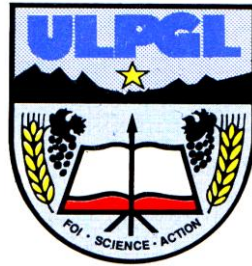


**UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS  
(ULPGL)**



**BP. 368 GOMA**

***www.ulpgl.net***

**FACULTE DES SCIENCES ET DES TECHNOLOGIES**

**APPLIQUEES**

**DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**

---

**ETUDE DU BETON CONFECTIONNE A PARTIR DES GRAVATS  
ISSUS DE DEMOLITION D'UNE MAISON D'HABITATION A GOMA.**

---

Travail présenté en vue de l'obtention du diplôme de  
Gradué en Sciences Appliquées

Par : **AGANZE MUHIMANYI Benjamin**

Directeur : **CT. Drs. Ir. Ally ALINABIWE**

**ANNEE ACADEMIQUE 2021 - 2022**

~ 2 ~

**EPIGRAPHE**

*"La crainte de l'Eternel est le commencement de la sagesse, Tous ceux qui l'observent ont une raison saine"*

*Psaumes 111: 10*

~ 3 ~

## DEDICACES

*A notre sœur LUKOGO MUHIMANYI Wivine*

AGANZE MUHIMANYI Benjamin

## REMERCIEMENTS

Notre vive gratitude revient de prime abord au Dieu Tout Puissant qui nous a accordé le souffle de vie et la santé au jour le jour. Que son nom soit glorifié éternellement et à jamais. Notre profonde gratitude s'adresse au CT. Drs. Ir. Ally. Alinabiwe qui, malgré ses multiples occupations, a accepté de diriger notre travail.

Nos remerciements s'adressent à l'Université Libre des Pays de Grands Lacs (ULPGL), en particulier la Faculté des Sciences et Technologies Appliquées (FSTA) qui, par son accueil, a contribué à notre formation avec beaucoup de patience et de tolérance.

Nous adressons aussi notre plus grande reconnaissance à notre précieuse famille notamment à notre père Muhimanyi Mununu Léopold et à notre mère Nzigire Rusangiza Esperance, à nos frères et sœurs Zawadi Muhimanyi, Binja Muhimanyi, Binji Muhimanyi, Lukogo Muhimanyi, Riziki Muhimanyi, Ciragane Muhimanyi, Cikwanine Muhimanyi, Iragi Muhimanyi, Mwami Muhimanyi, Cubaka Muhimanyi, pour tous leurs sacrifices, conseils et encouragements...

A tous nos camarades et amis, qui ont fait de ce parcours une expérience inoubliable, nous adressons notre profonde reconnaissance.

## SIGLES ET ABREVIATIONS

AG	: analyse granulométrique
C	: dosage en ciment
cm	: centimètre
E	: proportion eau
E/C	: rapport eau sur ciment
ES	: équivalent de sable
fc28	: résistance caractéristique du béton à 28jours
G	: proportion des graves
g	: proportion des gravillons
Kg	: kilogramme
KN	: kilo newton
Mf	: module de finesse
MPa	: méga pascal
S	: proportion sable
SR	: sable recyclé
$\rho$	: masse volumique

## LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau.1.1. : Série des tamis pour le module de finesse .....</i>	17
<i>Tableau.1.2 : Tableau de la représentation de la propreté du sable.....</i>	18
<i>Tableau.1.3. 1. Tableau de l'ouvrabilité du béton.....</i>	20
<i>Tableau.2.1. La correspondance entre classe vraie du liant et valeur minimale garantie par le fabricant .....</i>	36
<i>Tableau2. 1. Valeurs approximatives du coefficient granulaire G .....</i>	37
<i>Tableau2. 2. Tableau qui reprend en compte l'influence de la surface spécifique granulaire</i>	39
<i>tableau2. 3. Reprend la Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats .....</i>	40
<i>Tableau2. 4. Valeurs des coefficients des compacités en fonction de la plasticité, diamètre maximal du type de vibration .....</i>	41
<i>Tableau 3.1. La masse volumique absolue et masse volumique apparente du sable.....</i>	46
<i>Tableau 3.2. La propreté du sable concassé.....</i>	47
<i>Tableau 3.3. La masse volumique absolue et apparente des graviers issus du concassage....</i>	47
<i>Tableau 3.4. Le taux d'absorption des gravats .....</i>	48
<i>Tableau 3.5. Les données de base de la formulation du béton d'étude .....</i>	49
<i>Tableau 3.6. Le dosage en eau et en ciment.....</i>	50
<i>Tableau 3.7. Correction du module de finesse .....</i>	51
<i>Tableau 3.8. Valeur du coeficient de correction .....</i>	51
<i>Tableau 3.9. Le dosage granulométrique des gravats .....</i>	53
<i>Tableau 3.10. Valeurs du dosage massique granulaire .....</i>	53
<i>Tableau 3.11. La moyenne de la masse volumique du béton.....</i>	54
<i>Tableau 3.12. Valeurs de la résistance du béton formulé par Dreux-Goriss.....</i>	55

## LISTE DES FIGURES

<i>figure.1.1 1. Présentation des granulats selon leurs origines.....</i>	<i>22</i>
<i>Figure.2.1. La figure qui reprend le dosage en ciment et la détermination du rapport C/E... 38</i>	<i>38</i>
<i>Figure.2.1. La figure de la représentation de l'Analyse granulométrique .....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 3.1. Le sable issus du concassage .....</i>	<i>44</i>
<i>Figure 3.2. Les graviers issus du concassage .....</i>	<i>45</i>
<i>Figure 3.3. La courbe granulométrique du sable recyclé issu des gravats concassés .....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 3.4. La courbe granulométrique des graviers issus du concassage.....</i>	<i>48</i>

## **RESUME**

La présente étude porte sur l'étude du béton confectionné à partir des gravats issus de la démolition d'une maison d'habitation à Goma. L'étude bibliographique s'est articulée autour des généralités sur le béton notamment ses constituants, ses caractéristiques, sa typologie, ses méthodes de formulation, ses différentes pathologies, ses domaines d'utilisation ; et au tour principes d'optimisation. L'étude expérimentale quant à elle a porté sur la caractérisation des différents constituants entrant dans la formulation des bétons d'étude, la formulation des bétons d'étude par la méthode de Dreux-Gorisse et la caractérisation des bétons d'étude confectionnés. Les bétons d'étude ont été confectionnés suivant la méthode de Dreux Goriss dont les variables de bases ont été pour nous les gravats issus de démolition d'une maison d'habitation dans la ville de GOMA. Le résultat de l'ouvrabilité a été de 7,5cm. La résistance moyenne à la compression à 28 jours d'âge est de 9,14Mpa.

## SOMMAIRES

DEDICACES.....	3
REMERCIEMENTS .....	4
SIGLES ET ABREVIATIONS .....	5
LISTE DES TABLEAUX .....	6
LISTE DES FIGURES .....	7
RESUME.....	8
INTRODUCTION GENERALE.....	11
CHAPITRE 1 : ETAT DE L'ART .....	12
I.1. GENERALITES SUR LE BETON.....	12
I.1.1. LES CONSTITUANTS DUBETON .....	12
I.1.2. CARACTERISTIQUES DU BETON.....	19
I.1.2.2. CARACTERISTIQUES DU BETON DURCI .....	21
I.1.3. LES TYPES DE BETON.....	23
I.1.4. METHODES DE FORMULATION DU BETON.....	24
I.1.5. PATHOLOGIE DES BETONS .....	25
I.1.6. DOMAINES D'UTILISATION DU BETON .....	26
I.2. PRINCIPES D'OPTIMISATION DES PROPRIETES DES BETONS .....	26
CONCLUSIONPARTIELLE .....	26
CHAPITRE II : MATERIAUX ET METHODES .....	27
II.1. LA NATURE ET ORIGINE DES CONSTITUANS .....	27
II.2.2. COMPOSITION GRANULOMETRIQUE .....	27
II.2.3. LE DEGRE DE PROPETE DU SABLE.....	30
II.2.4. ESSAI DE MASSE VOLUMIQUE .....	32
II.2.5. LA TENEUR EN EAU DES GRANULAT .....	34
II.3.2. OBJECTIF DE LA METHODE .....	35
II.3.3. DEFINITION DU CAHIER DES CHARGES .....	36
II.3.4. FORMULATIONDE DREUX-GORISSE .....	37
CHAPITRE 3 : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS .....	44
III.1. PRESENTATION DES CONSTITUANTS.....	44
III.1.1. Le sable.....	44
III.1.2. Les graviers .....	45

Les graviers utilisés sont issus du concassage des débris recueillis sur un site où on a démoli une maison représentée sur la figure 3.2. ....	45
<i>II.1.3. Le ciment</i> .....	45
Le Ciment utilisé est le ciment HIMA courant dans les constructions dans le milieu local de classe vraie de 42,5 Mpa. ....	45
III.1.4. L'eau.....	45
III.2. CARACTERISTIQUES DES CONSTITUANTS .....	45
III.2.1. Le sable.....	45
III.2.2. Les Graviers .....	47
III.3. FORMULATION DU BETON .....	49
III.3.1. Données de base pour la formulation .....	49
III.3.2. Calcul des dosages en divers éléments.....	49
III.4. CARACTERISTIQUES DU BETON D'ETUDE.....	54
III.4.1. CARACTERISTIQUE DU BETON A L'ETAT FRAIS .....	54
III.4.2. CARACTERISTIQUE DU BETON A L'ETAT DURCI.....	54
CONCLUSION GENERALE .....	56
ANNEXES .....	60

## INTRODUCTION GENERALE

Le béton est un matériau de construction qui est indispensable dans la vie de l'homme, cela s'explique par l'effet que le béton intervient dans plusieurs domaines de la vie de l'homme, dont dans l'habitat, routes. Il est une pierre artificielle obtenue grâce au durcissement d'un mélange de liant, d'eau, de granulats avec éventuellement des adjuvants choisis de façon rationnelle. Ce mélange, mis en place sur le chantier ou en usine à l'état plastique, peut adopter des formes très diverses parce qu'il est moulable ; il durcit progressivement pour former finalement un monolithe.

Les granulats utilisés dans le béton peuvent être de plusieurs origines. D'une part, ils peuvent être d'origine naturelle notamment issus du concassage et broyage des roches ou soit provenir de de la mer et d'autres part, ils peuvent provenir de la démolition des constructions. Les gravats sont des granulats issus de la démolition. Ils ont une absorption d'eau importante due au mortier qu'ils contiennent. Généralement rejetés dans la nature, en étant réputés inertes, certains gravats peuvent pourtant être polluants et significativement dégrader la qualité de l'air, de l'eau ou de certains sols (en augmentant notamment leur pH) et en modifiant le cycle de l'eau et la qualité de l'eau.

Selon des études faites en Autriche, des gravats recyclés propres (dépourvus de plâtre et d'autres sulfates et lavés) peuvent constituer jusqu'à 50 % des granulats utilisés dans les nouvelles constructions tout en obtenant des résistances de béton de 25 à 30 N/mm<sup>2</sup> [19].

Grace Muhiwa en 2016, travaillant sur le granulat recyclé a pu montrer que la forte absorption d'eau des granulats recyclés affecte significativement les propriétés rhéologiques et diminuent significativement les propriétés mécaniques et la durabilité des bétons à base des granulats recyclés de béton.

L'objectif principal du présent travail est d'étudier les caractéristiques du béton confectionné à partir des granulats issus de la démolition d'une maison. Pour y parvenir, il sera nécessaire de récolter les gravats sur un chantier de démolition, de les concasser, de les caractériser, de formuler le béton et au final de caractériser les bétons obtenus.

Outre l'introduction générale et la conclusion générale, ce travail s'articule autour de trois chapitres. Le premier présente les généralités des bétons le second chapitre présente les matériaux et méthodes expérimentales et le troisième présente les résultats ainsi que leurs interprétations.

## CHAPITRE 1 : ETAT DE L'ART

### INTRODUCTION

Le béton est un matériau de construction issu du mélange des plusieurs constituants dont éventuellement, le ciment, de l'eau, du sable, des graviers ou agrégats mais aussi des adjuvants. Le béton est parmi les matériaux des constructions les plus importants et plus utilisés dans la construction de la nouvelle génération. Dans ce chapitre nous allons parler brièvement des généralités sur le béton tout en présentant les constituants du béton, les méthodes de formulation du béton, les différents domaines d'utilisation du béton mais aussi des différents types des bétons.

#### I.1. GENERALITES SUR LE BETON

Dans cette branche comme dis tantôt sont présentés les différents constituants du béton notamment ; le ciment, le sable, le gravier dit (granulats), l'eau et les adjuvants.

##### I.1.1. LES CONSTITUANTS DUBETON

Le béton est un matériau issu du mélange des granulats (sables et graviers), du ciment, de l'eau et éventuellement des adjuvants. [1]

###### *I.1.1.1. LES GRANULATS*

Les granulats sont des matériaux minéraux grenus provenant de diverses origines. Nous présentons dans cette section les différents types de granulats, le classement des granulats ainsi que leurs caractéristiques.[3]

#### **Types de granulats**

Les granulats pour béton sont définis en fonction de deux normes : la norme NFEN 10620 et la norme XPP18-545. Les granulats utilisés pour le béton sont d'origine naturelle, artificielle ou recyclée [17]

#### **• Les granulats naturels**

Les granulats naturels, proviennent soit des carrières de roches meubles ou massives, soit des gisements alluvionnaires. Ils regorgent les granulats roulés ainsi que les granulats concassés.

- **Les granulats Alluvionnaires**

Ce sont les granulats dits roulés et dont la forme a été acquise par érosion. Ce sont surtout des dépôts alluvionnaires trouvés dans un lit de rivière (et en mer éventuellement) [1]. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, et criblés pour obtenir différentes classes de granulats.

- **Les granulats concassés**

Les granulats concassés proviennent des roches de carrière dures et compactes (granites, gneiss, basaltes, porphyres, diorites, pouzzolane, calcaires durs, grès etc.). Ils sont obtenus par abatage et concassage, suivi des opérations de criblage ou tamisage pour sélectionner des grains à une dimension précise.

Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres notamment l'origine de la roche, la régularité du banc, le degré de concassage [5]. Ce type de granulats prouve une très bonne liaison avec la pâte de ciment à cause de leur texture de surface et leur rugosité. D'autre part ils nécessitent plus d'eau pour une maniabilité donnée et ceci est due à leurs angularités et donc à leurs surfaces spécifiques étendues [5]. Les roches décomposables ou qui génèrent des granulats plats sont à éviter dans l'élaboration du béton. Les granulats concassés nécessitent un dépoussiérage pour éliminer les fines particules inférieures à 0,08mm nuisibles à la résistance des bétons.

## **ii. Les granulats artificiels et spéciaux**

Sont des granulats provenant de la transformation thermique de roches, de minerais et de sous-produits industriels transformés. Nous retrouvons les granulats de laitier, les granulats légers, les granulats spéciaux.

- **Granulats de laitier**

Le laitier de haut fourneau qui s'est refroidi lentement est proche d'une roche artificielle cristallisée. Il est ensuite traité comme les granulats concassés pour au final générer des granulats de laitier [1].

- **Granulats légers**

Les granulats légers sont généralement les argiles ainsi que les polystyrènes expansés, la vermiculite fabriquée avec certains micas et la perlite issue des laves volcaniques. Ils sont appelés granulats légers à cause de leur masse volumique inférieure à celle des granulats naturels [8] :

- **Les granulats spéciaux**

Les granulats spéciaux servent à la fabrication des bétons spéciaux tels que les bétons réfractaires (chromite, corindon, etc.) ainsi que les revêtements des sols des bâtiments industriels (limonite, magnétite, fonte en paillettes, corindon, hématite, etc.).

### **iii. Les granulats recyclés**

Les granulats recyclés qui font l'objet de notre étude, sont des granulats résultant de la transformation des matériaux inorganiques antérieurement utilisés en construction. Dans cette catégorie se rangent des granulats, comme le béton concassé, le fraisât d'enrobés bitumineux... Les granulats recyclés de bétons ont formé du granulat d'origine et de mortier attaché à celui-ci. Ceux-ci doivent donc être considérés comme un système composé de deux phases distinctes : le mortier et le granulat d'origine. La teneur en mortier résiduel attaché au granulat d'origine a un grand impact sur les propriétés du granulat recyclé de béton. La teneur en mortier résiduel du granulat est une des caractéristiques importantes permettant d'évaluer la qualité d'un granulat recyclé de béton[6]

Une des conséquences de la présence du mortier résiduel est la formation d'une zone de transition entre le granulat original et le mortier résiduel en plus de la zone de transition se formant entre le granulat recyclé et la nouvelle pâte de ciment.

- **Classement des granulats**

Il existe cinq classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes  $d$ (plus petite dimension) et  $D$ (plus grande dimension) des granulats rencontrés[6]

- Les fines :  $0/D$  avec  $D \leq 0,08\text{mm}$
- Les sables :  $0/D$  avec  $D \leq 6,3\text{mm}$
- Les gravillons :  $d/D$  avec  $d \geq 2\text{mm}$  et  $D \leq 31,5\text{mm}$

- Les cailloux d/D avec  $d \geq 20\text{mm}$  et  $D \leq 80\text{mm}$
- Les graves 0/D avec 6,3mm

#### - **Caractéristiques des granulats**

Dans notre travail nous avons groupés les caractéristiques en trois catégories qui sont entre autre : les caractéristiques géométriques, physiques et mécaniques.

#### **i. Caractéristiques géométriques des granulats**

Les granulats se présentent sous différentes formes dont : les formes sphériques, cubiques, nodulaires, plates ou allongées. Ces caractéristiques, ainsi que l'état de surface des grains influent sur l'aptitude à la mise en place du béton frais, la résistance mécanique et durabilité du béton durci. Les caractéristiques géométriques des granulats sont entre autres la forme, le coefficient d'aplatissement et l'angularité[5]

#### **- La forme**

Une bonne forme des granulats est essentielle pour éviter des chutes de résistance des bétons par suite du risque d'apparition de plans de glissements potentiels. La forme d'un élément granulométrique est définie par ses trois caractéristiques dimensionnelles principales : l'épaisseur(E), la grosseur(G) et la longueur(L). Pour différents usages, il est conseillé d'utiliser des granulats les plus isotropes possibles[5].

#### **- Le coefficient d'aplatissement :**

Il caractérise la forme des granulats dont la dimension est comprise entre 4 et 80 mm à partir de la grosseur (G) et l'épaisseur (E), et par définition le pourcentage d'élément tel que  $G/E > 1,58$  [25]. Le coefficient d'aplatissement est déterminé selon la Norme NFEN933-3[18]. Un gravillon de forme défavorable (plate ou allongée) présente un coefficient d'aplatissement élevé (20à40%). Un gravillon de forme favorable (sphérique, cubique, nodulaire) présente un coefficient d'aplatissement généralement compris entre 5 et 20%.

#### **- L'Angularité :**

L'angularité des granulats est conventionnellement estimée par les valeurs des indices et des rapports de concassage. Mais elle peut être mesurée aussi par le temps d'écoulement d'un certain volume de granulats à travers un orifice donné caractérisant ainsi un coefficient

d'écoulement des gravillons. Il en va de même pour les sables, la méthodologie étant la même, seul diffère les dimensions de l'appareillage de mesure [13].

## **ii. Caractéristiques physiques des granulats**

Dans cette partie nous allons parler de la masse volumique, la porosité, la teneur en eau, le taux d'absorption d'eau, le module de finesse, et la propreté des granulats

### **- La masse volumique**

Suivant les normes: NFP18-554,18-555, 18-558, EN1097-3, EN1097-6[17]. Nous retrouvons la masse volumique apparente qui est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de la matière solide de celui-ci, y compris les pores inter granulaires; et la masse volumique absolue qui est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de la matière solide de celui-ci (hors pores). La densité relative du granulat recyclé de béton est moins grande que celle du granulat naturel. La masse volumique plus faible du granulat recyclé de béton est causée par la présence du mortier résiduel qui a une masse volumique plus faible que celle du granulat non recyclé et diminue par conséquent la masse volumique totale du granulat recyclé de béton [6].

### **- La porosité (P) :**

La porosité est le rapport du volume des vides pouvant être remplis d'eau au volume total d'un échantillon de granulats. La mesure de la porosité se fait selon les normes "NFP18 554, EN 1097-3"(8). La présence de pores internes dans les granulats est en rapport direct avec la densité des granulats. Certains pores sont complètement à l'intérieur des granulats et d'autres débouchent à la surface [6].

### **- La teneur en eau (W%) :**

La teneur en eau est égale au rapport de la masse d'eau contenue dans l'échantillon sur la masse sèche de l'échantillon [8].

### **- Le taux d'absorption d'eau (Ab%) :**

L'absorption d'eau par définition est le quotient de la masse d'un échantillon immergé dans l'eau pendant 24 heures à 20°C et à la pression atmosphérique, par sa masse sèche. Elle est déterminée selon les normes standards "NFP18-554, 18-555, EN 1097-3, EN1097-6". Les granulats sont plus ou moins dangereux selon leur degré de saturation en eau au moment où

intervient le gel. Les études réalisées sur les granulats recyclés de béton ont relevé des valeurs d'absorption d'eau beaucoup plus grandes pour les granulats recyclés que les granulats naturels. Cette propriété est vraisemblablement la plus grande différence entre le granulat recyclé et le granulat naturel. Les valeurs d'absorption des granulats recyclés se situent généralement entre 3 et 10% alors que pour un granulat naturel celles-ci sont souvent en deçà de 1%, mais peuvent augmenter jusqu'à une valeur de 5%[5]. La capacité d'absorption d'eau des granulats recyclés dépend principalement de la taille des granulats (les granulats fins absorbent de l'eau beaucoup plus que les gros granulats), de la qualité et la quantité de la pâte cimentaire rattaché aux granulats, et de la densité des granulats[5].

**- Module de finesse (MF):**

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 exprimée en pourcentages sur une série de tamis. Le Tableau 1 présente la série des tamis employés pour la caractérisation du module de finesse selon la norme prise en compte [9].

*Tableau.1.1. : Série des tamis pour le module de finesse*

NORMES	DIMENSIONS DES TAMIS EN mm					
<b>NFP18-540</b>	0,16	0,315	0,63	1,25	2,5	5
<b>EN12620</b>	0,125	0,25	0,5	1	2	4

Un bon sable pour béton doit avoir un module finesse compris dans l'intervalle de 2,2 à 2,8. En-dessous de cette plage, le sable est à majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau lors de la confection du béton. Au-dessus de cette plage, le sable est en manque d'éléments fins et le béton y perd en ouvrabilité. Dans ces deux cas, il y a nécessité de correction du sable [9].

**- Propreté des granulats :**

La qualité des granulats utilisés dans les bétons est un facteur très important. Trois grandes catégories d'impuretés peuvent être rencontrées dans les granulats : matières organiques les argiles et les matériaux fins (issues du concassage ou du broyage des roches). Leurs présence à la surface des granulats interférant avec le processus d'hydratation du ciment et empêche la bonne adhérence granulats-liants, entraînant ainsi une chute des résistances mécaniques et des variations de propriétés rhéologiques des mélanges [9]. Le degré de propreté d'un granulat

détermine les conditions d'emploi de celui-ci. Il est obtenu par l'essai d'équivalent sable. Le granulats peut être jugé bon à employer selon l'Equivalent Sable obtenu.

**Tableau.1.2 : Tableau de la représentation de la propreté du sable.**

Valeur de Es	Conclusion
$Es \geq 80$	Bon sable
$70 < Es < 80$	A utiliser uniquement pour une condition d'employer un ciment portland
$Es < 70$	A laver pour enlever les éléments fins

### iii. Caractéristiques mécaniques des granulats

En parlant des caractéristiques mécaniques des granulats nous allons nous pencher sur la particularité entre autre la résistance à la fragmentation déterminée par l'essai Los Angeles et la résistance à l'attrition et à l'usure déterminée par l'essai Micro Deval.

#### - Résistance à la fragmentation :

La résistance à l'abrasion est déterminée par l'essai Los Angeles. Cet essai permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs des boulets et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulats. La valeur du coefficient Los-Angeles doit être  $\leq 40$  pour les granulats naturels suivant les normes "NFP18573, EN1097-2§5" et compris entre 30 et 50 selon les normes XPP18540 et ASTM-C-33 pour les granulats recyclés[9]. Lors de l'essai de résistance à la fragmentation Los Angeles, tout le mortier résiduel lié au granulats d'origine se détache de celui-ci sous l'effet de l'abrasion.

#### ***1.1.1.2. LE CIMENT***

Le choix du type de ciment et son dosage dépendent à la fois des performances recherchées (résistance mécanique, résistance aux agents agressifs, apparence) et de la nature des autres composants (granulométrie des granulats).

### **A. Types de ciments**

Les types des ciments courants sont suivant la norme NFEN197-1 et sont fonction de la teneur en clinker ainsi que d'autres constituants secondaires. Il en existe plusieurs.

## **B. Dosage en ciment**

Le dosage en ciment est dépendant de plusieurs critères tels que le type de béton, la destination de l'ouvrage, la résistance requise, les granulats utilisés. Le dosage n'est pas déterminé par un calcul théorique absolu, mais il résulte de l'application de règles dont la valeur a pu être appréciée à l'usage et vérifiée expérimentalement [9]. Le dosage en ciment a une influence directe sur la résistance mécanique du béton. Toutes autres conditions égales par ailleurs, on peut dire que dans une certaine plage, la résistance est sensiblement proportionnelle au dosage en ciment C [9].

### ***I.1.1.3. L'EAU DE GACHAGE***

Le gâchage à l'eau de mer est à éviter à cause de la salinité. La quantité d'eau varie avec un très grand nombre de facteurs (teneur en ciment, granulats, consistance recherchés du béton frais). Elle est en général comprise entre 140 et 210l/m<sup>3</sup>. Il convient de tenir compte de l'eau apportée par les granulats. Il est souvent utile de contrôler la plasticité à l'aide d'essais simples connus [9]. Le rapport E/C ( $\frac{Eau}{Ciment}$ ) est un critère important des études de béton, c'est un paramètre essentiel de l'ouvrabilité du béton et de sa qualité: résistance mécanique à la compression, durabilité. La norme NFEN1008 établit les prescriptions qui définissent l'aptitude à l'emploi l'eau [11].

### **I.1.2. CARACTERISTIQUES DU BETON**

Quand on parle des caractéristiques liées au béton notamment la sédimentation qui englobe la ségrégation et le ressuage, on ne peut pas aussi oublier de parler de l'ouvrabilité qui conditionne la mise en place mais aussi le remplissage lors du coffrage et joue sur les performances à l'état durci du béton.

## **A. Ouvrabilité du béton**

Un béton frais doit être facilement maniable et facile à mettre en place. Il doit être aussi homogène et cohésif. Pour remplir toutes ces qualités, les constituants du béton doivent être soigneusement mélangés. Il existe plusieurs facteurs qui affectent la maniabilité d'un béton parmi lesquels la méthode et la durée de transport, la quantité et les caractéristiques des composants (liants, granulats), la forme, la granulométrie et le type de granulats, le volume

d'air, le dosage en eau [10]. Il existe un très grand nombre d'appareils de mesure de l'ouvrabilité du béton, reposant sur des principes différents. Certains mesurent une compacité, d'autre un temps d'écoulement, et d'autres la hauteur d'affaissement. L'affaissement du béton se mesure généralement à l'aide d'un cône d'Abrams. Le tableau 4 reprend les domaines d'utilisation du béton en fonction de son ouvrabilité[10].

**Tableau.1.3. 1. Tableau de l'ouvrabilité du béton**

Affaissement	Tolérance	Classe selon la consistance	Domaine d'utilisation
0 à 4	±1cm	Ferme	Béton de propreté, fondation non armée, voirie,...
5 à 9	±2cm	Plastique	Semelle coffrée, mur de soutènement, planché, dallage, poutre, poteau, voile
10à15	±3cm	Très plastique	Fondation coulée en fouille, pieu, voile de faible épaisseur, paroi moulée
≥16	±3cm	Fluide	Pieu, paroi moulée

Lorsque l'affaissement est trop élevé et se trouve en dehors de la zone de tolérance, il y a risque de ségrégation[10].

La grande absorption des granulats recyclés peut affecter la maniabilité ainsi que le rapport E/C effectif des bétons incorporant ceux-ci puis que les granulats non saturés peuvent absorber l'eau du mélange lors du malaxage. Il reste donc moins d'eau libre pouvant servir à

lubrifier les composantes du béton, diminuant par le fait même son affaissement Il est, cependant, possible d'atteindre le même affaissement après un certain temps si l'on ajoute l'eau nécessaire à remplir la porosité du granulat recyclé [14].

### **I.1.2.2. CARACTERISTIQUES DU BETON DURCI**

Les caractéristiques du béton durci sont probablement la résistance à la compression, Résistance à la traction, Résistance à la flexion et la Perméabilité du béton.

#### **A. Résistance à la compression**

Le béton est très résistant à la compression mais très peu en traction. La résistance à la compression du béton dépend de la résistance du ciment, du rapport E/C, de la qualité des agrégats (granulats), du degré de compacité du mélange et des conditions de durcissement. Le compactage, la durée et les conditions du durcissement ont une influence sensible sur la résistance du béton. Un bon compactage du béton réduit les pores autant que possible.

#### **B. Résistance à la traction**

La résistance à la traction des bétons est une autre propriété importante pour évaluer la qualité des bétons. On mesure celle-ci par l'essai de résistance à la traction indirecte aussi appelée essai brésilien ou par fendage. Bien que les bétons ne soient généralement pas conçus pour résister à la traction directe, connaître la résistance à la traction permet d'estimer la charge sous laquelle la fissuration se développe. Il semble généralement que la baisse de résistance associée au remplacement du granulat naturel par un granulat recyclé dans le béton soit de 10 à 15%[11].

#### **C. Résistance à la flexion**

La résistance à la flexion est une mesure de la résistance à la déformation du béton. Celle-ci est mesurée en chargeant une poutre simple de béton aux deux tiers. Selon Chakradhra, la résistance à la flexion semble peu affectée par le taux de remplacement des granulats naturels par les granulats recyclés[17]. De moins bons résultats ont été observés pour un béton utilisant des granulats saturés par rapport aux granulats secs et aux granulats à 90% de saturation [17].

#### **D. Perméabilité du béton**

La perméabilité du béton se définit comme la capacité d'un fluide à passer à travers un solide poreux tel que le béton. Comme la perméabilité du béton détermine la facilité avec laquelle le béton peut devenir saturé avec de l'eau, la perméabilité a un impact important sur plusieurs propriétés liées à la durabilité du béton, telles que la résistance au gel/dégel et la résistance à la pénétration des ions chlorure[12].

La perméabilité à l'eau du béton augmente avec le taux de remplacement du granulat naturel par le granulat recyclé. Cette augmentation est possiblement due à l'absorption d'eau des granulats recyclés qui est beaucoup plus grande que les granulats naturels. Le remplacement du granulat naturel par un granulat recyclé ne semble pas avoir d'impact significatif pour un béton à haut rapport E/C (0,7) [1].

#### D. Domaine d'utilisation du béton

La figure 1.1 représente en synthèse, les différentes sources de granulats et leur utilisation sur le marché suivant leur typologie.

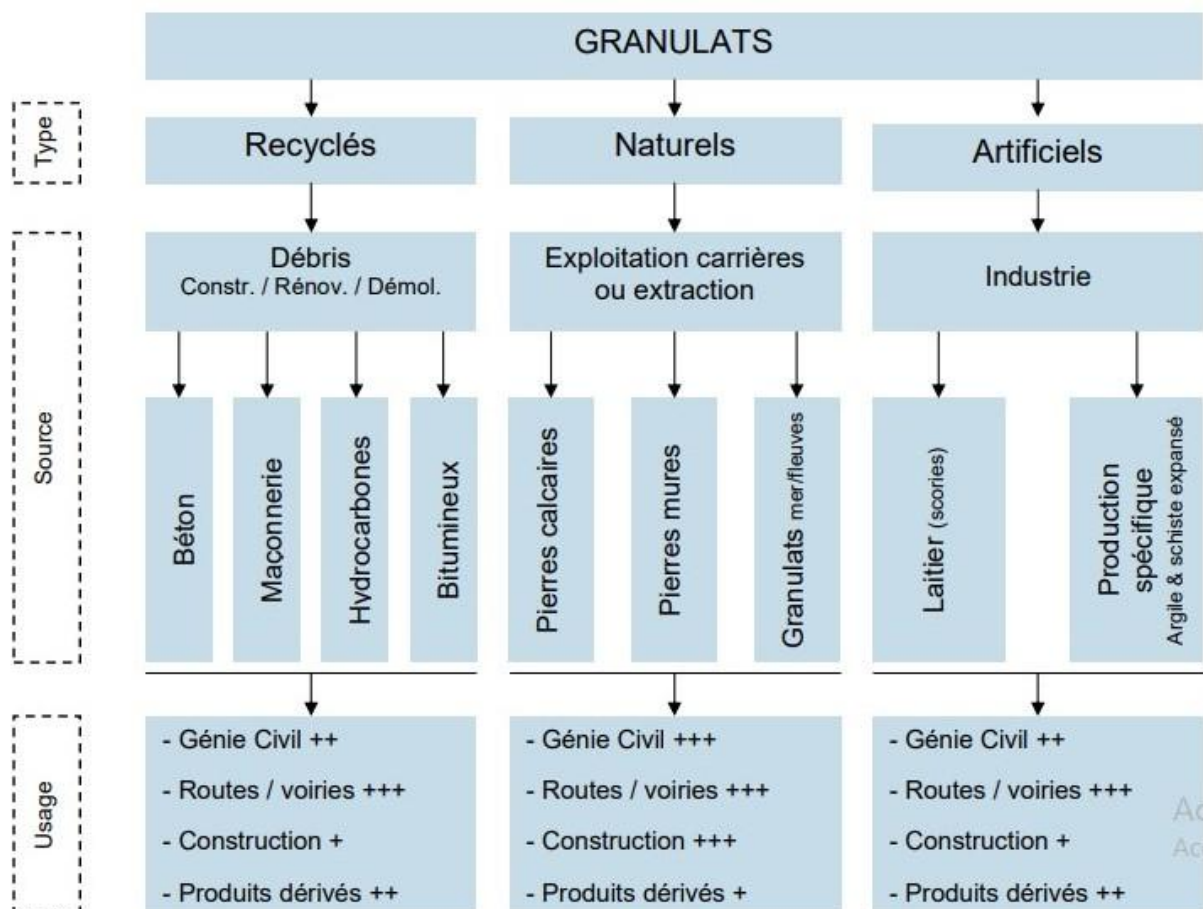


Figure.1.1. Présentation des granulats selon leurs origines

### **I.1.3. LES TYPES DE BETON**

Nous pouvons citer le béton léger, le béton lourd, le béton auto plaçant, le béton fibré, le béton décoratif, le béton haute performance, etc.

#### ***I.1.3.1. LES BETONS LEGERS***

Ce sont les bétons ayant une masse volumique de 600 à 1800kg/m<sup>3</sup>. C'est entre autre les bétons caverneux, les bétons cellulaires, les bétons des granulats légers, etc. Ils sont destinés principalement à la confection des parpaings, éléments préfabriqués, cloisons, ... Ces bétons ont l'avantage d'améliorer l'isolation thermique et phonique des constructions[1].

On distingue :

- Les bétons caverneux (sans sable)
- Les bétons cellulaires (obtenus par dégagement gazeux)
- Les bétons de granulats légers (laitier, argile et schiste expansé).

#### ***I.1.3.2. LES BETONS LOURDS***

Ce sont des bétons faits à base des granulats de densité élevée comme le plomb, la magnétite, l'hématite, etc. et ils ont une masse volumique élevée (de 3500 à 4500 kg/m<sup>3</sup>). Ils sont utilisés pour la réalisation des contre poids, et pour la protection contre les radiations[11].

#### ***I.1.3.3. LE BETON AU TOPLACANT (BAP)***

Les propriétés caractéristiques de ces bétons sont : une fluidité et une viscosité élevées sans aucune tendance de ségrégation, excellente aptitude au remplissage des moindres recoins du coffrage, même en présence de réservations, d'incorporés et de ferrailage dense. Le fastidieux travail de vibration est ainsi supprimé.

#### ***I.1.3.4. LE BETON FIBRE***

Le béton fibré est un béton dans lequel sont incorporés des fibres synthétiques ou métalliques de dimensions diverses et réparties de manière homogène dans la masse du béton. Comme pour le béton armé, les fibres renforcent le béton.

#### ***I.1.3.5. LE BETON DECORATIF***

En plus de répondre à des nombreux besoins dans le monde de la construction, le béton est un matériau également devenu très tendance en matière de décoration. Pour l'intérieur ou l'extérieur,

### ***1.1.3.6. LES BETONS HAUTES PERFORMANCES (BHP)***

Les bétons hautes performances(BHP), apparus dans les années1980, sont dits hautes performances car ils possèdent des meilleures caractéristiques que les bétons ordinaires telles que: une meilleure résistance à la compression(allantde50 à 100MPa), ce qui permet une réduction des quantités de béton nécessaires; une grande fluidité (due aux super plastifiants) ce qui permet une meilleure mise en œuvre, un meilleur pompage, et pas nécessité de vibrer le béton pour obtenir une surface lisse; des besoins en eau plus faibles; porosité très faible, entraînant une résistance accrue vis-à-vis des agressions extérieures; sa durabilité permet non seulement son utilisation dans les environnements hostiles, mais aussi de limiter l'entretien et les frais de maintenance [1].

### ***1.1.3.7. LE BETON RECYCLE***

Le béton recyclé est un béton fait à base des granulats recyclés. Ceux-ci ont diverses origines et possèdent des propriétés différentes de celles des granulats naturels. Plusieurs propriétés du béton sont de ce fait aussi affectées par le remplacement du granulat naturel par un granulat recyclé.

## **1.1.4. METHODES DE FORMULATION DU BETON**

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose, ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de la partie de l'ouvrage en cause. Il y en a plusieurs et toutes aboutissent à des dosages volumétriques ou de préférences pondéraux, le passage de l'un à l'autre est possible ce pourquoi dans notre travail nous allons travailler avec la méthode des abaques de dreux-goriss.

### ***1.1.4.1. METHODE DES ABAQUES DE DREUX***

Les abaques de Dreux permettent une approche pratique d'une composition de béton répondant à des objectifs déterminés moyennant quelques hypothèses facilitant la démarche. Il est bien évident qu'une fois cette composition déterminée, elle devra, être soumise à l'expérimentation afin d'affiner les dosages indiqués. En général, les données telles que la résistance à la compression du béton comprise entre 20 et 40MPa à 28jours ainsi que la maniabilité sont déterminées par le cahier des charges du projet, les conditions du chantier ou la disponibilité des matériaux [14].

### **I.1.5. PATHOLOGIE DES BETONS**

Comme tout matériau de construction, le béton présente des défauts lors de sa mise en place, de son durcissement et après celui-ci. Ces pathologies sont dues soit à une mauvaise formulation, soit à l'environnement, soit à une mauvaise mise en place, etc. [18].

#### ***I.1.5.1. LE RESSUAGE ET LA SEGREGATION***

Ce sont des phénomènes qui se manifestent avant la prise par l'apparition d'une pellicule d'eau à la surface du béton frais fraîchement mis en place. Ils sont dus au tassement progressif du squelette granulaire sous l'effet de la pesanteur. Dans les cas extrêmes, il y a création des fissures ouvertes au droit des obstacles qui s'opposent aux mouvements de tassement du béton[13].

#### ***I.1.5.2. LERETRAIT***

Le retrait est une mesure du changement volumétrique du béton. Le béton se dilate avec l'accroissement de la teneur en eau et se contracte avec la perte d'humidité. La contraction normalement observée lors du séchage est appelée retrait de séchage. Ce changement de volume peut causer de la fissuration. C'est un aspect important de la durabilité du béton[8].

Le retrait de séchage augmente avec le taux de remplacement du granulat naturel par un granulat recyclé. L'effet de mettre le béton dans un milieu humide éradique totalement cette pathologie et tous les problèmes qui en découlent.

#### ***I.1.5.3. LE FLUAGE***

Lorsqu'une charge est appliquée sur le béton, il se déforme lentement. Lors que les contraintes engendrées par la charge deviennent excessives, le béton se fissure. Cette déformation lente due à une charge est appelée fluage[10].

#### ***I.1.5.4. LA CARBONATATION***

Le portland ite du ciment réagit petit à petit avec le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) de l'air, causant ainsi un certain retrait. Cette réaction réduit le pH du béton de 13 à 9 et rend le béton plus susceptible à des phénomènes comme la corrosion de barres d'armature[10].

Il est donc pertinent de considérer la carbonatation lorsqu'on évalue la durabilité d'un béton. Il faut penser à utiliser des bétons peu poreux et composés de ciment ayant un minimum de portland ite pour réduire la réaction avec le CO<sub>2</sub>.

#### ***I.1.5.5. LA PERMEABILITE AUX IONS CHLORURES***

La résistance à la pénétration des ions chlore est une propriété importante du béton en ce qui a trait à la durabilité. En effet, la présence d'ions chlore dans le béton peut causer la dépassivation des barres d'armature.

#### **I.1.6. DOMAINES D'UTILISATION DU BETON**

Le béton, qu'il soit armé ou non, est présent partout où l'on construit, et il doit cette présence à ses nombreuses qualités notamment sa durabilité et à ses caractéristiques qui lui permettent de répondre aux multiples exigences imposées aux structures :

La sécurité, la stabilité statique et dynamique, la tenue au feu, l'étanchéité, l'isolation thermique, acoustique et l'esthétique. A toutes ces exigences, le béton peut apporter une réponse en jouant sur sa composition et sur la conception de ses éléments (20). Grâce à la possibilité de lui imposer toute forme, le béton est utilisé dans tous les domaines de la vie pratique.

#### **I.2. PRINCIPES D'OPTIMISATION DES PROPRIETES DES BETONS**

Les propriétés des bétons tels que décrits aux paragraphes précédents peuvent être améliorés ou optimisés afin de produire des bétons plus performants et innovants. Trois principes permettent d'améliorer les performances des bétons: optimiser le squelette granulaire du béton, diminuer la porosité du matériau béton, et améliorer la séquence de malaxage et de mise en place du béton[1].

#### **CONCLUSIONPARTIELLE**

Dans ce chapitre nous avons parlé du béton notamment ses constituants, son domaine d'application et ses pathologies. Nous avons eu à parler du principe d'optimisation du béton qui est aussi une propriété capitale dans la formulation du béton d'étude et qui nous parle des principes pour améliorer les performances d'un béton.

## CHAPITRE II : MATERIAUX ET METHODES

### INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons parler de la nature et l'origine des constituants du béton, la détermination de certaines caractéristiques des constituants par une série d'essais faites au laboratoire.

#### II.1. LA NATURE ET ORIGINE DES CONSTITUANTS

La nature et l'origine des constituants du béton sont des plusieurs origines, alors dans cette partie nous allons spécifier l'origine du ciment, de granulats utilisés dans la formulation du béton qui fait l'objet de notre travail.

Le ciment employé dans cette étude, nous avons pris le ciment HIMA présent sur le marché dans la ville de GOMA. L'eau de gâchage a été recueillie au robinet et les granulats utilisés sont généralement des débris d'une vieille maison en béton armé démolit dans le quartier HIMBI, ramassés, concassés d'une manière artisanale sans rien augmenté, tamisés pour la séparation des gros et petits granulats dont le sable passé sous le tamis 6,3mm et les graviers se trouvant dans l'intervalle de [6,3 ; 50mm]. [4]

#### II.2.2. COMPOSITION GRANULOMETRIQUE

Elle consiste à déterminer par un essai d'analyse granulométrique, effectué selon la norme NF EN 933-1 par la voie sèche. L'échantillon étant probablement séché à l'étuve sous une température de  $(105 \pm 5^\circ\text{C})$ , est tamisé sous une série de tamis. Voici le but, le principe d'essai, le mode opératoire, les matériels utilisés ainsi que l'interprétation des résultats. [1]

##### II.2.2.1. But de l'essai

Le but de l'analyse granulométrique est de déterminer la dimension des grains, la répartition pondérale des granulats selon les différentes classes des grains par tamisage et d'en déduire le module de finesse [4]. Il permet aussi d'avoir le  $D_{\max}$ , qui est un paramètre très important dans la formulation du béton par la méthode de Dreux-Gorisse.

##### II.2.2.2. Principe de l'essai

L'essai consiste à placer des tamis en série, emboîter les uns sur les autres en ordre croissant selon les ouvertures des tamis, de haut vers le bas. L'échantillon à étudier est placé en partie supérieure et soumis à une vibration répétitive des tamis.

### ***II.1.2.3. Matériels utilisé***

Pour l'essai granulométrique les matériels à utilisés sont probablement : Une balance pouvant avoir une portée au moins de 5Kg pour peser l'échantillon, Une tamiseuse, une suite des tamis conforme à la norme NF EN 933-2, un couvercle et un réceptacle de fond, ainsi des récipients pour contenir l'échantillon.

### ***II.2.2.4. Mode opératoire***

Le mode opératoire pour cet essai est le suivant :

- Monter la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de l'ouverture des mailles en ajoutant le couvercle et le fond ;
- Verser le matériau sec dans la colonne de tamis ;
- Ajuster mécaniquement cette colonne de tamis ;
- Reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture, en adaptant un fond et un couvercle ;
- Agiter manuellement chaque tamis jusqu'à ce que le refus des tamis ne varie plus ;
- Verser le tamisât recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur ;
- Déterminer ainsi la masse du refus de chaque tamis ;
- Répéter l'opération jusqu'à ce que tu détermine la somme des refus se trouvant dans la colonne.

### ***II.2.2.5. Expression des résultats***

Après avoir eu à déterminer la masse totale des refus, rapportée à la masse initiale de l'échantillon, déterminés en pourcentage, ces pourcentages vont ensuite servir pour le traçage de la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée les pourcentages et en abscisse les refus des mailles.

Le module de finesse d'un granulat est égal au  $1/100^e$  de la somme des refus, exprimés en pourcentages sur les différents tamis de la série suivante pour le sable : 0.16- 1.315 – 0.63 – 1.25 – 2.5 et 5mm[4].

Selon la décision de la formule ;

$$M_f = \frac{1}{100} \sum Refus(\%). \quad (2.1)$$

Cette formule nous permet de trouver les caractéristiques d'un bon sable dont le module de finesse devra se trouver dans l'intervalle (2,2 ; 2,8). Au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fin, et a besoin d'une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité. [1]

Dans les deux cas, le sable nécessite une correction.

### A. Module de finesse

La correction du module de finesse est exprimée dans la relation ci-dessous.

$$S1 = \frac{Mf - Mf2}{Mf1 - Mf2} \text{ et } S2 = \frac{Mf1 - Mf}{Mf1 - Mf2} \quad (2.2)$$

Où:

- S1: pourcentage du sable grossier
- S2: pourcentage du sable fin
- Mf: module de finesse recherché
- Mf1: module de finesse du sable grossier
- Mf2: module de finesse du sable fin

### B. Coefficient d'uniformité(Cu)

Le coefficient d'uniformité **Cu** appelé encore coefficient de Hazen, est calculé par la relation ci-dessous qui a permis d'exprimer l'étalement de la courbure granulométrique.

$$Cu = \frac{D60}{D10} \quad (2.3)$$

Avec:

- **D60** le diamètre effectif correspondant à l'ordonnée **60%**
- **D10** le diamètre effectif correspondant à **10%**.

Quand **Cu** est inférieur ou égal à **2**, la granulométrie est dite serrée, dans le cas contraire elle est dite étalée.

### C. Coefficient de courbure(Cz)

Le coefficient de courbure est déterminé par la relation ci-dessous, il a permis de décrire la forme de la courbe granulométrique entre les diamètres **D10** et **D60**.

$$Cz = \frac{D30^2}{D10 \times D60} \quad (2.4)$$

Avec:

- **D30** le diamètre effectif correspondant à 30%,
- **D60** le diamètre effectif correspondant à l'ordonnée 60% et
- **D10** le diamètre effectif correspondant à 10%.

Lorsque la valeur du coefficient de courbure se situe entre 1 et 3 et que le coefficient d'uniformité est supérieur à 4 pour le gravier et à 6 pour le sable, la courbe granulométrique descend d'une façon assez régulière, indiquant ainsi la présence d'une grande variété de diamètres. Dans un tel cas, on dit que la granulométrie est bien graduée. Lorsque la valeur du coefficient de courbure dépasse 3, la courbe granulométrique commence à prendre la forme d'un creux orienté vers le bas; plus la valeur augmente, plus le creux s'accroît. Si cette valeur est inférieure à 1, le creux de la courbure s'oriente plutôt vers le haut. Un coefficient de courbure trop grand ou trop petit indique l'absence de certains diamètres entre les diamètres effectifs **D10** et **D60**: la granulométrie est alors mal graduée.

### II.2.3. LE DEGRE DE PROPETE DU SABLE

Le degré de propreté du sable est déterminé par l'essai d'équivalent de sable selon la norme NF P 18-598. Dans cette section nous allons parler brièvement du but de l'essai, le principe de l'essai, le mode opératoire, matériel et l'interprétation du résultat.

#### II.2.3.1. But de l'essai

L'essai de l'équivalent de sable vise à vérifier le degré de propreté du sable entrant dans la composition du béton.

### II.2.3.2. Principe de l'essai

L'essai consiste à verser dans l'éprouvette gradué et contenant de la solution lavant, une quantité de l'échantillon puis agiter pour séparer de l'argile et le sable propre. L'équivalent de sable s'obtient par la formule suivante :

$$ES = \frac{h1}{h2} \times 100 \quad (2.5)$$

Avec :

- ES : Equivalent du sable ;
- H1 : hauteur du sable propre uniquement en (cm) ;
- H2 : hauteur du sable propre + la hauteur de l'argile ou éléments fins en (cm).

### II.2.3.2. Matériels utilisés

Conformément à la norme NF P 18-598, les matériels utilisés pour cet essai sont les suivant :

- Les éprouvettes en plexiglass ayant deux traits chacun et leurs bouchons.
- L'Entonnoir pour l'introduction du sable ;
- La Bombonne de 5l avec bouchon et siphon ;
- Le tube laveur métallique plongeant ;
- L'Agitateur électrique faisant 90 tours aller retours normalisés;
- La Règle métallique pour lire la hauteur des sables ;
- Le piston taré à masse coulissante de 1kg pour la mesure des hauteurs.

### II.2.3.3. Mode opératoire

Le mode opératoire fait intervenir les étapes suivantes :

- Préparation de l'échantillon ;
- Faire la mise au point de l'appareil ;
- Remplissage de deux éprouvettes d'une solution lavant jusqu'au premier trait de repère ;
- Verser une quantité nécessaire de l'échantillon pour l'essai ;
- Elimination des bulles d'airs, laissé reposer pendant 10min ;
- Boucher les éprouvettes et agiter (mouvement rectiligne et sinusoïdal horizontal de 20cm d'amplitude : 90 aller retours en 30sec) ;
- Laver et remplir les éprouvettes de la solution lavant jusqu'au deuxième trait ;

- Laisser reposer pendant 20min ;
- Descendre lentement le piston taré jusqu'à l'immobiliser au contact du sable ;
- Mesurer éventuellement h1 et H2, qui sont respectivement la hauteur du sable propre et la hauteur du sable propre + éléments fins.

#### **II.2.3.4. Expression des résultats**

En effet, le résultat de ce dernier étant exprimé en pourcentage suivant la formule, grâce aux résultats nous pouvons déterminer la nature du sable tel que le tableau ci-dessous le reprend.

#### **II.2.4. ESSAI DE MASSE VOLUMIQUE**

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. On distingue la masse volumique apparente et la masse volumique absolue. Elles sont déterminées suivant les normes NFP18-554, NFP18-555 et NFP18-558 (18).

##### **II.2.4.1. MASSES VOLUMIQUES APPARENTES**

La masse volumique apparente se calcule à l'aide de la relation ci-dessous.

$$\rho' = \frac{M}{V} \quad (2.6)$$

Avec :

- $\rho'$  : la masse volumique apparente en (g/cm<sup>3</sup>)
- $M$  : la masse sèche du matériau en (g)
- $V$  : le volume du récipient en ml

#### **A. But de l'essai**

Le but poursuivi par cet essai est bien entendu celui de parvenir à déterminer la masse volumique apparente des granulats.

#### **B. Principe de l'essai**

L'essai consiste au remplissage d'un récipient vide de volume  $V$  du matériau sec non tassé pesé, suivi de la déduction de la masse volumique apparente.

Mode opératoire

La détermination de la masse volumique apparente se fait comme suit:

- Peser un récipient vide de masse M1 et de volume connu V;
- Verser à l'intérieur le matériau par couches successives en le répartissant sur toute la surface et sans tassement;
- A raser avec soin à l'aide d'une réglette plate;
- Peser le récipient rempli pour obtenir la masse M2.
- Effectuer au moins trois mesures pour faire une moyenne

### C. Expression des résultats

Le résultat est obtenu par la relation (2.7).

$$\rho_{app} = \frac{M2 - M1}{V} \quad (2.7)$$

#### II.2.4.2. Masse volumique absolue

C'est la masse de l'unité de volume absolu du corps, c'est-à-dire de la matière qui constitue le corps sans tenir compte du volume des vides.

##### A. But de l'essai

Le but poursuivi par cet essai est de parvenir à déterminer la masse volumique absolue des granulats

##### B. Principe de l'essai

Le volume absolu d'une masse connue de matériaux est mesuré par déplacement d'un volume de liquide. L'eau est le plus souvent utilisée mais pour le ciment on utilise le liquide qui n'entre pas en solution avec l'eau dont du pétrole.

##### C. Mode opératoire

En fonction de la précision recherchée et de la nature du granulat, trois démarches sont applicables: la méthode dite de l'éprouvette, la méthode au pycnomètre et la méthode par pesée hydrostatique.

La marche à suivre pour la méthode de l'éprouvette est:

- Mettre dans une éprouvette graduée un volume d'eau:  $V_1$ ;
- Peser une masse sèche de l'échantillon :  $M$ ;
- Verser l'échantillon dans l'éprouvette remplie d'eau, éliminer aussi bien que possible les bulles d'air;
- Relever le nouveau volume:  $V_2$ ;
- Répéter 3 fois l'essai et calculer la moyenne.

#### **D. Expression des résultats**

La masse volumique déterminée par la méthode de l'éprouvette est donnée par la relation

$$\rho_{\text{abs}} = \frac{M}{V_2 - V_1} \quad (2.8)$$

Avec:

- Abs: la masse volumique absolue en  $\text{g/cm}^3$   $\rho$
- $M$  : la masse de l'échantillon
- $V_1$  : le volume initial de l'éprouvette
- $V_2$  : le volume final de l'éprouvette

### **II.2.5. LA TENEUR EN EAU DES GRANULAT**

La teneur en eau d'un matériau est le rapport de la masse d'eau obtenue dans ce matériau sur la masse du sol sec. Elle se note [3]:

#### **A. But de l'essai**

Le but poursuivi par cet essai est de parvenir à déterminer la quantité d'eau contenue dans un échantillon par rapport à l'état sèche de l'échantillon, pour avoir l'idée sur la quantité d'eau en entrant dans la confection.

#### **B. Principe de l'essai**

L'échantillon sec et pesé ( $M_1$ ) doit être trempé dans l'eau pendant 24h pour déterminer son degré d'absorption puis pesé encore pour déterminer la seconde masse ( $M_2$ ).

### C. Expression des résultats

La teneur en eau est déterminée par la relation ci-dessous.

$$W = \frac{m_h - m_d}{m_d} \times 100\% \quad (2.9)$$

Avec :

- $W$  : la teneur en eau ;
- $M_h$  : masse humide de l'échantillon en (g) ;
- $M_d$  : masse sec de l'échantillon en (g).

### II.3. FORMULATION DU BETON

La formulation d'un béton est une succession des étapes à suivre pour déterminer d'une manière rationnelle les proportions optimales en sable, en ciment, en gravier et en eau entrant dans la composition du béton.

Il en existe plusieurs méthodes des formulations, mais nous nous sommes choisis la méthode DREUX-GORISSE, pour sa facilité et pour nous permettre de comprendre en détail l'importance de notre travail.

#### II.3.1. LA METHODE DE DREUX-GORISSE

La méthode de DREUX-GORISSE est une méthode pratique de composition de béton qui a pour seul but de permettre de définir de façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié, mais que seules quelques gâchées d'essai et la confection d'éprouvettes permettront d'ajouter au mieux la composition à adopter définitivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux effectivement utilisés [1].

#### II.3.2. OBJECTIF DE LA METHODE

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 kg/m<sup>3</sup>) [3]

### II.3.3. DEFINITION DU CAHIER DES CHARGES

Il s'agit de définir, en fonction du type d'ouvrage à réaliser, les paramètres nécessaires à la mise en œuvre du béton et à la stabilité à court et long terme de l'ouvrage. Les paramètres principaux devant être définis sont: la maniabilité et la résistance du béton, la nature du ciment et le type de granulats[1].

#### II.3.3.1. Critère de maniabilité

La maniabilité est caractérisée, entre autre, par la valeur de l'affaissement au cône d'Abram (Aff.). Elle est choisie en fonction du type d'ouvrage à réaliser, du mode de réalisation et des moyens de vibration disponibles sur chantier. L'image 4 au chapitre premier illustre les domaines d'utilisation du béton en fonction des intervalles d'affaissement.

#### II.3.3.2. Critère de résistance

Le béton doit être formulé pour qu'à 28 jours sa résistance moyenne en compression atteigne la valeur caractéristique  $\sigma'_{28}$ . Cette valeur doit, par mesure de sécurité, être supérieure de 15% à la résistance minimale en compression  $f_{c28}$  nécessaire à la stabilité de l'ouvrage  $\sigma'_{28} = 1,15 \times f_{c28}$  [11].

#### II.3.3.3. Choix du ciment:

Le choix du type de ciment est fonction de la valeur de sa classe vraie  $\sigma'$  et des critères de mise en œuvre (vitesse de prise et de durcissement, chaleur d'hydratation, etc...). La classe vraie du ciment est la résistance moyenne en compression obtenue à 28 jours sur des éprouvettes de mortier normalisé. Le cimentier garantit une valeur minimale atteinte par au moins 95% des échantillons (dénomination normalisée spécifiée sur le sac de ciment). La correspondance entre classe vraie du liant et valeur minimale garantie par le fabricant est donnée dans le tableau.2.1.

*Tableau.2.1. La correspondance entre classe vraie du liant et valeur minimale garantie par le fabricant*

<b>Dénomination normalisée</b>	32,5MP	42,5MPa	52,5MPa
<b>Classe vraie <math>\sigma'</math>c</b>	35 à 45MPa	45 à 55MPa	>55MPa

### II.3.4. FORMULATION DE DREUX-GORISSE

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

- Détermination du rapport C/E
- Détermination du mélange optimal à minimum de vides
- Détermination de la compacité du béton
- Détermination des masses de granulats

#### II.3.4.1. Détermination du rapport C/E.

Pour cela il suffit de positionner sur l'abaque les valeurs de C/E et de l'affaissement au cône recherchées. Le point ainsi obtenu doit être ramené parallèlement aux courbes de l'abaque pour déterminer la valeur optimale de COPT.

#### I.3.4.2. Evaluation de la quantité sur de ciment C et la quantité en eau E

En fonction de la résistance moyenne désirée  $f_c$ , on va commencer par évaluer approximativement le rapport C/E. ce rapport qui est déterminé grâce à la relation (2.10).

$$f_c = GF_{CE} (C/E - 0,5) \quad (2.10)$$

Avec :

- $f_c$  résistance souhaitée en compression (à 28 jours) en MPa ;
- $f_{CE}$  classe vraie du ciment en MPa ;
- C dosage en ciment ( $Kg/m^3$ ) ;
- E dosage en eau totale sur matériaux secs (en litre pour  $1m^3$ ) ;
- G coefficient granulaire.

**Tableau 2. 1. Valeurs approximatives du coefficient granulaire G**

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

Le dosage en ciment est ainsi dépendant du rapport C/E mais aussi du dosage en eau E nécessaire pour une ouvrabilité satisfaisante. L'abaque de la figure 2.1 permet d'évaluer approximativement C en fonction de C/E et de l'ouvrabilité qui doit être considérée comme une donnée du problème.

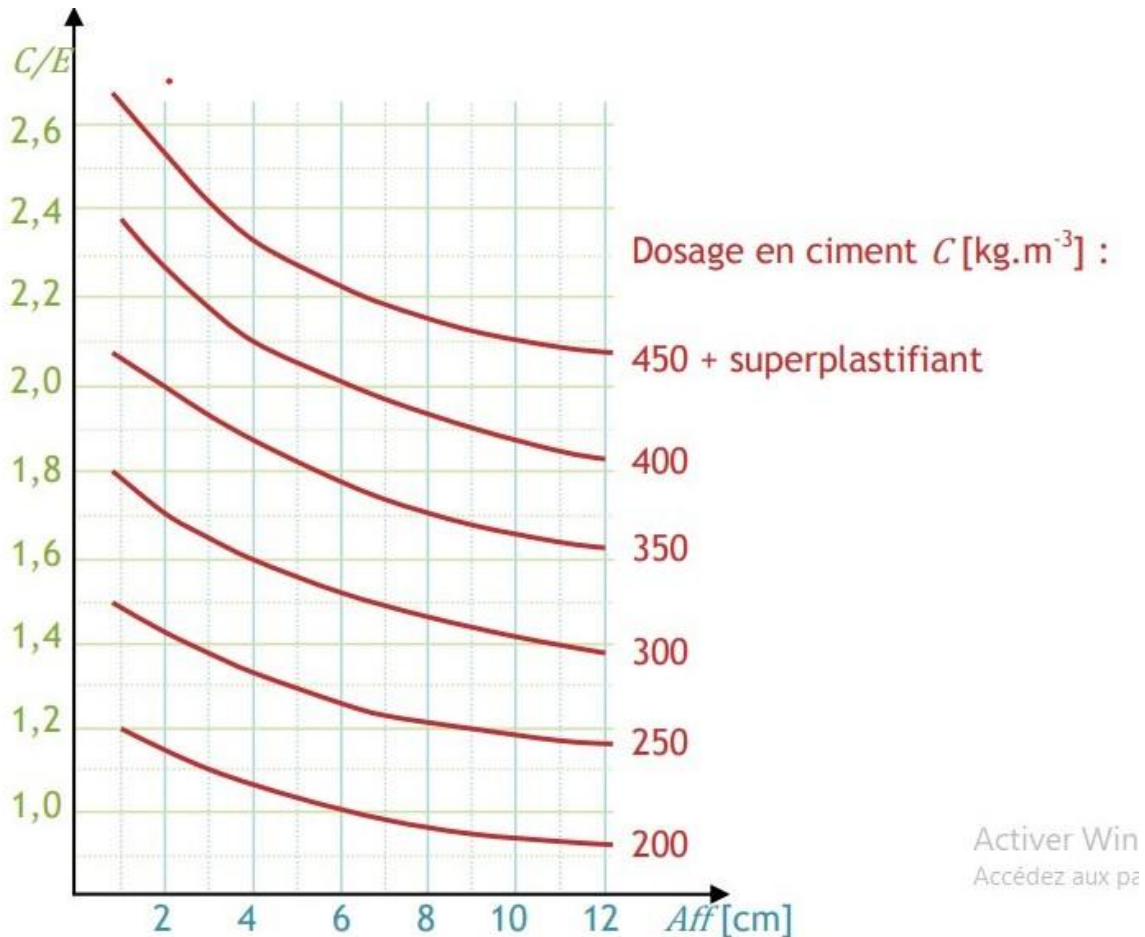


Figure.2.1. La figure qui reprend le dosage en ciment et la détermination du rapport C/E

Après qu'on ait fait le choix du dosage en ciment C, on déduit alors le dosage approximatif en eau totale à prévoir et que l'on pourra ajouter ultérieurement par quelques essais de plasticité et d'ouvrabilité.

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 2.3. Cette quantité est ensuite corrigée en fonction de la taille des plus gros granulats  $D_{max}$  à l'aide du tableau figure 2.3. Afin de prendre en compte l'influence de la surface spécifique des granulats[4].

**Tableau2. 2. Tableau qui reprend en compte l'influence de la surface spécifique granulaire**

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

#### **II.3.4.3. Tracé de la courbe granulaire de référence**

Sur le graphique d'analyse granulométrique type AFNOR (Linéaire en module de logarithmique en dimension des granulats), le tracé de la courbe granulométrique de référence consiste à tracer la courbe O A B d'où le point O correspond à l'origine ; le point B correspond (à l'ordonnée 100%) correspond à la dimension D du plus gros granulat de la brisure. A, a des coordonnées définies en abscisse ( $X_A$ ) à partir de la dimension D, et en ordonnée par  $Y_A$  (en %).

Pour  $D \leq 20\text{mm}$   $X_A$  est  $D/2$  et pour un  $D > 20\text{mm}$   $X_A$  est situé au milieu du segment gravier limité par le module 38 (5mm) et le module correspondant à D.  $Y_A$  est déterminé par la relation (2.7) [8].

$$Y_A = 50 - \sqrt{1,25D + K + K_S} \quad (2.11)$$

Avec :

- K le terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de la puissance de vibration, de la forme des granulats roulés ou concassés ;
- $K_s$  correction supplémentaire dépendant du module de finesse du sable obtenu par la relation (2.12).

$$K_s = 6M_f - 15 \quad (2.12)$$

( $M_f$  étant le module de finesse du sable).

Si la qualité du béton est précisée pompable, il convient de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par rapport à un béton de qualité courante ; le terme correcteur K sera majoré par un terme  $K_P = +5$  à  $+10$  environ, selon le degré de plasticité, comme repris dans le tableau ci-dessous. [8].

**tableau2. 3. Reprend la Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats**

<b>Vibration</b>	<b>Faible</b>	<b>Faible</b>	<b>Normale</b>	<b>Normale</b>	<b>Puissante</b>	<b>Puissante</b>
<b>Forme des granulats</b>	<b>Roulé</b>	<b>Concassé</b>	<b>Roulé</b>	<b>Concassé</b>	<b>Roulé</b>	<b>Concassé</b>
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

**a. Estimation du coefficient de compacité**

Le coefficient de compacité  $\gamma_c$  est le rapport à un mètre cube du volume absolu des matières solides (ciment et granulat) réellement contenues dans un mètre cube de béton frais en œuvre[8].. Le tableau 2.5 reprend les différentes valeurs du coefficient de compacité fonction de la plasticité, du diamètre maximal et du type de vibration.

**Tableau2. 4. Valeurs des coefficients des compacités en fonction de la plasticité, diamètre maximal du type de vibration**

Consistance	Serrage	$\gamma$ coefficient de compacité						
		D=5	D=10	D=2,5	D=20	D=31,5	D=50	D=80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,80	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	0,730	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	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apport les corrections suivantes :

- Sable roulé et gravier concassé = -0,01
- Sable et gravier concassé = - 0,03

#### **II.3.4.4. Dosage des granulats**

La courbe granulaire de référence OAB est tracée sur le même graphique que la courbe granulométrique des granulats composants. Les lignes de partage sont alors tracées entre chacun des granulats, en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point de 5% de la courbe du granulats suivant et ainsi de suite. Le pourcentage en volume absolu de

chacun des granulats sera lu sur la courbe de référence, au point de croisement avec les droites de partages.

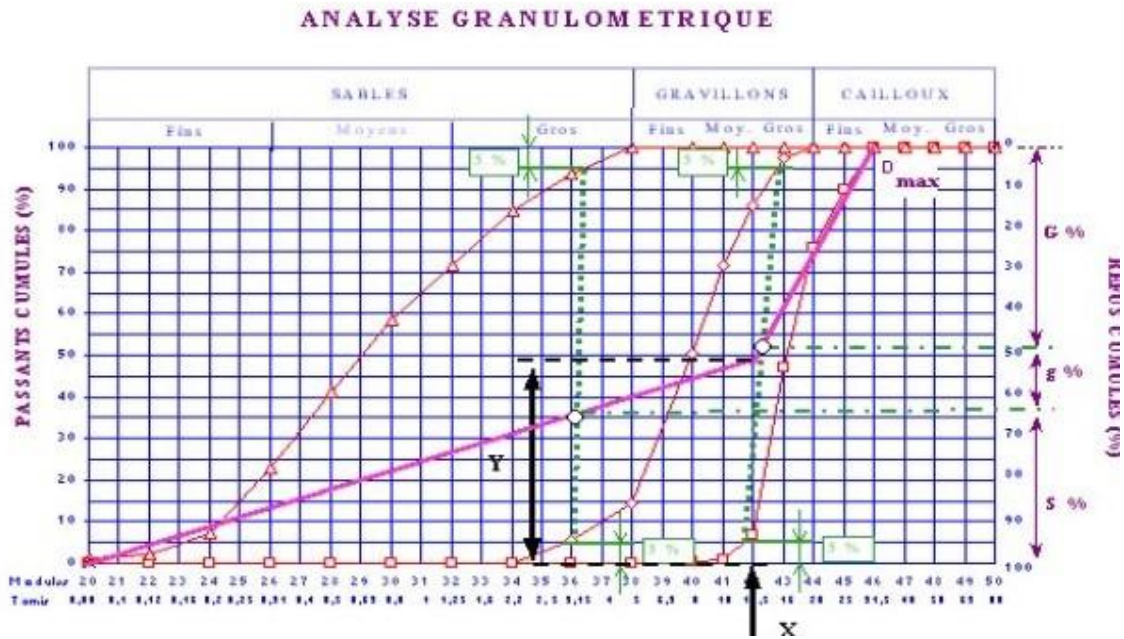


Figure.2.1. La figure de la représentation de l'Analyse granulométrique

a. Dosage volumique

Si C, est le dosage en ciment et  $\rho_c$  la masse spécifique du ciment, le volume absolu des grains de ciment est obtenu par la relation.

$$V_c = \frac{C}{\rho} \quad (2.13)$$

Si  $\gamma$  est le coefficient de compacité choisit dans le tableau 2.7 en fonction de D, de la consistance et de l'efficacité du serrage ; le volume absolu de l'ensemble des granulats est déterminé par la relation (2.13).

$$V = \gamma - V_c \quad (2.13)$$

Les volumes absolus de chacun des granulats sont par la suite obtenus par la relation

$$\begin{cases} V_s = \%S \times V \\ V_g = \%G \times V \end{cases} \quad (2.14)$$

Dont  $V_s$  et  $V_g$ , sont respectivement les volumes absolus du sable et des gravillons ;  $\%S$  et  $\%G$ , sont respectivement les pourcentages du sable et des gravillons obtenus sur les compositions optimales des bétons et  $V$ , le volume absolu des granulats.

### **b. Dosage massique**

Ayant une idée sur les masses spécifiques,  $\rho_s$  et  $\rho_g$ , respectivement masse spécifique du sable et du gravier, on déduit les masses  $m_s$  et  $m_g$ , respectivement masse du sable et masse du gravier, avec la relation.

$$\begin{cases} m_s = V_s \times \rho_s \\ m_g = V_g \times \rho_g \end{cases} \quad (2.15)$$

### **II.3.4.5. Obtention de la formulation théorique de béton**

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

## **CONCLUSION PARTIELLE**

Dans ce chapitre il était question de présenter l'origine des granulats, de parler un peu de la formulation par la méthode de DREU GORISSE, des essais et leurs caractéristiques, ainsi que les différents essais effectués sur le béton.

## **CHAPITRE 3 : PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS**

### **INTRODUCTION**

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats des différents essais, effectués au laboratoire à fin de réaliser notre étude expérimentale sur un béton confectionné a base des granulats en débris de chantiers en béton armé.

La masse volumique des granulats, le degré de propreté, l'analyse granulométrique, l'absorption d'eau des granulats, les résultats de la formulation et les caractéristiques du béton obtenu, vont faire l'objet de ce chapitre.

### **III.1. PRESENTATION DES CONSTITUANTS**

Les constituants utilisés dans les différents bétons sont de diverses natures et origines. Dans cette section nous présentons le ciment, l'eau et les granulats tout en étant guidé par la formulation de Dreux- gorisse.

#### **III.1.1. Le sable**

Le sable utilisé est un sable issus du concassage des gravats récupérés sur le lieu de démolition d'une maison d'habitation représenté sur la figure 3.1



*Figure 3.1. Le sable 0-6 issus du concassage*

### **III.1.2. Les graviers**

Les graviers utilisés sont issus du concassage des débris recueillis sur un site où on a démoli une maison représentée sur la figure 3.2.



**Figure 3.2. Les graviers issus du concassage**

### **III.1.3. Le ciment**

Le Ciment utilisé est le ciment HIMA courant dans les constructions dans le milieu local de classe vraie de 42,5 Mpa.

### **III.1.4. L'eau**

L'eau utilisée est probablement l'eau potable de la REGIDESO.

## **III.2. CARACTERISTIQUES DES CONSTITUANTS**

Pour une caractérisation éventuelle des constituants, il est toujours nécessaire d'avoir des informations sur ses caractéristiques, dont nous avons procédé par différents essais au laboratoire sur le sable et les graviers.

### **III.2.1. Le sable**

Dans cette partie du travail nous allons représenter les résultats de l'analyse granulométrique du sable éventuelle, le module de finesse, le degré de propreté du sable, la masse volumique absolue et apparente du sable.

#### **III.2.1.1. Les masses volumiques**

Pour déterminer les masses volumiques et apparente des granulates, nous avons été obligé de recourir aux normes tel que NF P 18-555 et NF EN ISO 11272. Le tableau 3.1 reprend en exergue les résultats obtenus.

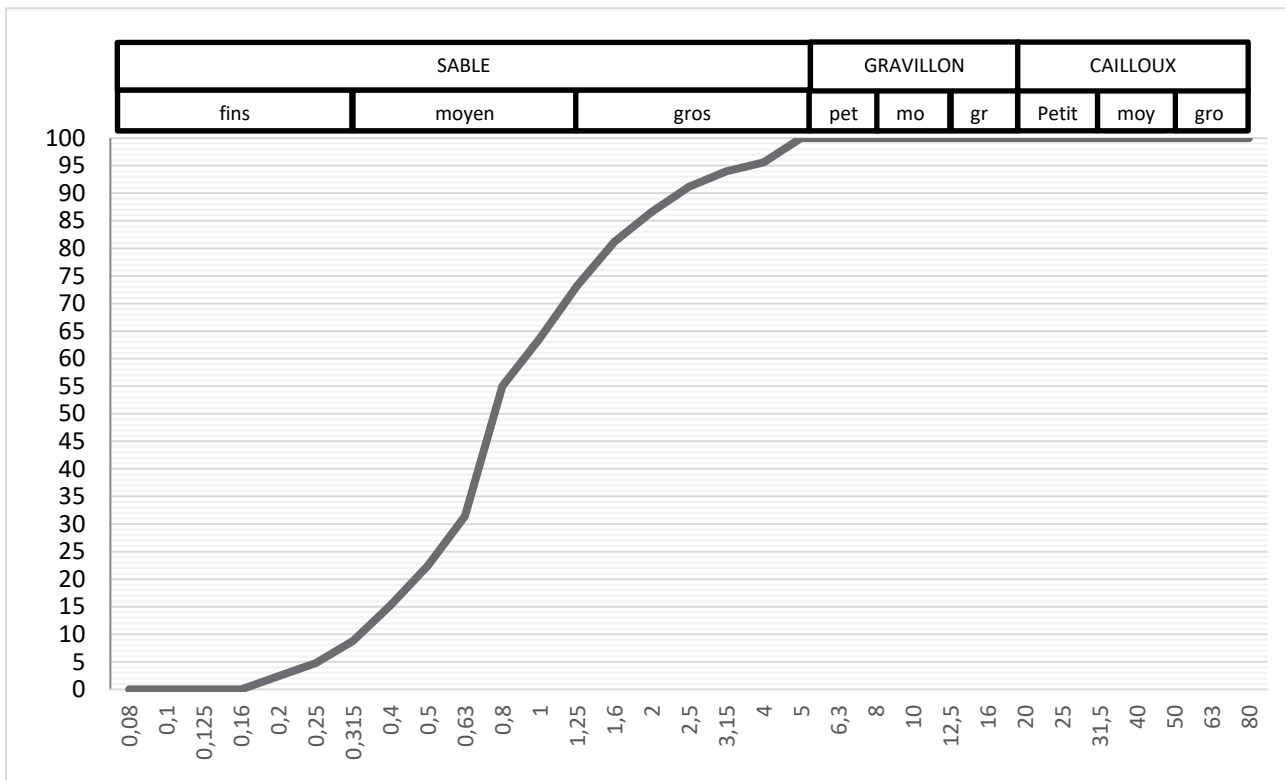
**Tableau 3.1. La masse volumique absolue et masse volumique apparente du sable**

<b>Désignation</b>	Sable
Masse volumique absolu (g/cm <sup>3</sup> )	2,36
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,426

Après une lecture dans ce tableau vous pouvez constater que notre sable a une masse volumique absolue de 2,36Kg /m<sup>3</sup> et une masse apparente de 1,42Kg/m<sup>3</sup>.

**III.2.1.2. Analyse granulométrique**

La Figure 3.3 présente le graphique des courbes granulométriques du sable concassé. L'axe des abscisses reprend les différents modules des tamis (en mm) utilisés et celui des ordonnées les pourcentages cumulés des passants.



**Figure 3.3. La courbe granulométrique du sable recyclé issu des gravats concassés**

Nous trouvons que la courbe granulométrique est continue. L'allure de la courbe granulométrique du sable montre que le sable présentait une granulométrie plus ou moins préférentielle puisque la courbe est presque en S, d'où le sable n'était ni trop fin ni trop grossier. Les valeurs du coefficient d'uniformité ainsi que celles du coefficient de courbure sont respectivement :  $C_u = 2,77$  et  $C_z = 1,19$ . Comme : -  $C_u \geq 2$  : la granulométrie est étalée ; -  $C_z$  est compris entre 1 et 3, donc le granulat est bien gradué

### III.2.1.3. Module de finesse

Le module de finesse que nous avons obtenu était de 2,8 ; dont un sable qui a besoin d'être corrigé normalement avec un autre sable de module de finesse de correction.

### III.2.1.4. Equivalent sable

La proprette du sable se représente dans le tableau ci-dessous

**Tableau 3.2. La proprette du sable concassé**

Mesure	Eprouvette N <sup>0</sup> 1	Eprouvette N <sup>0</sup> 2
h1 (cm)	82	82
h1p(cm)	60	65
h(cm)	60	60
ES%	79,2	73,17
La Moyenne ES %	76,1	

Après les essais au laboratoire sur le degré de propreté du sable concassé, on a eu comme résultat ES=76,1%, sable utilisable seulement à condition d'utiliser uniquement le ciment portland.

## III.2.2. Les Graviers

Dans cette section nous présentons respectivement les résultats de l'analyse granulométrique, la masse volumique absolue et apparente et l'absorption d'eau des granulats.

### III.2.2.1. Masse volumique

Pour déterminer les masses volumiques et apparente des granulats, nous avons été obligé de recourir aux normes tel que NF P 18-555 et NF EN ISO 11272. Les résultats de l'essai déterminant la masse volumique absolue et de la masse volumique apparente sont représentés dans le tableau (3.3.)

**Tableau 3.3. La masse volumique absolue et apparente des graviers issus du concassage**

Désignation	Gravier
Masse volumique absolu $\rho_{ab}(g/cm^3)$	2,34
Masse volumique apparente $\rho_{app}(g/cm^3)$	1,45

Après une lecture dans ce tableau vous pouvez constater que nos gravillons leurs masse volumique absolue est de 2,34 Kg/m<sup>3</sup> et la masse apparente de 1,45 Kg/m<sup>3</sup>. D'où nous

pouvons nous permettre de classer notre type de granulat selon leurs masses volumiques en classe des granulats lourds.

### III.2.2.2. Analyse granulométrique

La figure 3.7 quant à elle présente la composition granulométrique des graviers concassés. Avec comme abscisse les dimensions de tamis en mm et comme ordonnée les pourcentages des tamis.

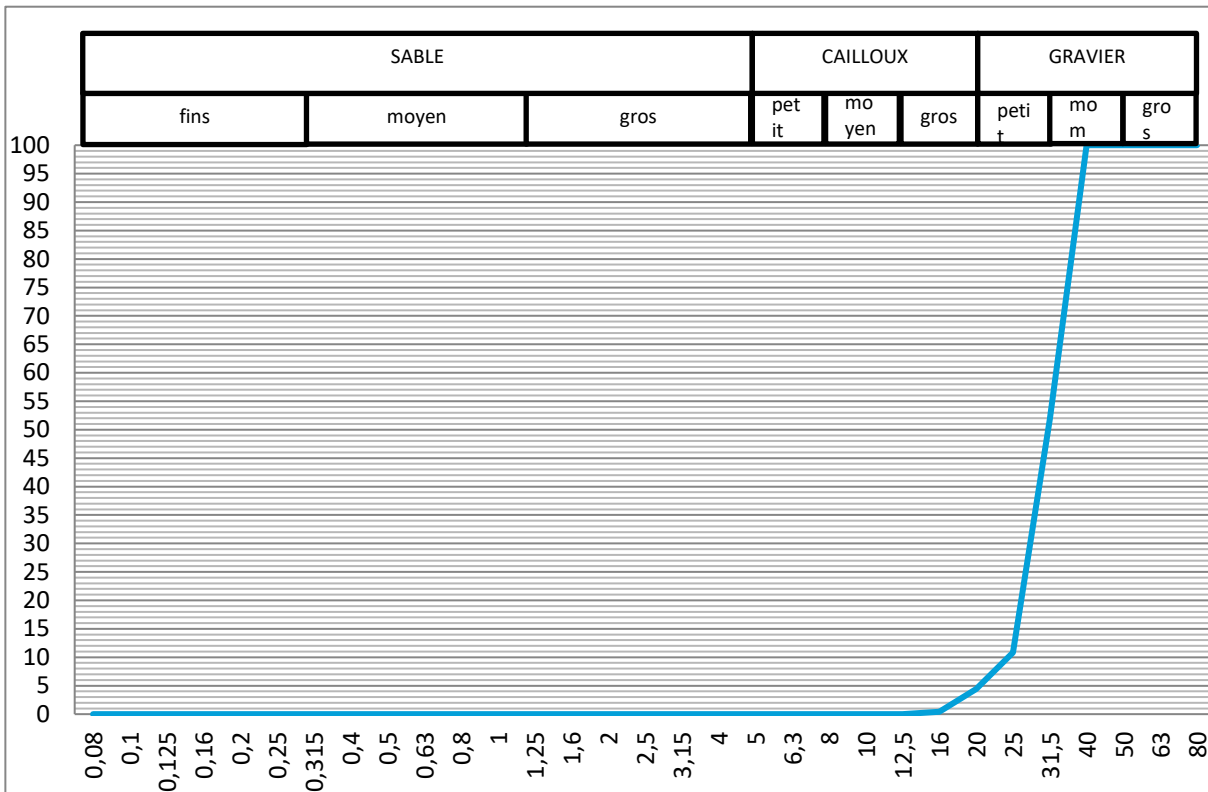


Figure 3.4. La courbe granulométrique des graviers issus du concassage

La composition granulométrique, effectuée conformément à la norme NF P 18-560, pour évaluer la composition granulométrique des granulats qui vont d'une manière directe intervenir dans la confection du béton qui fait l'objet de notre étude mais aussi pour nous aider à déterminer la courbe granulométrique de référence.

### III.2.2.3. Absorption d'eau

Le tableau 3.4 reprend les résultats du taux d'absorption d'eau des graviers.

Tableau 3.4. Le taux d'absorption des gravats

Matériaux	Ab en %
Gravier concassé	2,9

Remarquons que pour les graviers concassés, le coefficient d'absorption d'eau trouvé était de 2,9, le pourcentage qui détermine la quantité d'eau qu'il faut à chaque fois ajouter à la quantité d'eau efficace obtenue pour s'assurer d'un bon dosage en eau.

### III.3. FORMULATION DU BETON

Dans cette section sont représentés les résultats de la formulation par la méthode de Dreux-Gorisse en présentant notamment les données de base de la formulation et les différents dosages des constituants.

#### III.3.1. Données de base pour la formulation

Les données fondamentales entrant dans la formulation selon la méthode de DREUX-GORISSE, qui est la méthode choisie dans la formulation du béton dans notre étude sont le diamètre du plus gros granulats qui est dicté par l'ouvrage à bétonner, la consistance qui est recherchée, la classe vraie du ciment, le coefficient granulaire qui est en fonction du plus gros granulats, le type de vibration ainsi que la résistance à la compression recherchée comme illustré dans le tableau ci-dessous

*Tableau 3.5. Les données de base de la formulation du béton d'étude*

Données	Valeurs
Nature de l'ouvrage	voiles béton armés
Résistance souhaitée à 28jours (en MPa)	23
Consistance	Plastique
Dimension du plus gros granulats ( $D_{max}$ ) en mm	50
Type de vibration	Normale
Résistance ou classe vraie du ciment (en MPa)	42
Coefficient	0,4

Le tableau reprend les données de base pour la formulation d'un béton par la méthode de DREUX-GORISSE

#### III.3.2. Calcul des dosages en divers éléments

Dans cette section sont présentés les résultats du calcul des dosages en divers éléments notamment le dosage en ciment et en eau, et le dosage en granulats.

**a. Dosage en ciment et en eau**

Déterminer à partir de la méthode de DREUX-GORISSE qui permet d’optimiser le dosage en eau et en ciment en fonction du rapport C/E et de l’ouvrabilité désirée, le tableau ci-dessous reprend en représentation les données du dosage en ciment et en eau du béton qu’on a obtenu après formulation.

$f_{cm} = 1,15 \times f_{c28} = 1,15 \times 20 = 23 \text{Mpa}$ . Vue la dispersion et l’écart quadratique les résistances à 28 jours sont majorées à 15%.

Sachant que  $f_{cm} = \sigma_{c28} \times G \times (\frac{C}{E} \times 0,5)$

G est le coefficient granulaire que l’on obtient en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats. Sachant que le granulat est passable avec une taille maximale  $D_{max}$  égale 40mm, on a alors  $G = 0,5$ .

Donc,  $\frac{C}{E} = \frac{f_{cm}}{G \cdot \sigma_{c28}} + 0,5$

$$\eta \frac{C}{E} = \frac{23 \text{Mpa}}{0,5 \cdot 28} + 0,5$$

$$\eta \frac{C}{E} = 2,34$$

En positionnant le rapport  $\frac{C}{E} = 2,12$  sur la figure qui, en fonction de l’affaissement au cône d’Abrams  $A = 6 \text{mm}$ , permet d’avoir le dosage en ciment qui est compris entre 400kg et  $400 \text{kg} + \text{fluidifiant} = 429,166$ .

Partant de la figure,  $12 \text{mm}$  n 50kg de ciment.

$$7 \text{mm} \cdot n \frac{7 \times 50}{12} = 29,166 \text{ kg/m}^3$$

Nous avons donc la quantité de liant  $C = 400 \text{ kg/m}^3$ .

Calculons alors le dosage en eau à l’aide du rapport  $\frac{C}{E}$ .

Ce qui fait que  $E = 188,67 \text{ kg/m}^3$

**Tableau 3.6. Le dosage en eau et en ciment**

Dosage	Valeur
Dosage en ciment (en Kg/m <sup>3</sup> )	400
Dosage en eau E (en litre /m <sup>3</sup> )	188,67

La formulation du béton se précise dans cette partie ; pour rappel le rapport pondéral est C/E = 2,12 et les quantités en ciment et eau sont C = 400 kgm<sup>-3</sup>, E = 188,67kg.m (ou L.m<sup>-3</sup>) ; voici comment notre rapport C/E se comporte

**b. Dosage en granulats**

Le dosage en granulats a été déterminé à l'aide des proportions du sable et graviers obtenues à partir de la courbe de référence OAB. Dans le Tableau 3.7 sont reprises les coordonnées de la courbe de référence.

La ligne de brisure passe par les points P1 et P2.

P1 : intersection de la courbe granulométrique du sable au tamisât de 95% du sable.

P2 : intersection de la courbe granulométrique de graviers au tamisât de 5% de gravier.

La ligne de partage passant par trois points sur le graphique les courbes granulométriques combinées du sable et de graviers : O (0,0), A (XA, YA) et B (40,100).

Avec :

XA : milieu du segment quittant de 5mm à Dmax ;

XA= 12,5 mm lit graphiquement

$$YA=50 - \sqrt{D} + K \tag{3.1}$$

**Tableau 3.7. Correction du module de finesse**

Matériaux	Dosage en ciment en Kg/m <sup>3</sup>	K
Graviers	400	0

Le module de finesse étant fort (Mf =2,97), une correction supplémentaire sera apportée de façon à révéler le point A.

$$Ks= 6Mf-15 =2,8$$

**Tableau 3.8. Valeur du coefficient de correction**

Matériaux	Module de finesse	Ks	K
Graviers	2,95	2,8	2,8

$$YA=50 - \sqrt{50} +K = 45, 8$$

Dans le tableau ci-dessous, nous pouvons lire la valeur du coefficient de compacité γ pour notre béton plastique à vibration normale, dont le plus gros diamètre de granulats Dmax vaut 50mm et qui a le dosage en liant C=400kg/m<sup>3</sup>.

Vue qu'on un sable et un gravier concassé, la correction sera telle que :

$$\gamma_{\text{corrigé}} = \gamma - 0,03$$

$$\gamma_{\text{corrigé}} = 0,830 - 0,03$$

$$\gamma_{\text{corrigé}} = 0,8$$

Ainsi donc :

$$V_{\text{granulats}} = \gamma - \frac{C}{\rho_c}$$

Avec :

$\rho_c$  : Masse volumique du ciment

C : le dosage en liant

La composition volumique des granulats est donnée par la formule :

$$V_s = V_{\text{granulats}} \cdot \%S$$

$$V_g = V_{\text{granulats}} \cdot \%G$$

Avec:

$V_s$  : Le volume sable

$V_g$  : Le volume de graviers

On a donc :

Ainsi la masse volumique vaut :

$$\rho_{\text{béton}} = S + G + C + E$$

$$\rho_{\text{béton}} = 2\,819,798 \text{ kg/m}^3$$

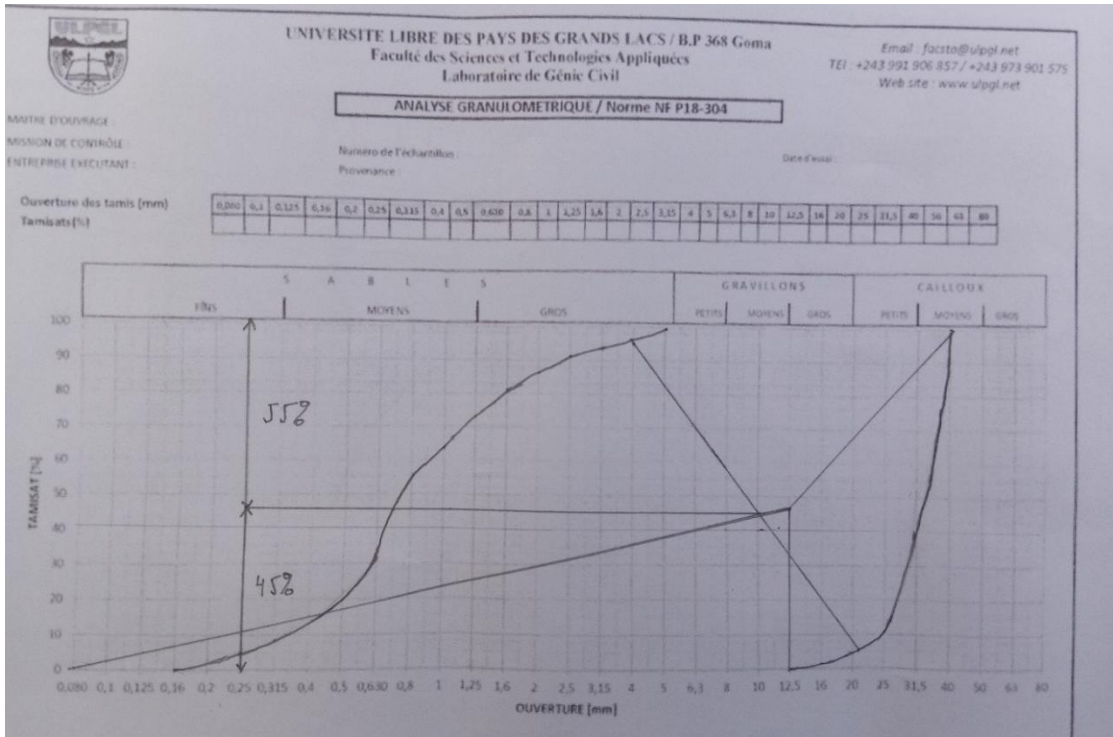


Figure 3.5. Représentation de la courbe de partage

Tableau 3.9. Le dosage granulométrique des gravats

Désignation	Béton à graviers recyclés		
	O	A	B
<i>X(en mm)</i>	0	12,5	12,5
<i>Y(en %)</i>	0	47	100

Il advient donc que : Pour le béton à graviers concassés recyclés; le sable entre dans la composition à 45% et les graviers à 55%. Ces pourcentages sont exprimés en fonction de 100% des granulats. De ce fait les dosages massiques des granulats pour un m<sup>3</sup> de béton sont repris dans le Tableau 3.9.

Tableau 3.10. Valeurs du dosage massique granulaire

Granulats	Dosage massique (Kg/m <sup>3</sup> )
Gravier	1087
Sable	610,27

Il ressort du tableau les valeurs qui désignent probablement la quantité pour  $1\text{m}^3$  de béton, on a un dosage en sable de 610,27Kg et un dosage en gravier de 1087Kg.

### III.4. CARACTERISTIQUES DU BETON D'ETUDE

Le béton que nous allons étudier dans l'état durci ou état frais, a normalement des caractéristiques dont nous devons prendre en considération.

#### III.4.1. CARACTERISTIQUE DU BETON A L'ETAT FRAIS

Avec la méthode que nous avons optés pour la formulation de notre béton d'étude, la caractéristique principale du béton frais était l'étalement au cône d'abrams.

##### a. Résultat de l'Essai au cône d'Abrams

La consistance effectuée sur notre béton confectionner suivant la norme NF P 18-451 nous avons trouvais pour notre travail était de 6,8 une consistance d'un béton plastique comme nous nous sommes fixés dans les notions préliminaires.

##### b. La masse volumique

Les masses moyennes des éprouvettes avant écrasement sont reprises dans le tableau (3.11)

**Tableau 3.11. La moyenne de la masse volumique du béton**

Désignation	Gravier
Masse volumique absolu $\rho_{ab}(\text{g}/\text{cm}^3)$	13185

Sachant qu'une éprouvette cylindrique a 16 cm de diamètre et 32 cm de hauteur. On a un volume de  $6430,72 \text{ cm}^3$ .

#### III.4.2. CARACTERISTIQUE DU BETON A L'ETAT DURCI

##### III.4.2.1. Essai de compression (NF P 18-406)

Les résultats de notre béton d'étude confectionné par la méthode de Dreux-Goriss, immergé dans l'eau pendant 28jours et soumis à l'essai de la résistance à la compression, sont représentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 3.12. Valeurs de la résistance du béton formulé par Dreux-Goriss**

	Désignation	Ep1	Ep2	Ep3	Moyenne
Dreux-goriss	Force(KN)	181,304	168,552	207,101	185,652333
	R <sub>c28</sub> (MPa)	9,017	8,383	10,012	9,13733333

Il ressort du tableau (3.12), la présentation des résultats de l'essai à la compression du béton a base des agrégats issus de la démolition d'une maison d'habitation dans la ville de Goma

### **CONCLUSIONPARTIELLE**

Ce chapitre a porté sur la présentation et l'interprétation des résultats du béton confectionné a base des agrégats issus de la démolition d'une maison d'habitation dans la ville de Goma. Entre autre la nature et les origines des constituants, les caractéristiques des granulats, les résultats de la formulation par la méthode de Dreux-Gorisse et les caractéristiques des bétons étudiés.

## **CONCLUSION GENERALE**

Le travail en son principal objectif, visait à étudier expérimentalement les caractéristiques mécaniques d'un béton ordinaire confectionné à base des agrégats issus de la démolition d'une maison d'habitation dans la ville de GOMA.

Pour s'y faire, nous nous sommes lancés dans l'étude expérimentale des matériaux de base qui entre dans la composition d'un béton ordinaire mais aussi la méthode nécessaire pour la confection de notre béton qui est évidemment la méthode de Dreux-Goriss.

La méthode de formulation de Dreux-Goriss étant la méthode de formulation d'un béton binaire la plus facile mais aussi la plus utilisée, elle contient des paramètres qui nous a permis d'achever notre mission notamment le rapport C/E, le module de finesse un paramètre indispensable et qui, dans notre travail le sable méritait une correction mais étant donné que notre travail n'avait qu'un seul but de déterminer la résistance d'un béton ordinaire sans ajout d'autres matériaux d'origine différente que le constituant de base, nous n'avons pas pu corriger notre sable. L'équivalent de sable qui était aussi dans l'intervalle qui exige seulement l'usage dans la confection un ciment portland, mais vu que la partie du sable sal n'était pas vraiment de l'argile mais du ciment précédemment utilisé dans la confection dite pâte inerte ciment précédemment utilisé dans l'ancienne construction nous avons pris le ciment HIMA couramment utilisé dans le milieu local car notre travail concerne le milieu local premièrement.

Ayant en disposition après confection 3 éprouvettes cylindriques de 16x32 à écraser après 28 jours d'immersion dans l'eau, pesant en moyenne 13Kg, la résistance minimale observée étant de 9,13733333MPa dont la raison de cette faible résistance serait du probablement à la qualité des graviers utilisés dans notre formulation, les graviers ont été concassés dans les débris, le diamètre qui variait à chaque fois qu'on faisait la vibration et le mélange et avec une résistance mécanique des graviers très inférieure, la résistance mécanique des graviers influence sur la résistance du béton, donc au départ nous avons eu à sacrifier la résistance vu les caractéristiques que nous avons observées dans la confection. Après l'étape qui consistait à écraser les éprouvettes nous avons observé que nos éprouvettes n'avaient plus des graviers mais plutôt un sable comme si les éprouvettes ont été confectionnées en mortier, pourtant dans la Formulation de Dreux-Goriss nous pouvons observer la quantité des graviers plus grande que tout autre matériau de constitution du béton.

En fin, le travail de fin de cycle que représente notre travail, son objectif capital était basé sur l'étude du béton confectionné à base des agrégats issus de la démolition d'une maison d'habitation dans la ville de Goma, nous avons eu les résultats comme repris dans les paragraphes ci haut mais de résistance faible qui nécessite une correction des gravies utilisaient et prendre ceux de bonne qualité et de résistance mécanique acceptable. Les graviers roulés d'origine naturels par exemple.

## BIBLIOGRAPHIE

[1] : **J. FESTA et G. DREUX**, Nouveau guide du béton et de ses constituants, 8<sup>e</sup> édition, Eyrolles novembre 2006.

[2]: **CIMBETON**, les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre, Paris janvier 2013.

[3] : **F.NGAPGUE**, cours de mécanique des sols, Faculté des sciences et technologies appliquées, ULPGL/GOMA

[4] : **Doctorat.ir. ALINABIWE**, cours de physique et technologie du béton, Faculté des sciences et technologies appliquées, ULPGL/GOMA

[5] : **Doctorat.ir. ALINABIWE**; Concrete Based on Recycled Aggregates for Their Use in Construction: Case of Goma (DRC), Article from Open Journal of Civil Engineering, 2020, 10, 226-238

[6]: **Bernier, G. (2004)**. Formulation des bétons. Numéro C2210. Techniques de l'ingénieur, Paris, France.

[7]: Les dix livres d'architecture : De Architectura, de Vitruve, traduction C. Perrault. Éditions errance.

[8]: Variabilité des propriétés du béton : caractérisation expérimentale et modélisation probabiliste de la lixiviation, **Thomas De Larrard**, Thèse de doctorat soutenue à l'ENS Paris-Saclay le 27 septembre 2010.

[9]: **Hélène HORSIN MOLINARO (2018)**, Formulation d'un béton ordinaire, en JOURDAIN.

[10] : **MASIKA MUHIWA Grace**, Béton à base des granulats recyclés pour leur utilisation dans la construction: cas de la ville de Goma en RDC.2020.

[11] : **Cléo LANEYRIE**, Valorisation des déchets de chantier du BTP: comportement à haute température des bétons des granulats recyclés.2014.

[12] : **BERREDJEM Laya chi**, .Le recyclage des bétons de démolition, solution pour le développement durable: formulation et comportements physiques et mécaniques des bétons à base de ces recyclés.2009.

[13] : Centre Scientifique et Technique de la Construction, Utilisation des granulats recyclés de béton dans le béton. 2019.

[14] : **Vincent BOULAY**, Valorisation des matériaux granulaires recyclés dans le béton du ciment pour usage résidentiel. 2014.

[15] : **Mamery SERIFOU**, Béton à base de recyclas: influence du type de recyclas et rôle de la formulation. 2013.

[16] : **Norme Française XPP18-540**, Granulats, définition, conformité, spécifications,

[17] : **Norme Française P18-554**, Granulats-Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux. 1990.

[18] : **Norme Française EN 933-3**. Essai pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats –Partie 3 : détermination de la forme des granulats coefficient d'aplatissement. **AFNOR, 1996.**

[19] : (Zanker G. (1996), *Anwendung von Recycling-Baustoffen im Betondau*, Betonwerk+Fertigteil-Technik, 62(4), 59-64)

## ANNEXES

### ANNEXE1 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU SABLE

NUMERO TAMIS		OUVERTURE (en mm)		REFUS CUMULES		TAMISAT	REMARQUE
ASTM	AFNOR	ASTM	AFNOR	(g)	(%)	En (%)	
3"	50	76,2	80	0	0		
2 1/2"	49	63,5	63	0	0		
2"	48	50,8	50	0	0		
1 1/2"	47	38,1	40	0	0		
1 1/4"	46	31,7	31,5	0	0		
1"	45	25,4	25	0	0		
3/4"	44	19,1	20	0	0		
2/3"	43	16,9	16	0	0		
1/2"	42	12,7	12,5	0	0		
3/8"	41	9,52	10	0	0		
1/3"	40	7,93	8	0	0		
1/4"	39	6,35	6,3	0	0		
3/16"	38	4,76	5	0,28	7	93	
5	37	4	4	0,58	14,5	85,5	
6	36	3,36	3,15	0,76	19	81	
8	35	2,38	2,5	1	26	74	
10	34	2	2	1,27	31,7	68,3	
12	33	1,68	1,6	1,4	36,3	63,7	
16	32	1,19	1,25	1,6	40	60	
18	31	1	1	1,8	46	54	
20	30	0,84	0,8	0			
30	29	0,59	0,63	0			
35	28	0,5	0,5	3	75	25	
40	27	0,4	0,4	0			
50	26	0,315	0,315	0			
60	25	0,25	0,25	0			
70	24	0,2	0,2	0			
100	23	0,16	0,16	0			
120	22	0,125	0,125	0			
140	21	0,1	0,1	3,7	93	7	
200	20	0,08	0,08	0	100		

**ANNEXE2 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES GRAVIERS CONCASSES ET RECYCLES**

NUMERO TAMIS		OUVERTURE (en mm)		REFUS CUMULES		TAMISAT	REMARQUE
ASTM	AFNOR	ASTM	AFNOR	(g)	(%)	En (%)	
3"	50	76,2	80	0			
2 1/2"	49	63,5	63	0			
2"	48	50,8	50	0			
1 1/2"	47	38,1	40	0,07	2	98	
1 1/4"	46	31,7	31,5	0,2	5	95	
1"	45	25,4	25	1,1	30	70	
3/4"	44	19,1	20	1,9	50	50	
2/3"	43	16,9	16	2,4	60	40	
1/2"	42	12,7	12,5	2,8	70	30	
3/8"	41	9,52	10	3,1	80	20	
1/3"	40	7,93	8	3,3	90	10	
1/4"	39	6,35	6,3	3,5	98	2	
3/16"	38	4,76	5				
5	37	4	4	0			
6	36	3,36	3,15				
8	35	2,38	2,5				
10	34	2	2				
12	33	1,68	1,6				
16	32	1,19	1,25				
18	31	1	1				
20	30	0,84	0,8	0			
30	29	0,59	0,63	0			
35	28	0,5	0,5				
40	27	0,4	0,4	0			
50	26	0,315	0,315	0			
60	25	0,25	0,25	0			
70	24	0,2	0,2	0			
100	23	0,16	0,16	0			
120	22	0,125	0,125	0			
140	21	0,1	0,1				
200	20	0,08	0,08	0			

**Essaie à l'affaissement au cône d'Abrams**



**Essaie à la compression**

