- *Résultats*

Les masses volumiques absolues pour les trois échantillons sont respectivement :

$$\rho_1 = \frac{M_1}{V_{F1} - V_{01}}, \quad \rho_2 = \frac{M_2}{V_{F2} - V_{02}} \quad \text{et} \quad \rho_3 = \frac{M_3}{V_{F3} - V_{03}} \quad (2. 3)$$

Et la masse volumique absolue finale est la moyenne des trois masses volumiques.

- *Appareillage*

Une balance de précision, une étuve, trois éprouvettes graduées de même volume et un entonnoir.

**c) Analyse granulométrique**

Le but de l'analyse granulométrique du sable est de déterminer la représentation granulométrique des grains qui le composent.

- *Mode opératoire*

Le mode opératoire employé pour l'analyse granulométrique du sable est conforme à la norme NF EN933-1(2012).

- On pèse une masse  $M_s=2500g$  de sable sec.
- On choisit les tamis d'ouverture de 5-4-3,15-2,5-2-1,6-1,25-1-0,8-0,5-0,4-0,1 en tenant compte des dimensions du sable à soumettre à l'essai.
- On nettoie les 12 tamis à l'aide d'une brosse métallique.
- On constitue la colonne des tamis en respectant l'ordre d'ouvertures des mailles (ordre décroissant) :5-4-3,15-2,5-2-1,6-1,25-1-0,8-0,5-0,4-0,1.
- On introduit la masse  $M_s$  sur le tamis de la colonne.
- On met en place le couvercle.
- On fixe la colonne des tamis sur la tamiseuse.
- On tamise d'une manière discontinue.
- On pèse les refus cumulés des tamis en commençant par celui du tamis supérieur.
- On exprime les refus cumules par rapport à la masse initiale  $M_s$  et on déduit les pourcentages des tamisats cumulés.
- On trace la courbe granulométrique.

- *Résultats*

On établit un tableau qui reprend dans les colonnes les refus de chaque tamis, le refus cumulé (en pourcentage) et le tamisât (en pourcentage). De ces données :

- On trace une courbe appelée courbe granulométrique : Avec les masses des différents refus rapportées à la masse initiale du matériau et exprimées en pourcentage.

Nous procédons au traçage de la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le % des refus et les mailles  $D$  en abscisse.

- On trouve le module de finesse, pour le sable, qui est déterminé par la relation :

$$M_F = \frac{1}{1000} \sum R_c(\%) [5mm; 2,5mm; 0,63mm; 0,315mm; 0,16mm] \quad (2. 4)$$

Avec :  $R_c$  (%) : Refus cumulé en pourcentage.

Pour la confection du béton le module de finesse du sable doit être entre  $2,2 \leq M_F \leq 2,8$ .

- *Appareillage*

*Etude comparative de résistance en compression entre le béton ordinaire et le béton polymère de déchets plastiques*

Une balance, des tamis de différentes ouvertures et une tamiseuse.

**d) *Equivalent sable***

L'essai d'équivalent sable a pour but de déterminer le degré de propreté d'un sable selon l'exigence de l'ouvrage à exécuter.

*- Mode opératoire*

On verse dans une cylindrique jusqu'au trait repère inférieur, une solution lavante ;

Introduire dans l'éprouvette une masse sèche de  $120\text{g} \pm 1\text{g}$  de matériau à l'aide de l'entonnoir ;

Frapper fortement à plusieurs reprises la base de l'éprouvette sur la paume de la main par déloger les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon ;

Laisser reposer 10 min ;

Boucher l'éprouvette à l'aide du bouchon de caoutchouc ;

Fixer l'éprouvette sur la machine d'agitation ;

Faire subir à l'éprouvette 90 cycles  $\pm 1$  cycle en  $30\text{s} \pm 1\text{s}$  ;

- Remettre l'éprouvette en position verticale sur la table d'essais ;

- Oter le bouchon de caoutchouc et le rincer au-dessus de l'éprouvette avec la solution lavante.

- En descendant le tube laveur dans l'éprouvette ; Rincer les parois de l'éprouvette avec la solution lavante ;

- Puis enfoncer le tube jusqu'au fond de l'éprouvette ;

- Puis laver le sable pour faire remonter les éléments argileux tout en maintenant l'éprouvette en position verticale. L'éprouvette étant soumise à un lent mouvement de rotation, remonter lentement et régulièrement le tube laveur. Lorsque le niveau du liquide atteint le trait repère supérieur et Relever le tube laveur de façon à ce que le niveau du liquide se maintienne à hauteur de trait repère. Puis Arrêter l'écoulement dès la sortie du tube laveur.

- Laisser reposer sans perturbation pendant  $20\text{mn} \pm 10\text{s}$

**2.2.2 Le gravier [7]**

**2.2.2.1 Analyse granulométrique**

L'analyse granulométrique des graviers est réalisée selon la norme NF P 18-560 ; elle a été réalisée par voie sèche.

- *But de l'essai*

Le but de l'analyse granulométrique des graviers est de déterminer la représentation granulométrique qui les compose. En d'autre terme, c'est une technique de classement des granulats et produits pulvérulents selon la proportion des grains des différentes grosseurs qui les composent.

- *Principe*

L'échantillon de masse M préalablement séché dans une étuve est tamisé à travers une série des tamis qui correspond pour chaque granulat.

- *Mode opératoire*

Après l'échantillonnage, on ramène l'échantillon à l'étuve pour 48 heures afin de le sécher.

Après avoir sélectionné les tamis selon la norme en vigueur, on place le matériau pulvérulent sur le tamis supérieur et on ferme l'ensemble sur la tamiseuse électrique,

On procède au tamisage selon le réglage de la machine

Lorsque la machine stoppe, on retire le tamis et on pèse les refus sur chaque tamis

- *Appareillage*

- Balance et différents poids
- Tamis en mm (50-40-31,5-25-20-16-12,5-10-8-6,3-5)
- Vibreur de tamis (Machine de tamisage)

- *Résultats*

On établit un tableau qui reprend dans les colonnes les refus de chaque tamis, le refus cumulé (en pourcentage) et le tamisât (en pourcentage).

De ces données :

- On trace une courbe appelée courbe granulométrique : Avec les masses des différents refus rapportée à la masse initiale du matériau et exprimée en pourcentage. Nous procédons au traçage de la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le % des refus et les mailles D en abscisse.

**a) Masse volumique absolue**

Cet essai a pour but de déterminer le volume réel occupé par le gravier c'est-à-dire sans tenir compte des vides.

- *Mode opératoire*

On prélève trois échantillons du gravier sec par écartage avec de masses respectives  $M_1$ ,  $M_2$  et  $M_3$ . On verse de l'eau dans trois éprouvettes graduées jusqu'à des volumes initiaux équivalents à  $V_{01}$ ,  $V_{02}$  et  $V_{03}$ . On place petit à petit dans chaque éprouvette les masses des graviers respectivement ; On tapote légèrement les éprouvettes afin d'éliminer les bulles d'air et on laisse reposer pendant quelques minutes. Enfin, on lit les volumes finaux  $V_{F1}$ ,  $V_{F2}$  et  $V_{F3}$  du niveau de l'eau due à l'ajout des graviers dans les éprouvettes.

- *Résultats*

Les masses volumiques absolues pour les trois échantillons sont respectivement :

$$\rho_1 = \frac{M_1}{V_{F1}-V_{01}}, \rho_2 = \frac{M_2}{V_{F2}-V_{02}} \text{ et } \rho_3 = \frac{M_3}{V_{F3}-V_{03}} \quad (2.5)$$

Et la masse volumique absolue finale est la moyenne des trois masses volumiques.

- *Appareillage*

Une balance de précision, une étuve, trois éprouvettes graduées de même volume.

**b) Masse volumique apparente**

La masse volumique apparente a été déterminée selon les normes NF P 18-554.

- *But*

Le but étant de savoir le volume occupé par le sable dans son état brut et naturel foisonné.

- *Principe*

L'essai a consisté au remplissage d'un récipient vide de volume ( $V$ ) du matériau sec non tassé qui a été pesé pour en déduire la masse volumique apparente.

- *Mode opératoire*

Après tamisage de notre sable avec un tamis des mailles de dimension 2mm, nous remplissons le volume intérieur de nos trois moules du sable bien arasé au-dessus et sans tasser les matériaux ;

Pesons à l'aide de la balance électrique successivement les 3 moules contenant du sable et nous obtenons respectivement  $M_1$ ,  $M_2$  et  $M_3$  ; ensuite, le pesage de moules à vide et nous obtenons  $MM_1$ ,  $MM_2$ ,  $MM_3$  ; La masse des échantillons utilisés dans les 3 moules respectivement  $m_1$ ,  $m_2$  et  $m_3$  par la relation :

$$m_i = M_i + MM_i$$

- *Appareillage*

Trois moules de 200 cm<sup>3</sup> de volume intérieur chacun, un tamis de maille de dimension 2mm, une balance électrique.

- *Expression des résultats*

La masse volumique apparente est la moyenne des masses volumiques apparentes obtenues à partir des trois éprouvettes. Elle est égale à :

$$\rho_{app} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3}{3} \quad (2.6)$$

### 2.2.3 Le plastique

Dans le tableau 2.1, nous trouvons quelques propriétés essentielles des thermoplastiques.

**Tableau 2. 1 : les propriétés des thermoplastiques [18]**

Thermoplastiques	Densité	T° fusion (°C)	Résistance en compression (MPa)	Limite d'élasticité	Module de Young(GPa)	Allongement à la rupture (%)
PEHD	0,94 à 0,95	200	15 à 23	25	1	50
PEBD	0,90 à 0,93	120 à 170	7 à 10	15	0,2	500
PVC	1,4	125	20 à 50	40	2 à 3	20 à 70
PET	1,34	200 à 225	12 à 15	20	2,7 à 4,1	40
PS	1,04	160	10 à 30	15	2,3 à 4,1	3
PP	0,90	165	12 à 35	15	1,3	20

D'autres caractéristiques, symboles et termes concernant les polymères sont énumérées dans la norme AFNOR, NF EN ISO 1043-1.

## **2.3 FORMULATION DU BETON ORDINAIRE**

### **2.3.1 Choix de la méthode [2], [21]**

La formulation des bétons relève de critères techniques, normatifs et aussi économiques comme les caractéristiques géométriques de l'ouvrage, l'environnement durant son fonctionnement, les caractéristiques du béton lors de sa mise en œuvre et à son état durci, les conditions de production et de mise en œuvre, les normes en vigueur, etc.

La méthode de formulation par Dreux-Gorisse a l'avantage d'être issue de nombreuses formulations ayant été testées sur chantiers et ayant données satisfaction. Elle est apte aux exigences liées au cahier des charges, et est très simple à utiliser et se base sur la connaissance des courbes granulométriques des granulats utilisés. Cette méthode permet aussi une approche pratique d'une composition de béton répondant à des objectifs déterminés, moyennant quelques hypothèses facilitant la démarche. [2]

### **2.3.2 Principe de formulation**

Le principe de formulation selon Dreux-Gorisse consiste à déterminer en fonction des critères de maniabilité et de résistance définis par le cahier des charges, la nature et les quantités de matériaux nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G en  $\text{kg/m}^3$ ). [2]

### **2.3.3 Étape de formulation [2]**

#### **1. Contexte de la formulation et les données de base**

La formulation d'un béton se fait en lien avec une opération de construction. Nous nous placerons dans le cadre de la formulation d'un matériau allant servir à fabriquer des éléments structuraux à l'intérieur d'un futur bâtiment d'habitation.

Les caractéristiques visées pour notre béton ordinaire sont :

- La résistance caractéristique en compression sur cylindre à 28 jours :  $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$ .
- La consistance recherchée pour la mise en œuvre : béton plastique vibré normalement avec un affaissement visé à 7,5 cm (Essai au cône).

Les caractéristiques des matériaux à disposition sont :

- Le ciment CEM IV B-P 32,5R (classe de résistance commerciale) de densité,

- L'analyse granulométrique du sable et du gravier,
- Le sable roulé propres, de bonne qualité, de masse volumique absolue  $\rho_{\text{sable}} = 2600 \text{ kg.m}^3$ ,
- Le gravier concassé de masse volumique absolue  $\rho_{\text{gravier}} = 2500 \text{ kg.m}^3$ ,
- Les courbes granulométriques du sable et du gravier.

La méthode de formulation proposée, passe par trois phases :

- L'obtention du rapport C/E à partir de la résistance et donc la qualité de la pâte visée,
- La détermination de la quantité du ciment et de l'eau,
- Le bilan des quantités de chacun des constituants (masses de C, E, S, G) et masse volumique théorique du béton  $Y_{\text{th}}$ .

#### **a) Recherche du rapport pondéral C/E**

Il faut en premier lieu évaluer approximativement le rapport C/E (dosage en ciment/dosage en eau totale sur matériaux secs) en fonction de la résistance moyenne espérée  $f_{\text{cm}}$  :

$$f_{\text{cm}} = K_{\text{DG}} * F_{\text{CE}} \left( \frac{C}{E} - 0,5 \right) \quad (2.7)$$

Avec  $f_{\text{cm}}$  la résistance moyenne en compression visée à 28 jours [MPa],  $F_{\text{CE}}$  la classe vraie du ciment [MPa], C le dosage en ciment [kg.m<sup>-3</sup>], E le dosage en eau totale sur matériaux secs [kg.m<sup>-3</sup>] et  $K_{\text{DG}}$  le coefficient granulaire.

La résistance moyenne  $f_{\text{cm}}$  peut être estimée en fonction de la résistance caractéristique visée  $f_{\text{c28}}$ , en supposant que la répartition des résistances en compression suit une loi normale, à l'aide de la formule suivante :

$$f_{\text{cm}} \approx f_{\text{c28}} + 20\%$$

La classe vraie  $F_{\text{CE}}$  d'un ciment correspond à la moyenne des résistances obtenues sur un mortier de référence composé à partir du ciment à caractériser (formulation et essais respectant la norme NF-EN-196-1).

Cette classe vraie peut généralement être estimée comme la classe de résistance commerciale à laquelle on ajoute 20 % pour les mêmes raisons que pour la détermination de la résistance moyenne en compression du béton. Trois classes commerciales de résistances sont définies dans la norme NF-EN-197-1 :

- Classe commerciale 32,5 → classe vraie estimée à 39 MPa ;
- Classe commerciale 42,5 → classe vraie estimée à 51 MPa ;
- Classe commerciale 52,5 → classe vraie estimée à 63 MPa.

En réalité, seul le fournisseur du ciment peut donner une estimation de la classe vraie du ciment. Cette valeur correspond à la moyenne des résultats d'essais de compression réalisés à partir d'éprouvettes 4x4x16 cm<sup>3</sup> cassées en flexion en respectant la norme NF-EN-197-1.

Les valeurs du coefficient granulaire données  $K_{DG}$  dans le tableau supposent que le serrage du béton est effectué dans de bonnes conditions (par vibration en principe).  $D_{max}$  est le diamètre du plus gros granulat. Le tableau 2.2 présente le coefficient granulaire en fonction du plus gros granulat  $D_{max}$ .

**Tableau 2. 2 : coefficient granulaire  $K_{DG}$**

Qualité des granulats	Granulats fins ( $D_{max} < 16\text{mm}$ )	Granulats moyens ( $25 < D_{max} < 40\text{mm}$ )	Gros granulats ( $D_{max} > 63\text{mm}$ )
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,55	0,60
Passable	0,35	0,40	0,45

***b) Evaluation de la quantité de ciment C et de la quantité d'eau E***

L'abaque figure 2.1 permet d'estimer la quantité de ciment nécessaire en fonction du rapport C/E estimé par la formule (2.7) et de l'ouvrabilité désirée, qui peut être identifiée à partir de l'affaissement au cône à l'aide du tableau 2.3.

**Tableau 2. 3 : Évaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône.**

Plasticité	Serrage	Affaissement [cm]	Dénomination NF-EN 206/CN
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2	S1
Béton ferme	Bonne vibration	3 à 5	S1 / S2
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9	S2
Béton mou	Piquage	10 à 13	S3
Béton liquide	Léger piquage	≥ 14	S3 / S4 / S5

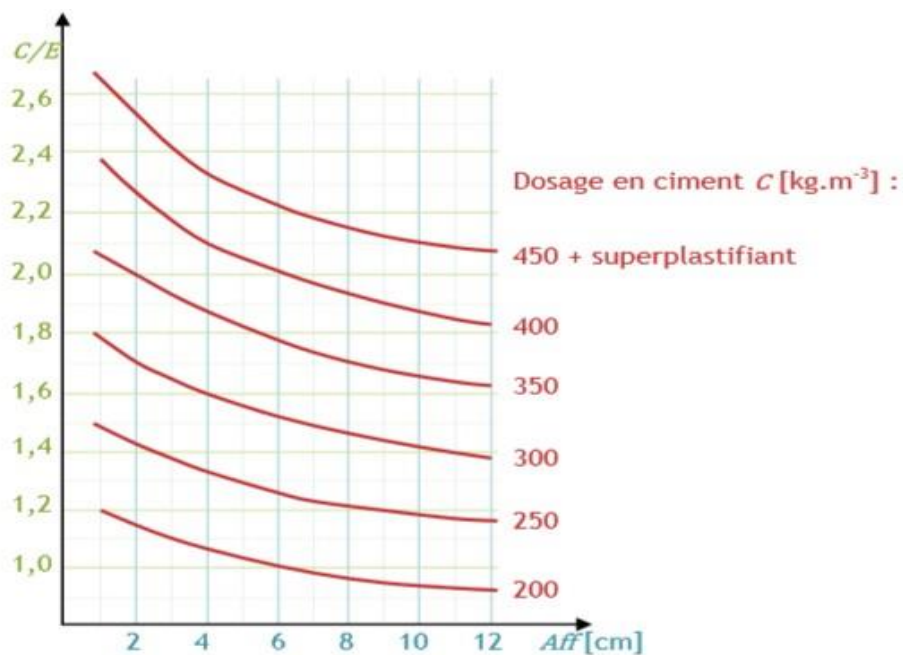


Figure 2. 1 : Abaque pour l'estimation de la quantité de ciment.

Une première estimation de la quantité d'eau E est ensuite déduite du rapport C/E et de la quantité de ciment C identifiée à partir de la figure 2.1. Cette quantité est ensuite corrigée en fonction de la taille des plus gros granulats  $D_{max}$  à l'aide du tableau 2.4 afin de prendre en compte l'influence de la surface spécifique des granulats.

**Tableau 2. 4 : Correction en pourcentage d'eau en fonction de la dimension des plus gros granulats  $D_{max}$ .**

Dimension maximale des plus gros granulats $D_{max}$ [mm]	5	10	16	25	40	63	100
Correction sur le dosage en eau E [%]	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

(Cette correction est nécessaire si  $D_{max} \neq 25$  mm).

**c) Estimation de la quantité des granulats**

- Analyse granulométrique

Sur un graphique d'analyse granulométrique respectant la norme NF-EN 933-1 (linéaire en module et logarithmique en dimension des granulats), on trace une composition granulaire de référence O A B (figure 9). Le point O est placé à l'origine du graphique, le point B correspond à la dimension  $D_{ma}$  des plus gros granulats à l'ordonnée 100%. A est appelé point de brisure.

Le point de brisure A, a les coordonnées suivantes :

- En abscisse (à partir de la dimension des plus gros granulats  $D_{max}$ ) :  
 O Si  $D_{max} \leq 20$  mm, l'abscisse est  $D_{max} / 2$  ;  
 O Si  $D_{max} > 20$  mm, l'abscisse est située au milieu du segment gravier limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant à  $D_{max}$  ;
- En ordonnée :  $Y_A = 50 - \sqrt{D_{max}} + K$  (2.8), où K est un terme correcteur obtenu par le tableau 2.5.

**Tableau 2. 5 : Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats**

Vibration	Faible		Normale		Puissante	
	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
400+Superplastifiant	-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	+7	+4	+6	+2	+4
200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

- *Utilisation de la courbe granulaire de référence*

La figure 2.2 présente la méthode d'utilisation de la courbe granulaire de référence afin de déduire les pourcentages des granulats utilisés. Le segment A'B' relie le point A' à 95% de tamisats cumulés d'un granulat avec le point B' à 5% de tamisats cumulés de la courbe granulométrique du granulat directement supérieur en dimension.

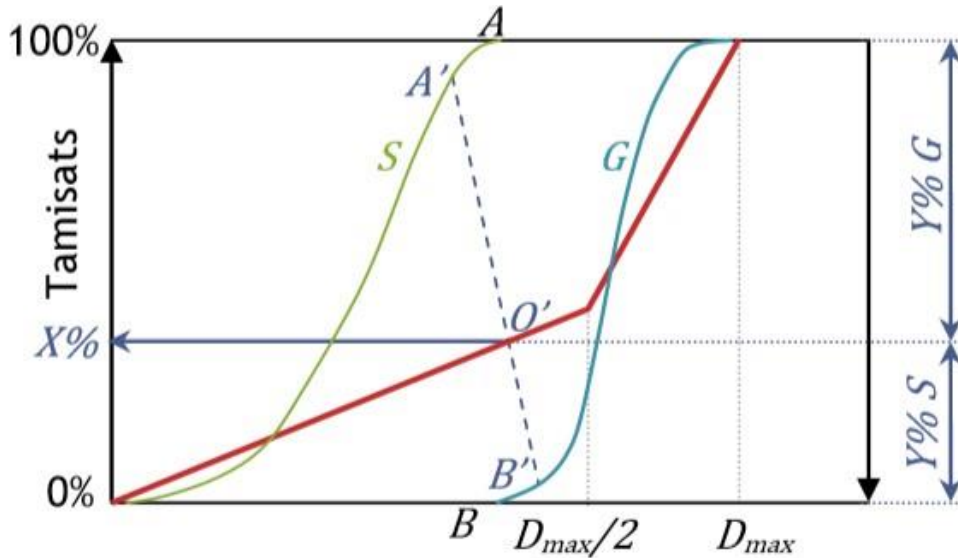


Figure 2. 2 : Utilisation de la courbe granulaire de référence.

- *Le coefficient de compacité*

Le coefficient de compacité  $\gamma_{th}$  estimé à l'aide du tableau 2.6 permet de déduire la quantité des différents autres composants de la formulation. La compacité  $\gamma_{th}$  est définie comme le rapport entre le volume de solide et le volume total du béton :

$$\gamma_{th} = \frac{V_{ciment} + V_{granulat}}{V_{béton}} \quad (2.9)$$

**Tableau 2. 6 : Valeur du coefficient de compacité  $Y$ .**

Consistance	serrage	Coefficient de compacité $Y_{th}$						
		$D_{max}$ =5	$D_{max}$ =10	$D_{max}$ =12,5	$D_{max}$ =20	$D_{max}$ =31,5	$D_{max}$ =50	$D_{max}$ =80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	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	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	0,780	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter une correction : sable roulé et gravier concassé  $\rightarrow$  -0,01 ; sable et gravier concassés  $\rightarrow$  -0,03.

## **2.4 CARACTERISATION DU BETON [7], [25]**

La caractérisation du béton se fait à l'état frais par l'ouvrabilité du béton lors de sa confection et à l'état durci par sa masse volumique et sa résistance en compression.

### **2.4.1 Caractérisation à l'état frais**

#### **1. Essai d'ouvrabilité du béton (essai au cône d'Abram)**

Cet essai nous permet d'apprécier la maniabilité du béton.

- *Mode opératoire*

On humidifie légèrement d'eau la plaque d'appui et le moule qui va recevoir le béton. Le béton confectionné selon la formulation est introduit dans le moule en 3 couches d'égales hauteurs qui seront mises en place au moyen de la tige de piquage actionnée 25 fois par couche (la tige doit pénétrer la couche immédiatement inférieure). Après avoir arasé en roulant la tige de piquage sur le bord supérieur du moule, le démoulage s'opère en soulevant le moule avec précaution. Le béton n'étant plus maintenu s'affaisse plus ou moins suivant sa consistance. Celle-ci est caractérisée par cet affaissement, noté A, mesuré grâce au portique et arrondi au centimètre le plus proche. La mesure doit être effectuée sur le point le plus haut du béton et dans la minute qui suit le démoulage. Démouler verticalement (sans mouvement de torsion) en 5 à 10 secondes puis on mesure l'affaissement du béton à 1cm près. En annexe 3 nous trouvons la forme du béton après le démoulage.

- *Résultats*

La norme NF P 18 – 305 définit les mêmes classes d'affaissement, on note F, P, TP et Fl (Ferme, Plastique, Très Plastique et Fluide), selon les mesures effectuées avec l'échelle gradué du portique.

Le tableau 2.7 présente les valeurs d'affaissement au cône en fonction de la consistance souhaitée.

**Tableau 2. 7 : La classe d'affaissement.**

Consistance	Affaissement (cm)	Tolérances
Ferme (F)	0 à 4	± 1 cm
Plastique (P)	5 à 9	± 2 cm
Très plastique (TP)	10 à 15	± 3 cm
Fluide (F)	≥ 16	

- *Appareillage*

L'appareillage est complètement décrit dans la norme NF P 18-451 et se compose de 4 éléments : Un moule tronconique sans fond de 30 cm de haut, de 20 cm de diamètre en sa partie inférieure et de 10 cm de diamètre en sa partie supérieure, une plaque d'appui, une tige de piquage, un portique de mesure.

## 2.4.2 Caractérisation à l'état durci

La caractérisation à l'état durci se fera par la connaissance de la masse volumique du béton et de sa résistance en compression.

### a) *La masse volumique*

Le but est de savoir la masse volumique du béton à l'état durci.

#### - *Mode opératoire*

Avec une balance de précision, on pèse la masse M de l'éprouvette durci et séchée. Sachant le volume V occupé par l'éprouvette, on calcule la masse volumique.

#### - *Résultats*

La masse volumique du béton sec est calculé par :

$$\rho_{\text{beton}} = \frac{M_{\text{épreuve}}}{V_{\text{épreuve}}} \quad (2. 10)$$

### b) *Essai de compression*

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression du béton, qui peut être mesurée en laboratoire sur des éprouvettes.

#### - *Mode opératoire*

Préparer l'éprouvette à écraser (Comme elles proviennent du bassin d'immersion, la préparation consiste à le laisser sécher et à faire des corrections sur sa surface si possible). Procéder à l'écrasement grâce à la presse hydraulique, qui indiquera la fin de l'écrasement et la valeur de la résistance en compression.

## 2.5 PREPARATION DU BETON POLYMERE

Pour parvenir à confectionner le béton polymère, nous avons suivi quelques étapes essentielles :

### 2.5.1 Le choix du polymère.

Nous avons choisi le PEHD pour trois raisons :

- Il est aussi abondant que le PET
- Il est plus résistant par rapport au PET et au PEBD

*Etude comparative de résistance en compression entre le béton ordinaire et le béton polymère de déchets plastiques*

- Il a un bon caractère recyclable
- Il est moins toxique que le PVC

## **2.5.2 Les étapes de confection du BP [8]**

Pour réussir à confectionner le BP, nous allons recycler le PEHD en passant par quelques étapes.

Il s'agit :

- Préparation des déchets plastiques
- préparation des granulats
- dosage des différents constituants
- mélange des constituants
- moulage

Ces étapes sont reprises en annexe 1 et 2.

### **2.5.2.1 Préparation des déchets plastiques**

Cette étape se subdivise en cinq phases respectant les processus de recyclage mécanique. Il s'agit de :

#### *- La collecte*

La collecte se fait selon le type de plastique souhaité. Elle consiste à récupérer les déchets dans la nature. Dans des pays développés où l'on respecte la désignation des plastiques, la collecte se fait dans des poubelles différentes où les déchets sont rangés par caractère de recyclable. Pour notre travail, la collecte s'est effectuée dans des marchés, dans nos domiciles et dans certains garages.

#### *- Le tri*

Le tri est une étape importante du recyclage car dans une même famille de plastique on peut retrouver des sous classes n'ayant pas la même température de fusion.

#### *- Le broyage ou déchiquetage*

Cette phase consiste à rendre en petits morceaux les plastiques. Cela facilite le nettoyage en profondeur mais aussi facilite une fusion rapide. Nous avons utilisé une paire de ciseaux pour déchiqueter mais l'idéal serait d'utiliser une déchiqueteuse.

#### *- Le nettoyage*

Le nettoyage est aussi important car les déchets viennent avec d'autres impuretés qui peuvent nuire au processus de recyclage est à la résistance du béton. Ces impuretés sont : des papiers autocollants, des huiles moteurs ou végétales, des poussières, d'autres matériaux, etc. le

nettoyage se fait à l'eau chaude avec du savon, puis les plastiques sont séchés complètement avant leur stockage ou fusion.

- *Le stockage*

Le stockage permet de protéger les plastiques contre la poussière et toute autre matière nuisible en attendant la fusion.

**2.5.2.2 Préparation des granulats**

Les granulats utilisés pour la confection du BP étaient identiques à ceux utilisés pour la confection du béton ordinaire. La différence est que ces derniers étaient bien séchés avant leur usage. Cela permet une bonne adhérence du plastique fondu avec ces granulats. La meilleure façon est de sécher à l'étuve pendant 48 heures.

**2.5.2.3 Dosage des différents constituants**

Il s'agit des différentes quantités des constituants nécessaires pour remplir une éprouvette cylindrique de 16\*32 cm<sup>2</sup>.

Le tableau 2.8 reprend le dosage en pourcentage des constituants du BP.

**Tableau 2. 8 : Dosage des constituants du BP.**

	Plastique	Gravier	Sable
(%)	45	25	30

On prépare les différentes quantités pour l'étape suivante.

**2.5.2.4 Mélange des constituants**

Cette étape est la plus cruciale est la plus difficile. Pour y parvenir on doit d'abord fondre le plastique dont on connaît déjà la température de fusion. On le place dans une marmite puis sur un foyer. Lorsque le plastique atteint sa température de fusion, il commence à se ramollir. On patiente jusqu' à ce qu'il soit liquide et homogène. On y place progressivement les granulats tout en mélangeant les tous. On doit s'assurer de l'uniformité du mélange avant de passer à l'étape suivante.

#### **2.5.2.5 Moulage**

Le moulage doit se faire rapidement car le plastique durci aussi rapidement. D'où l'importance de préparer le moule bien avant de commencer la fusion. On doit appliquer un lubrifiant sur les parois du moule pour éviter que le béton ne s'y colle pendant le séchage on coule le BP par couche tout en compactant. Lorsque le moule est rempli, on le dépose à un endroit sec à l'abri de l'humidité.

### **2.6 CONCLUSION PARTIELLE**

Ce chapitre présente la méthodologie pour aboutir aux résultats de notre étude. Il parle de la nature et la caractérisation des différents constituants formant le béton ordinaire et le BP. Il parle aussi de la formulation utilisée pour l'obtention du dosage des constituants du béton ordinaire ainsi que les étapes à suivre pour la confection du BP.

## CHAPITRE TROISIEME : PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Ce chapitre s'intéresse à la présentation et l'interprétation des résultats obtenus au cours des différents essais effectués. Il s'agit principalement de la présentation des caractéristiques des différents constituants obtenus lors des différents essais, des résultats de la formulation du béton ordinaire ainsi que des principales caractéristiques de ce béton à l'état frais et à l'état durci : sa résistance à la compression et sa masse volumique. Ce chapitre présente aussi quelques comparaisons observées sur les deux types de bétons.

### 3.1. CARACTERISTIQUES DES CONSTITUANTS

#### 3.1.1. Sable

##### 1. *Les masses volumiques*

Les résultats de la détermination de la masse volumique absolue et la masse volumique apparente sont repris dans le tableau 3.1.

*Tableau 3. 1 : Les masses volumiques absolue et apparente du sable.*

Matériau	Masse volumique absolue en g/cm <sup>3</sup>	Masse volumique apparente en g/cm <sup>3</sup>
Sable roulé	2,52	1,38

##### 2. *Analyse granulométrique*

La répartition granulométrique du sable est représentée dans le tableau 3.2 et sa composition sur la figure 3.1.

**Tableau 3. 2 : La répartition granulométrique du sable.**

Numéro TAMIS		OUVERTURE (en mm)		REFUS CUMULES		TAMISAT	REMARQUE
ASTM	AFNOR	ASTM	AFNOR	(g)	(%)	En (%)	
3"	50	76,2	80	0	0	100	
2 1/2"	49	63,5	63	0	0	100	
2"	48	50,8	50	0	0	100	
1 1/2"	47	38,1	40	0	0	100	
1 1/4"	46	31,7	31,5	0	0	100	
1"	45	25,4	25	0	0	100	
3/4"	44	19,1	20	0	0	100	
2/3"	43	16,9	16	0	0	100	
1/2"	42	12,7	12,5	0	0	100	
3/8"	41	9,52	10	0	0	100	
1/3"	40	7,93	8	0	0	100	
1/4"	39	6,35	6,3	60	2,4	97,6	
3/16"	38	4,76	5	135	5,4	94,6	
5	37	4	4	210	8,4	91,6	
6	36	3,36	3,15	225	9	91	
8	35	2,38	2,5	395	15,8	84,2	
10	34	2	2	485	19,4	80,6	
12	33	1,68	1,6	640	25,6	74,4	
16	32	1,19	1,25	800	32	68	
18	31	1	1	980	39,2	60,8	
20	30	0,84	0,8	1145	45,8	54,2	
30	29	0,59	0,63	1355	54,2	45,8	
35	28	0,5	0,5	1615	64,6	35,4	
40	27	0,4	0,4	2145	85,8	14,2	
50	26	0,315	0,315	2395	95,8	4,2	
60	25	0,25	0,25	2490	99,6	0,4	
70	24	0,2	0,2	2500	100	0	
100	23	0,16	0,16	2500	100	0	
120	22	0,125	0,125	2500	100	0	
140	21	0,1	0,1	2500	100	0	
200	20	0,08	0,08	2500	100	0	

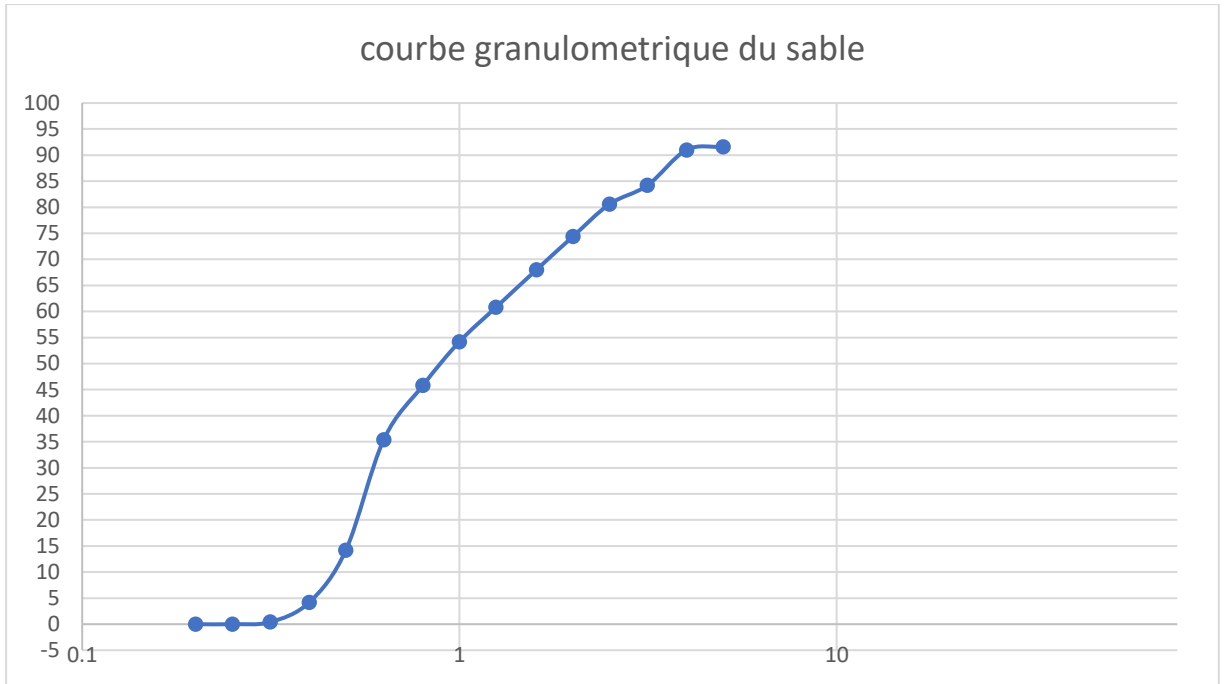


Figure 3. 1 : Courbe granulométrique du sable.

### 3. Equivalent sable

Le tableau 3.3 présente le degré de propreté de notre sable. Notre sable est propre et bon pour la confection du béton.

**Tableau 3. 3 : Les résultats de l'ES.**

Essai	ES moyen à la règle en %	ES moyen au piston en %	ES moyen en %
Degré de propreté	88,6	85,6	87,1

### 3.1.2. Gravier

#### 1. Masse volumique absolue

La masse volumique absolue obtenue pour le gravier est de 2,699 g/cm<sup>3</sup>.

**2. Analyse granulométrique**

Les données de la répartition granulométrique du gravier sont reprises dans le tableau 3.4.

**Tableau 3. 4 :La répartition granulométrique du gravier.**

Numéro TAMIS		OUVERTURE (en mm)		REFUS CUMULES		TAMISAT	REMARQUE
ASTM	AFNOR	ASTM	AFNOR	(g)	(%)	En (%)	
3"	50	76,2	80	0	0	100	
2 1/2"	49	63,5	63	0	0	100	
2"	48	50,8	50	0	0	100	
1 1/2"	47	38,1	40	0	0	100	
1 1/4"	46	31,7	31,5	210	8,4	91,6	
1"	45	25,4	25	625	25	75	
3/4"	44	19,1	20	1120	44,8	55,2	
2/3"	43	16,9	16	1735	69,4	30,6	
1/2"	42	12,7	12,5	2140	85,6	14,4	
3/8"	41	9,52	10	2400	96	4	
1/3"	40	7,93	8	2475	99	1	
1/4"	39	6,35	6,3	2485	99,4	0,6	
3/16"	38	4,76	5	2500	100	0	
5	37	4	4	2500	100	0	
6	36	3,36	3,15	2500	100	0	
8	35	2,38	2,5	2500	100	0	
10	34	2	2	2500	100	0	
12	33	1,68	1,6	2500	100	0	
16	32	1,19	1,25	2500	100	0	
18	31	1	1	2500	100	0	
20	30	0,84	0,8	2500	100	0	
30	29	0,59	0,63	2500	100	0	
35	28	0,5	0,5	2500	100	0	
40	27	0,4	0,4	2500	100	0	
50	26	0,315	0,315	2500	100	0	
60	25	0,25	0,25	2500	100	0	
70	24	0,2	0,2	2500	100	0	
100	23	0,16	0,16	2500	100	0	
120	22	0,125	0,125	2500	100	0	
140	21	0,1	0,1	2500	100	0	
200	20	0,08	0,08	2500	100	0	

La courbe granulaire de notre gravier est représentée sur la figure 3.2:

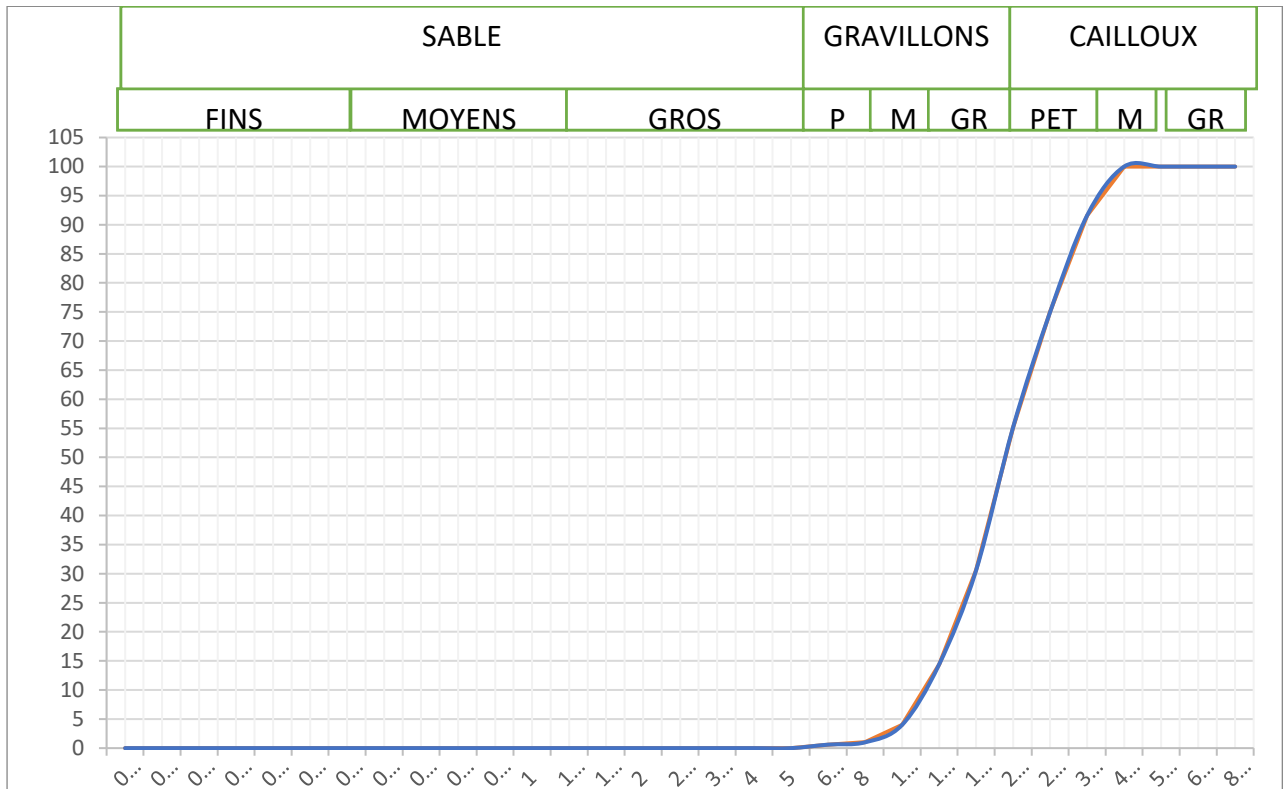


Figure 3. 2 : La courbe granulaire du gravier.

### 3. Polymères

Les propriétés nécessaires du PEHD sont reprises dans le tableau . (3.5) au point 3.4 de ce chapitre.

## 3.2. FORMULATION DU BETON ORDINAIRE

### 3.2.1. Rapport pondéral C/E

Le béton ordinaire que l'on veut formuler est destiné pour la dalle. La résistance visée à 28 jours est de 20 MPa. Le rapport pondéral C/E trouvé avec la formule (2.7). du second chapitre est de 1,62.

Quantités de ciment C et d'eau E

L'estimation de l'affaissement au cône d'Abram est donnée par le tableau (2.3). Selon la vibration voulue nous plaçons l'affaissement à 7,5cm. L'abaque représenté à la figure (3.3) nous permet d'estimer la quantité de ciment nécessaire en fonction du rapport C/E et de l'affaissement

trouvés. La quantité nécessaire en ciment est donc 325 kg dans 1m<sup>3</sup> de béton. Avec la formule (2.7), la quantité d'eau est de 200,6kg/m<sup>3</sup>.

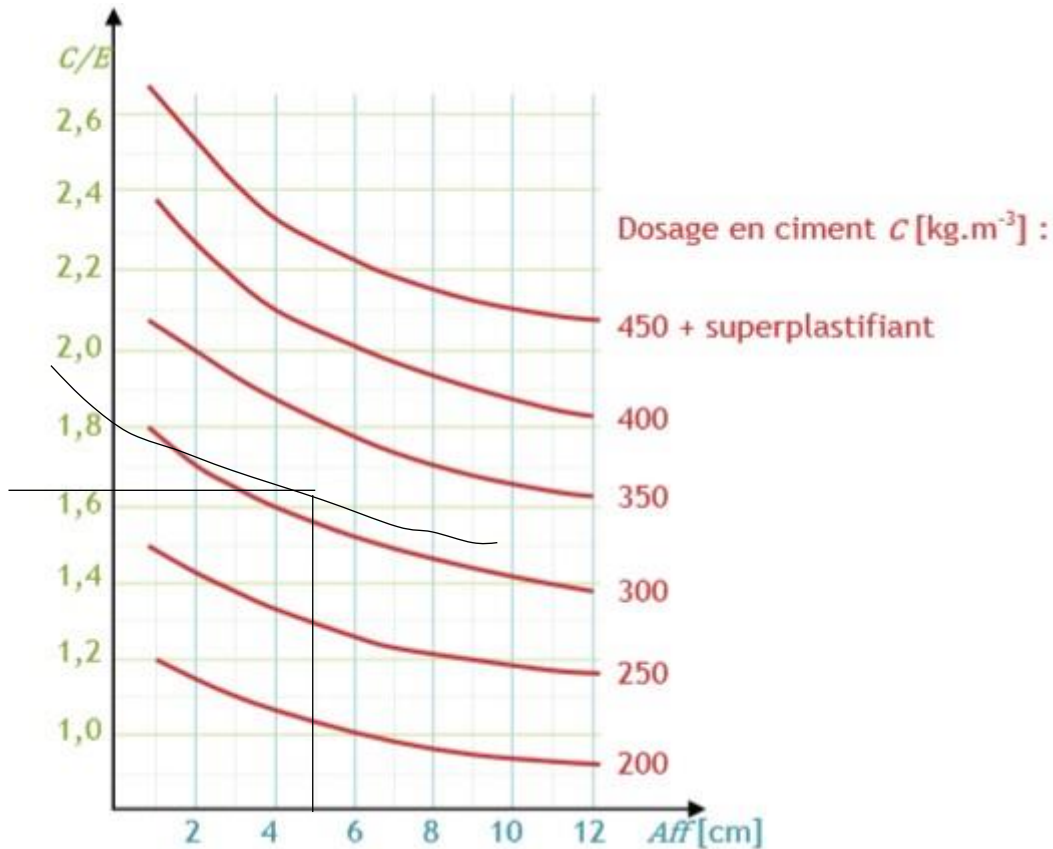


Figure 3. 3 : Abaque pour l'estimation de la quantité du ciment.

La valeur de E doit être corrigée en fonction du plus gros granulat par le tableau 2.4. Nous devons donc retrancher 2% de la quantité en eau trouvée, ainsi la valeur finale de E est de 204,6 L/m<sup>3</sup>

### 3.2.2. Quantités des granulats

- *Courbe granulaire de référence*

La ligne de partage représentée à la figure (2.2), nous permet de trouver le milieu du segment (segment allant de 5mm à  $D_{\max}$ )  $X_A=12,5\text{mm}$  représenté en abscisse. En ordonnée on trouve  $Y_A = 47,38\text{mm}$  grâce à la formule (2.8).

D'où le point de brisure est A (12,5; 47,38).

- *La courbe granulométrique*

Graphiquement nous trouvons le pourcentage du sable et gravier.

Sable : 43% et gravier : 57%

- Le coefficient de compacité

Pour trouver le volume du reste des constituants, nous utilisons la formule (2.9) ou nous obtenons le volume des granulats =  $0,722\text{m}^3$  et celui du ciment =  $0,108\text{m}^3$  pour un volume de béton de  $1\text{m}^3$ .

Avec les masses volumiques, les pourcentages et les volumes de différents constituants connus, nous obtenons leurs masses finales pour un moule cylindrique de 16cm de diamètre et 32cm de hauteur. Pour le ciment 2,08kg, le sable 5,01kg, le gravier 7,11kg et l'eau 1,3 L.

### 3.3. CARACTERISTIQUES DU BETON ORDINAIRE

#### 3.3.1. Ouvrabilité

La valeur d'affaissement au cône d'Abram trouvée fut de 7cm avec une différence de 0,5cm par rapport à celle qu'on s'est choisie. Notre béton est donc plastique avec une vibration courante car il se trouve dans la plage de 6 à 9 cm de valeur d'affaissement au cône d'Abram.

#### 3.3.2. Résistance en compression

La valeur moyenne de la résistance en compression sur des éprouvettes cylindriques de 16\*32cm à 28 jours est de 8,6 MPa. Les résultats sont affichés en annexe.

### 3.4. CONFECTION DU BETON POLYMERE

#### 3.4.1. Polyéthylène haute densité

Les propriétés essentielles du PEHD sont reprises dans le tableau 3.5.

*Tableau 3. 5 : Les propriétés du PEHD.*

Polymères Thermoplastiques	Densité	Température de fusion (°C)	Résistance compression (MPa)	Limite d'élasticité (MPa)	Module de Young (GPa)	Allongement à la rupture (%)
PEHD	0,94 à 0,95	120 à 200	15 à 23	25	1	50

#### 3.4.2. Résistance en compression

La valeur moyenne de la résistance en compression du béton polymère effectuée sur des éprouvettes cylindriques a donnée 5,5 MPa. Les résultats sont affichés en annexe 5.

En comparant les valeurs de résistance en compression trouvées pour les deux types de béton, on constate que celle du béton polymère est inférieure à celle du béton ordinaire.

### **3.5. CONCLUSION PARTIELLE**

Ce chapitre présente les caractéristiques des constituants ainsi que celles des bétons. Il a présente les résultats obtenus après les essais au laboratoire et surtout les résultats de la résistance en compression du béton ordinaire et du BP.

## CONCLUSION GENERALE

Le présent travail a porté sur une étude comparative de résistance en compression, entre le béton ordinaire et le béton polymère utilisant des déchets plastiques, en vue de diminuer la pollution environnementale causée par les déchets plastiques. On a pu évaluer les caractéristiques du plastique à utiliser qui a remplacé le ciment par une substitution de 100%.

Le béton ordinaire a été formulé par la méthode de Dreux-Gorisse, il a été confectionné et écrasé après 28 jours pour donner une résistance de 8,4 MPa. Le béton polymère quant à lui, a été confectionné suivant les étapes d'un recyclage mécanique. Étant donné qu'il atteint sa résistance maximale rapidement, il a été écrasé après cinq jours pour donner une résistance de 5,5MPa.

On a constaté que le BP des déchets plastiques offre une résistance moindre par rapport au béton ordinaire. Cette différence n'étant pas trop grande, le BP peut être utilisé pour des constructions n'exigeant pas une forte résistance en compression comme les comptoirs, les revêtements du sol, les décors des façades, les monuments et les clôtures. Aussi, vu ses avantages soulignés dans le chapitre premier, il peut remplacer le béton ordinaire dans certains usages comme pour la réalisation des produits d'assainissement (caniveaux, regards, cunettes, etc.).

Ce travail n'étant pas parfait et se limitant à un dosage unique pour la confection du BP, mais présentant néanmoins certains avantages à utiliser le BP, nous invitons d'autres chercheurs et futurs ingénieurs à s'intéresser à la valorisation des déchets dans la construction.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] +IMPAKT Luxembourg , «LES PLASTIQUES,» 2018.
- [2] CAP SCIENCE, « DIFFÉRENTS TYPES DE MATIÈRES PLASTIQUES,» 2006.
- [3] A. B. N. ZANACHE, Etude statistique et Caractérisation Mécanique des Bétons Polymères Sollicités en Flexion, Lyon, 2015.
- [4] B. Traore, Elaboration et caractérisation d'une structure composite (sable et déchets plastiques recyclés): Amélioration de la résistance par des charges en argiles., Abidjan, 2018.
- [5] B. Samir, Valorisation et Recyclage des Déchets Plastiques dans le Béton, Algérie, 2014.
- [6] J. Thébault, Le recyclage des matières plastiques, 2019.
- [7] CIMBéton, Les bétons: formulation, fabrication et mise en œuvre, Paris: Imprimerie Chirat, 2013.
- [8] iBuilder, Tout sur le béton polymère, 2015.
- [9] D. Vézina, «Misaltu por d'un mélange de béton polymere pour la réparation du béton,» Bibliothèque nationale du Québec, Québec, 1982.
- [10] M. G. e. C. Patrascu, Classification des matières plastiques, 2019.
- [11] A. ALINABIWE, cours de technologies et physique du béton,G3 Génie civil , ULPGL, Goma, 2021\_2022.
- [12] G. MASIKA, Cours,Laboratoire des matériaux,G3 Génie Civil, Goma, 2021\_2022.
- [13] A. ZAHINDA, VALORISATION DES DECHETS PLASTIQUES EN MATERIAUX ECOLOGIQUES DE CONSTRUCTION, Goma :ULPGL, 2021.
- [14] G. FRANQUEVILLE, La technologie du béton, Paris.
- [15] FCBTP, LE BÉTON :Guide des bonnes pratiques, Multipress.
- [16] [En ligne]. Available: : <https://www.fcbtp.nc/suivi-de-letude-pathologies-du-beton-en-nouvelle-caledonie/>.
- [17] EDC MATÉRIAUX, cours-beton, Paris : CANTAU ANGLET , 2006.
- [18] S-Laldji, Caractéristiques fondamentales du béton, Paris , 2015.

- [19] G. Mohamed, Formulation et caractérisation d'un béton de sable à base de déchets plastiques, Medea:Algerie, 2015.
- [20] Y. BENALI, Etude du comportement mécanique et de durabilité des mortiers de polymères modifiés au latex, Algérie , 2018.
- [21] ACO, CARACTERISTIQUES GENERALES DU BETON POLYMERE, 27940,Notre Dame de l'Isle(France), 2015.
- [22] F. GHOMARI, SCIENCE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION, 2005\_2006.
- [23] H. H. MOLINARO, Formulation d'un béton ordinaire, Paris , 2018.
- [24] J. Festa, Nouveau guide du béton et de ses constituants, Paris , 1998.
- [25] "Qu'est-ce que le beton polymère, sa composition, les produitd en beton polymère, les monuments, la decoration", 2020.
- [26] [En ligne]. Available: <http://scienceamusante.net/wiki/index.php?title=Identification>, 9/2022.
- [27] C. GARRETT, Le recyclage du plastique : explications et conseils pratiques, Paris , 2021.

## ANNEXES



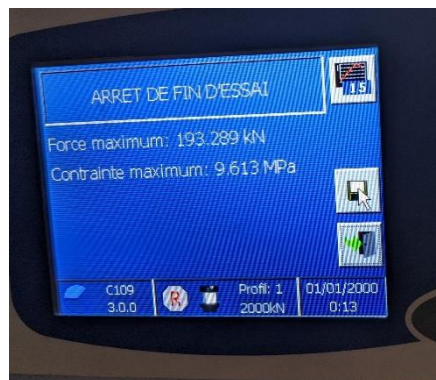
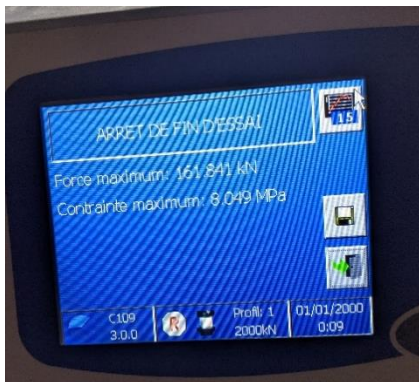
ANNEXE 1 : Quelques étapes pour la mise en œuvre du BP (broyage, fusion et mélange).



ANNEXE 2 : De la gauche à droite le moulage du BP, le pesage du BP et son écrasement.

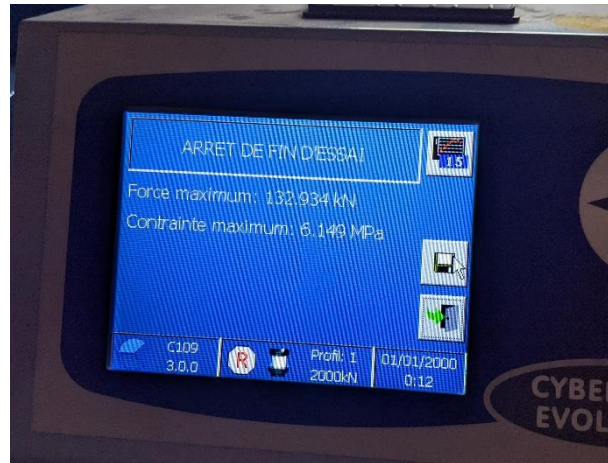


ANNEXE 3 : Essai au cône à gauche et compression du béton ordinaire à droite.



ANNEXE 4 : Les résultats de la résistance en compression du béton ordinaire.

*Etude comparative de résistance en compression entre le béton ordinaire et le béton polymère de déchets plastiques*



ANNEXE 5 : Les résultats de la résistance en compression du BP.