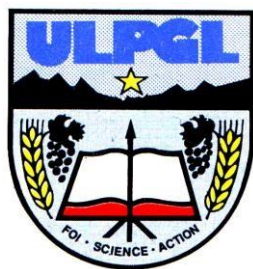


UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

FACULTE DE SCIENCES ET TECHNOLOGIES APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

ÉTUDES COMPARATIVE ENTRE LE BETON FAIT A BASE DES GRAVIERS TOUT-VENANTS DE GOMA ET LE BETON FAIT A BASE DES GRAVIERS CONCASSES DE RUTSHURU

Travail de fin de cycle présenté en vue de
l'obtention du Diplôme de Gradué en Sciences
Appliquées

Présenté par : CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Option : Génie Civil

Directeur : Msc Ir Grace MUHIWA MASIKA

Encadreur : Ing Pascal KOKO KATUMBI

ANNEE ACADEMIQUE 2021 – 2022

EPIGRAPHE

Vous utilisez la pierre, le bois et le béton, et avec ces matériaux, vous construisez des maisons et des palais. C'est la construction. L'ingéniosité est au travail. Mais soudain tu touches mon cœur, tu me fais du bien, je suis heureux et je dis : c'est beau. C'est l'architecture. L'art qui entre.

Le Corbusier

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

IN MEMORIAM

A mémoire de mes grand parents Jérôme CIRIGIRHI et Félicita M'CIDAVU

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

DEDICACE

À nos chers parents Jean-Marie BALIBUNO CIRHIGIRI et Nyota ANTOINETTE MUGANWA
nous dédions ce travail.

*Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base
des graviers concassés de Rutshuru*

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

REMERCIEMENTS

Nous ne pourrions jamais prétendre que la réalisation de ce travail soit résultat de notre seul propre effort, plutôt elle a été atteinte avec la contribution de plusieurs intervenants ;

De prime abord, nos profonds remerciements s'adressent à l'Éternel Dieu, le grand souverain qui, dans sa grande miséricorde ne cesse de nous combler de ses grâces.

Nos grandes reconnaissances s'en valent aux autorités académiques de l'ULPGL, de plus particulier à celles de la Faculté des Sciences et des Technologies Appliquées, département de Génie Civil pour leurs efforts fournis tout au long de notre parcours.

Nos sentiments de profonde gratitude au Master Ing. Grace MUHIWA MASIKA qui a accepté respectueusement de diriger ce travail et à l'ingénieur Pascal KOKO KATUMBI pour son encadrement de mérite.

A nos très chers parents Jean-Marie BALIBUNO CIRHIGIRI et Nyota ANTOINETTE MUGANWA, pour leur soutien inestimable sur tous les plans, nous disons grand merci et que seul Dieu les comble toujours de ses bienfaits.

Nos sincères remerciements restent méritoires à nos tantes, oncles, sœurs, frères, qui nous ont aidés à atteindre nos objectifs ; nous citons entre autres Germaine C., Joëlle C., Tryphine C., Gabin C., Sherssy C. pour leur amour, prières et soutien de chaque jour.

Nous ne saurions terminer sans toutefois remercier tous les camarades étudiants et amis pour leur parfaite collaboration durant tout notre parcours à l'ULPGL notamment Claude H., Etienne M., Immaculée C., Israël B., Guellord M., Lucien W., etc.

Que toutes les connaissances qui n'ont pas été citées ne se sentent pas oublié de leurs apports de tout genre, nous fournis, mais qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

RESUME

Ce travail porte sur une étude comparative des bétons fait à base des graviers tout-venants de Goma et les concassés de RUTSURU. Deux bétons ont été formulés, dont le premier à partir de graviers tout-venants et le second à partir de graviers concassés, en vue de déterminer lequel de ces deux graviers donne un béton dont les propriétés mécaniques sont élevées.

Ainsi, les caractéristiques du béton ont été recherché avec un dosage en ciment de 400 kg par m³ de béton pour les deux bétons formulés à partir de la méthode de Dreux-Gorisse : d'une part les graviers tout-venants ont donné un béton dont les caractéristiques à l'état frais se trouvent dans la plage de béton plastique préconisées par les normes et cela malgré une majoration de 40% du dosage en eau, et une résistance à la compression à 28 jours de 5,283 MPa ; d'autre part les graviers concassés ont donné un béton dont les caractéristiques à l'état frais correspondaient à celles préconisées par les normes pour un béton plastique, avec une majoration de 25% du dosage en eau, et une résistance à la compression à 28 jours de 7,067 MPa.

Ces faibles résistances seraient dues principalement aux dosages en eau élevés suite à la majoration de ce dernier lors de la confection, paramètre qui a permis à rechercher la plasticité souhaitée, à la présence des pores dans les granulats, qui est directement liés à la formation géologique de la roche mère, ainsi qu'à une longue durée de conservation du ciment avant son utilisation et à la classe vraie du ciment utilisé qui n'atteignait pas 42,5 MPa.

Mot clés : Etude, béton, graviers tout-venants et graviers concassés

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

ABSTRACT

This work is a comparative study of concrete made from random gravel from Goma and crushed gravel from RUTSURU. Two concrete were formulated, the first from random gravel and the second from crushed gravel. In order to determine which of these two gravels gives a concrete whose mechanical properties are high.

The characteristics of the concrete have been researched with a dosage of 400 kilograms per cubic meter of concrete for the two-concrete formulated using the Dreux-Gorisse method, on the one hand the random gravel gave a concrete whose characteristics in the fresh state are in the range of plastic concrete recommended by the standards and this despite a 40% increase in the water dosage, a compressive strength at 28 days of 5.283 MPa, on the other hand the crushed gravel gave a concrete whose characteristics in the fresh state would correspond to those recommended by the standards for a plastic concrete, with a 25% increase in the water content and a compressive strength at 28 days of 7.067 MPa.

These low resistances would be mainly due to the high-water dosage, following the increase of the latter during the manufacture, parameter which made it possible to find the desired plasticity, the presence of pores in the aggregates which is directly linked to the geological formation of the source rock, as well as a long shelf life of the cement before its use and the true class of cement before used which did not reach 42.5 MPa.

Keywords : Study, concrete, random gravel and crushed gravel.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 2. 1 : Sable roulé d'Idjwi</i>	22
<i>Figure 2. 2 : Les graviers concassés de Rutshuru et les graviers tout-venants de Goma</i>	23
<i>Figure 2. 3 : Prime ciment de 42,5</i>	24
<i>Figure 2. 4 : Une colonne de tamis pour l'analyse granulométrique et une tamiseuse électrique</i>	29
<i>Figure 2. 5 : Equipement nécessaire pour l'essai d'équivalent de sable</i>	32
<i>Figure 2. 6 : Appareil de Vicat</i>	36
<i>Figure 2. 7 : Rapport C/E en fonction de la consistance exigée du béton [5]</i>	41
<i>Figure 2. 8 : Une cône d'Abrams</i>	48
<i>Figure 2. 9 : Une presse hydraulique</i>	50
<hr/>	
<i>Figure 3. 1 : Le sable roulé d'Idjwi</i>	52
<i>Figure 3. 2 : Graviers roulés de Goma</i>	53
<i>Figure 3. 3 : Graviers concassés de Rutshuru</i>	53
<i>Figure 3. 4 : Ciment prima</i>	54
<i>Figure 3. 5 : La courbe granulométrique du sable roulé</i>	56
<i>Figure 3. 6 : La courbe granulométrique des graviers roulés</i>	58

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Figure 3. 7 : La courbe granulométrique des graviers concassés
59

Figure 3. 10 : Résistance à la compression à 28jours
64

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1. 1 : Classification des granulats selon la masse volumique</i>	9
<i>Tableau 1. 2 : Appréciation de coefficient Los Angeles</i>	11
<i>Tableau 1. 3 : Classe de béton</i>	16
<i>Tableau 1. 4 : Classification du béton suivant l'affaissement</i>	18
<i>Tableau 2. 1 : Evaluation approximative de D dimension maximale (tamis) des granulats en fonction des caractéristiques de la pièce à bétonner [14]</i>	38
<i>Tableau 2. 2 : Les valeurs du coefficient granulaire G [5]</i>	40
<i>Tableau 2. 3 : Correction sur le dosage en eau en fonction de Dmax [5]</i>	42
<i>Tableau 2. 4 : Valeurs du coefficient K en fonction du dosage en ciment, de la vibration et de la qualité des granulats [5]</i>	43
<i>Tableau 2. 5 : Valeurs du coefficient de compacité en fonction du dosage en ciment, de la vibration et de la qualité des granulats [15]</i>	44
<i>Tableau 2. 6 : Valeurs de l'affaissement en fonction de la consistance du béton</i>	48
<i>Tableau 3. 1 : Résultats des masses volumiques du sable roulé</i>	55
<i>Tableau 3. 2 : Degré de propreté du sable roulé</i>	56

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

<i>Tableau 3. 3 : Résultats de la masse volumique absolue et celui de la masse volumique apparente</i>	57
<i>Tableau 3. 4 : Résultats du taux d'absorption d'eau</i>	59
<i>Tableau 3. 5 : Masse volumique absolue du ciment</i>	60
<i>Tableau 3. 6 : Données de base pour la formulation</i>	60
<i>Tableau 3. 7 : Dosage en ciment et en eau</i>	61
<i>Tableau 3. 8 : Cordonnée de la courbe de référence OAB</i>	61
<i>Tableau 3. 9 : Dosage massique des granulats</i>	62
<i>Tableau 3. 10 : Valeurs de l'affaissement</i>	62
<i>Tableau 3. 11 : Masses des éprouvettes avant écrasement</i>	63
<i>Tableau 3. 12 : Masse volumique du béton durci</i>	63
<i>Tableau 3. 13 : Valeurs de la résistance à la compression du béton à base des graviers tout-venants</i>	64

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

SIGLES ET ABREVIATIONS

AFNOR : Association Française de Normalisation

EN : Norme Européenne

NF : Norme Française

MPa : Méga Pascal

Kg : Kilogramme

m^3 : mètre cube

G : Proportion de Gravier

S : Proportion du sable

C : Proportion du ciment

E : Proportion en eau

E/C : Rapport eau-ciment

Es : Equivalent sable

Dmax : Diamètre maximal

σ_{c28} : Résistance caractéristique du béton à 28 jours

Mf : Module de Finesse

Ab : Absorption d'eau

ρ : Masse volumique

γ : coefficient de compacité du béton

Cu : Coefficient d'uniformité

ULPGL : Université Libre de Pays de Grands Lacs

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

FSTA : Faculté des Sciences et Technologies Appliquées

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Table des matières

EPIGRAPHE.....	i
IN MEMORIAM.....	ii
DEDICACE	iii
REMERCIEMENTS	iv
RESUME	v
ABSTRACT.....	vi
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	xi
Table des matières.....	xiii
INTRODUCTION GENERALE	15
Chapitre 1 : GENERALITES.....	18
I.1. GENERALITES SUR LE BETON.....	18
I.1.1. LES CONSTITUANTS DU BETON	19
I.2. CLASSIFICATION DES BETONS	30
I.2.1. Classification du béton selon la masse volumique.....	30
I.2.2. Classification du béton selon leur résistance	30
I.2.3. Classification du béton selon le type de liant utilisé	31
I.2.4. Classification du béton selon leur destination	31
I.3. PROPRIETES DU BETON	32
I.3.1. Caractéristiques du béton à l'état frais.....	32
I.3.2. Caractéristique du béton à l'état durci	33
I.4. FORMULATION DU BETON	34
I.5. CONCLUSION PARTIELLE.....	36
Chapitre 2 : METHODOLOGIES.....	37
II.1. ORIGINE ET NATURE DES CONSTITUANTS.....	37
II.1.1. Le sable	37
II.1.2. Les graviers.....	38
II.1.3. Le ciment	38
II.1.4. L'eau de gâchage	39

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

II.2. CARACTERISTIQUES DES CONSTITUANTS.....	39
II.2.1. Les granulats.....	39
II.2.3. Le ciment	49
II.3. FORMULATION DU BETON	51
II.3.1. Présentation de la méthode de formulation	51
II.3.2. Principe de formulation.....	52
II.3.3. Etapes de la formulation.....	52
II.4. CARACTERISTIQUES DU BETON	62
II.4.1. Caractéristiques du béton à l'état frais.....	62
II.5. CONCLUSION PARTIELLE.....	66
Chapitre 3 : PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS.....	67
III.1. PRESENTATION DES CONSTITUANTS	67
III.1.1. Le sable	67
III.1.2. Les graviers.....	67
III.1.3. Le ciment	68
III.1.4. L'eau	69
III.2. CARACTERISTQUES DES CONSTITUANTS.....	69
III.2.1. Le sable	69
III.2.2. Les graviers.....	71
III.2.3. Le ciment	75
III.3. RESULTATS DE LA FORMULATION DES BETONS D'ETUDE.....	75
III.3.1. Données de base pour la formulation	75
III.3.2. Calcul des dosages en divers éléments	76
III.4. CARACTERISTIQUES DU BETON	77
III.4.1. Ouvrabilité	77
III.4.2. La masse volumique	78
III.4.3. Résistance à la compression.....	78
III.5. CONCLUSION PARTIELLE.....	80
CONCLUSION GENERALE.....	81
Bibliographie.....	83

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

INTRODUCTION GENERALE

Depuis toujours, l'homme utilise des matériaux naturels pour la construction de son habitat et l'aménagement de son environnement. De ces deux nécessités premières découlent, aujourd'hui, trois grands secteurs d'activité, que sont les industries de carrières et matériaux de construction, le bâtiment et les travaux publics. Parmi ces matériaux on peut citer les bois, le béton, ainsi que l'acier.

[1]

Le béton est une pierre artificielle obtenue grâce au durcissement d'un mélange de liant, d'eau, des granulats (sable et gravier) et éventuellement des adjuvants choisis de façon rationnelle, il est l'un des matériaux les plus utilisés dans la construction suite à ses bonnes performances et souplesses, telles que sa résistance mécanique, qu'il soit armé, non armé ou précontraint. Il est présent dans tous les domaines du bâtiment et du génie civil, il est le matériau le plus utilisé dans la construction à Goma et partout ailleurs.

S'agissant de ses performances, la souplesse et la maniabilité du béton dépend de la teneur en eau du mélange tandis que sa résistance dépend des caractéristiques du liant mais beaucoup plus celles des granulats.

Les granulats occupent la majeure partie du béton. Cependant, les granulats peuvent sembler identiques à l'œil nu, ils ont des caractéristiques intrinsèques différentes. Cette différence provient de leur origine c'est-à-dire des roches mères desquels ils proviennent, la forme de leurs particules, leurs compositions chimiques et minéralogiques, et leurs comportements physiques et mécaniques [2].

Etant donné que les granulats constituent le squelette du béton, leurs caractéristiques ou propriétés intrinsèques ont une très grande influence sur les caractéristiques du béton à l'état frais comme à l'état durci. D'où ce travail se propose d'étudier l'influence que peut avoir les graviers tout-venants retrouvés localement à Goma et les graviers concassés de Rutshuru sur la résistance du béton.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Du fait que les granulats sont d'origine différentes, est-ce possibles d'avoir les mêmes propriétés ? Et si ces caractéristiques sont différentes, peut-on avoir une même résistance pour ces deux types des granulats ?

En utilisant les mêmes formulations du béton sur base d'une même pondération des constituants autres que les graviers, ce travail permettrait de dégager la différence qui subsiste entre le béton à base de graviers tout-venants et celui à base des graviers concassées de Rutshuru en fonction de la résistance.

La méthodologie de cette étude expérimentale comprend la caractérisation des granulats et ciment, la formulation des bétons et la caractérisation des bétons obtenus. Les différents essais se sont effectués au laboratoire des matériaux de génie civil au sein de la FSTA/ULPGL Goma. La méthode documentaire a permis de connaître les différentes méthodes de formulation du béton, ainsi cette dernière nous sera utile dans la confection des bétons.

Etant donné la disponibilité et l'abondance de ces deux types de graviers et qu'ils sont utilisés dans la confection du béton, ce travail permettra de savoir leurs impacts sur les caractéristiques du béton pour une utilisation adéquate en fonction des performances recherchées.

L'objectif principal poursuivi par cette recherche est de faire une étude comparative entre le béton à base de graviers tout-venants et le béton à base des graviers concassés de RUTSURU. Ce travail se donne déterminer lequel de ces deux graviers donne un béton dont les propriétés avoisineraient le plus celles d'un béton avec de performances recherchées tant à l'état frais qu'à l'état durci.

Afin d'y parvenir, il sera nécessaire d'étudier les différents matériaux nécessaires dans la formulation du béton ; de formuler un béton par la méthode de Dreux-Gorisse ; soumettre les échantillons formulés à des essais et comparer les résultats obtenus après formulation et essais, en comparant notamment les propriétés à l'état frais et l'état durci enfin de déterminer lequel de ces deux graviers donne un béton dont les propriétés avoisineraient les propriétés recherchées.

Mr MALI KAYEMBE Arsène qui a porté ses recherches sur la caractérisation des graviers utilisés dans la confection du béton à Goma, les résultats de cette recherche lui ont permis de constaté que

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

les graviers roulés (tout-venants) présent à Goma et ceux concassés peuvent être utiliser dans la confection du béton car tous deux présentent un coefficient Los-Angeles inférieur à 45% [3].

Hormis l'introduction générale et la conclusion générale, le présent travail s'articule autour de trois chapitres. Le premier chapitre présente les généralités notamment l'étude de constituants du béton, la classification du béton, les propriétés du béton ainsi que la méthode de formulation du béton par Dreux-Gorisse. Le chapitre deuxième porte sur les matériels et méthodes de recherche et enfin, le troisième chapitre est consacré à la présentation et interprétations des résultats.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Chapitre 1 : GENERALITES

INTRODUCTION

Le béton est le matériau le plus communément utilisé dans la construction des structures de génie civil. Ceci s'explique par le fait qu'il offre la possibilité de varier ses propriétés dans de longues limites en utilisant les composants aux qualités correspondantes. Le béton est un produit artificiel car il est produit par une technique et non par la nature.

En effet, il est important de connaître non seulement l'utilité et les propriétés physiques comme mécaniques mais aussi la composition et la classification de chaque matériau de construction avant de l'utiliser dans un projet de construction. Car une bonne connaissance de ces dernières permet une bonne utilisation et la construction des ouvrages solides, durables et économiques.

Ce chapitre présente les généralités sur le béton notamment les généralités sur ses constituants (les granulats, les liants et les adjuvant), la classification et les propriétés du béton, et ainsi que les méthodes de formulation du béton.

I.1. GENERALITES SUR LE BETON

On appelle béton une pierre artificielle obtenue grâce au durcissement d'un mélange de liant, d'eau et de granulats choisis de façon rationnelle.

Le béton est l'un des matériaux de construction les plus utilisés, cela dû au fait qu'il permet de réaliser de longues portées et des formes complexes. Il peut être utiliser tel quel ou renforcé par des armatures, on parle de béton armé, précontraint, etc. on y incorpore les adjuvants à faible dose afin d'améliorer ses propriétés.

Une bonne connaissance des propriétés des matériaux de construction permet de bien les utiliser et de construire des ouvrages solides, durables, et économiques. Le béton est un produit artificiel car il est produit par une technique et non par la nature [4].

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

I.1.1. LES CONSTITUANTS DU BETON

Le béton est un matériau hétérogène formé de plusieurs constituants : granulats (sable et gravier), liant, eau et adjuvants. La composition de différents constituants à une influence sur la qualité du béton c'est-à-dire sur les caractéristiques physiques et mécaniques du béton.

I.1.1.1. Les granulats

On appelle **granulat** un ensemble des grains d'origine minérale, de dimension comprise entre 0 et 125mm, provenant des roches meubles, massives, de minerais ou de leurs transformations thermiques et de sous-produits de l'industrie [5].

Les granulats constituent le squelette du béton et représente 80% du poids total du béton. Cependant, ils doivent satisfaire à certaines exigences pour être utilisés dans le béton. Ils assurent une bonne résistance et une durabilité appropriée au béton.

La nature des gisements conditionne les propriétés intrinsèques (résistance, porosité, etc.) des granulats tandis que les caractéristiques géométriques (granularité, forme, etc.) et de propreté sont fonction de son processus d'élaboration.

A. Types de granulats

Les granulats sont des matériaux ayant de qualités différentes et devant être non seulement propres mais aussi avec une granulométrie définie. Cependant les granulats se différencient par leur nature, leur composition, leur origine, leur forme, leur répartition granulométriquement et leur masse volumique. Les granulats utilisés pour le béton sont d'origine naturelle et artificielle.

a. Les granulats naturels

Les granulats sont dits naturels lorsqu'ils sont extraits de leur site géologique d'origine c'est-à-dire lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives et qu'ils subissent aucun traitement autre que mécanique (réduction de dimensions).

Les granulats naturels, proviennent de deux sources : les carrières de roches massives et les gisements alluvionnaires. Géologiquement, les granulats naturels proviennent de trois natures de roches :

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

- Éruptives : granites, basaltes porphyres,
- Sédimentaires : calcaires, grès, quartzites,
- Métamorphiques : gneiss, amphibolites.

Ils regorgent les granulats roulés ainsi que les granulats concassés.

On appelle **granulats roulés**, les granulats issus de la désagrégation des roches par l'eau, le vent ou le gel. Ils sont caractérisés par des grains arrondis et polis. Il existe trois catégories des granulats roulés dont les granulats de rivière, les granulats de mers et les granulats de dunes. Les granulats roulés nécessitent un lavage pour les débarrasser des argiles et autres impuretés, et un criblage pour obtenir différentes classes de granulats.

On appelle **granulats concassés**, les granulats provenant du concassage et abattage des roches dures (granites, basaltes, calcaires durs, porphyres, grès, etc.). Ils sont caractérisés par un aspect anguleux à arêtes vives. Les granulats concassés nécessitent un dépoussiérage pour éliminer les fines particules inférieures à 0,08 mm nuisibles à la résistance du béton [5].

b. Les granulats artificiels

Les granulats artificiels et spéciaux proviennent soit des sous-produits industriels, soit des fabrications spéciales en usine donc lorsqu'ils proviennent de la transformation à la fois thermique et mécanique de roches ou de minerais.

Ainsi, on aura :

1. Les granulats de laitier

Le laitier de haut fourneau qui s'est refroidi lentement est proche d'une roche artificielle cristallisée. Ils sont ensuite traités comme des granulats concassés pour au final générer des granulats laitiers.

2. Les granulats légers

Les granulats légers sont généralement :

- L'argile expansée (cuisson au four à 1100-1300°C) de matière préalablement granulée.

Après cuisson on obtient des granulats dont le cœur est alvéolaire et la périphérie plus dure

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

- ;
- Le polystyrène expansé (polystyrène mélangé à du kaolin cuit à vapeur) ;
 - La vermiculite fabriquée avec certains micas ; - La perlite, à base de laves volcaniques, etc.

3. 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 de bâtiments industriels (limonite, magnétite, fonte en paillettes, corindon, hématite, etc.) [4].

B. Caractéristiques des granulats

Les granulats utilisés dans les travaux de construction doivent répondre à certains critères de qualité et à des caractéristiques propres à l'utilisation.

Pour un bon choix des granulats, il faut les caractériser en déterminant sa composition minéralogique, ses caractéristiques géométriques, ses caractéristiques physiques, l'état de surface et les caractéristiques mécaniques.

B.1. Les caractéristiques géométriques

a. Granulométrie

La granulométrie est l'échelonnement des grains contenus dans un granulats. Elle est obtenue en effectuant les essais au laboratoire sur un granulats, dit analyse granulométrique.

L'analyse granulométrique permet de déterminer la proportion des différents constituants solides d'un granulats en fonction de leur grosseur à l'aide des tamis.

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis. Emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

Ainsi :

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

On appelle **refus**, le matériau retenu par un tamis donné. La proportion en % du refus cumulé d'un tamis rapporté au poids total s'exprime par la relation 1.1:

$$\%refus = \frac{Poids\ cumulé}{Poids\ échantillon} \times 100 \quad (1.1)$$

On appelle **tamisât ou passant**, le matériau qui passe à travers les mailles d'un tamis. Le complément à 100% du refus cumulé est le tamisât du tamis en considération. Il est obtenu par la relation 1.2.

$$\%tamisat = 100\% - \%refus \quad (1.2)$$

On trace la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage des tamis sous les tamis dont les mailles sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique. La classe des granulats est définie par tamisage au travers d'une série de tamis dont les mailles ont des dimensions suivantes : 0,063-0,08-0,1-0,125-0,16-0,2-0,25-0,315-0,4-0,5-0,630,8-1-1,25-1,6-2-2,5-3,15-4-5-6,3-8-10-12,5-16-20-25-31,5-40-50-63-80-100-125.

Le choix des tamis à utiliser dépend des dimensions du granulat à soumettre à l'essai [6]. b.

Classe granulaire

Un granulat est caractérisé par sa classe d/D, avec d et D étant respectivement la plus petite et la plus grande dimension des grains.

Les dimensions soulignées sont celles de la base préconisée par la norme européenne (NF EN 9332).

- Fines : 0/D avec $D \leq 0,08$ mm
- Sables : 0/D avec $D \leq 6,3$ mm
- Gravillons : d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm
- Cailloux : d/D avec $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm
- Graves : 0/D avec $6,3\text{mm} \leq D \leq 80\text{mm}$

La détermination de d et D des classes granulaires d/D ainsi définies se fait en considérant que les granulats correspondant à ces dimensions doivent être présents en proportions suffisantes [4].

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

c. 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 pourcentage sur une série de tamis suivante : 0,16-0,315-0,63-1,25-2,5 et 5 mm

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 et au-dessus, le sable manque d'éléments fins et le béton y perd en ouvrabilité [7].

B.2. Les caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques mesurent le comportement de matériaux à l'action de la température, l'humidité (la masse volumique, la porosité, l'absorption, etc.)

a. Masse volumique

La masse volumique d'un corps est sa masse par unité de volume. Cependant on distingue la masse volumique absolue et la masse volumique apparente.

On appelle **masse volumique absolue** d'un solide, la masse par unité de volume de celui-ci sans tenir compte de vides le constituant.

On appelle **masse volumique apparente** d'un solide, la masse par unité de volume en tenant compte des vides le constituant.

Le tableau I.1 reprend la classification de granulats selon la masse volumique [8].

Tableau 1. 1 : Classification des granulats selon la masse volumique

Granulats	Masse volumique en g/cm ³
Granulats légers	≤ 2
Granulats durs	≥ 2,5
Granulats courants	2,65-2,8
Granulats lourds	≥ 3

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

b. Porosité

La porosité est le rapport du volume vide au volume total de la matière.

La présence des pores dans les granulats est en rapport direct avec la densité de ceux-ci.

c. Absorption de l'eau

L'absorption d'eau est la différence entre la masse d'un échantillon saturé dans l'eau et sa masse à l'état sec.

d. Propreté des granulats

Les granulats employés pour le béton doivent être propres, car la présence des impuretés influence l'hydratation du ciment et entraîne des adhérences entre les granulats et la pâte. Les impuretés rencontrées dans les granulats peuvent être des matières organiques, les argiles et les matériaux fins issus du concassage ou du broyage des roches. On mesure l'importance des pollutions argileuses dans les sables par l'essai d'équivalent des sables et l'essai au bleu de méthylène. Quant aux gravillons, la teneur en particules fines est mesurée par l'essai de propreté superficielle.

B.3. L'état de surface

L'état de surface peut être défini par la rugosité des grains ainsi que l'angularité.

L'angularité des granulats est conventionnellement estimée par les valeurs des indices et rapport de concassage. Mais 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 [4].

B.4. Les caractéristiques mécaniques

Les caractéristiques mécaniques des granulats sont déterminées par des essais tentant de reproduire certaines sollicitations propres à des usages spécifiques des granulats, par exemple le degré d'usure pour les granulats utilisés pour les bétons routiers.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

a. Essai Micro Deval

C'est un essai dont le principe est de reproduire dans un cylindre en rotation des phénomènes d'usure. Les modalités de cet essai font l'objet de la norme NF P 18-572.

b. Essai Los Angeles

Le principe est la détermination de la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques. Il fait l'objet de la norme NF P 18-573.

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produits en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés dans la machine LOS ANGELES.

Si M est la masse du matériau soumis à l'essai, m la masse des éléments inférieurs à 1,6mm produits au cours de l'essai, le coefficient s'exprime par la relation 1.3.

$$C_{LA} = \frac{m}{M} \times 100 \quad (1.3)$$

Cette quantité sans dimension est appelée par définition **coefficient Los Angeles** du matériau. Si le coefficient est faible cela veut dire que le granulats est résistant à la fragmentation par chocs.

Les valeurs de coefficient Los Angeles indiquent la nature du gravier et permettent d'apprécier leur qualité pour composer un béton comme présenté dans le tableau I.2.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Tableau 1. 2 : Appréciation de coefficient Los Angeles

Valeurs du coefficient Los Angeles	Appréciation
$LA \leq 15$	Très bon à bon
$15 \leq LA \leq 25$	Bon à moyen
$25 \leq LA \leq 40$	Moyen à faible
$LA > 40$	Médiocre « mauvaise qualité »

Pour les granulats pour béton, le coefficient de Los Angeles ne doit pas excéder 45. Les granulats utilisés dans la construction de chemin de fer doivent avoir un coefficient de Los Angeles compris entre 15 et 25. Quant aux granulats utilisés dans la construction routière, doivent avoir un coefficient de Los Angeles compris entre 25 et 35 [6].

I.1.1.2. Les liants et les adjuvants

Dans cette section, sont donnés des généralités sur les liants et les adjuvants. Les liants sont des poudres fines qui facilitent l'adhésion entre divers constituants du béton. Quant aux adjuvants, ils sont là pour modifier les propriétés du béton.

A. Les liants

On distingue deux grands groupes des liants dont les liants minéraux et les liants organiques.

On appelle liants minéraux, 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. Parmi les liants minéraux on distingue les liants hydrauliques et les liants aériens.

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 aluminieux, les chaux hydrauliques, etc.

Les liants aériens sont ceux qui se conservent pendant une longue durée et augmentent de résistance seulement à l'air. Les exemples les plus courants, on peut citer les plâtres et la chaux aérienne. On appelle liants organiques ou liants hydrocarbonés, ou encore liants bitumineux ou goudronneux,

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

les mélanges composés d'hydrocarbure avec soufre, l'oxygène, l'azote dont les propriétés physicomécaniques varient en fonction de la température. Ils sont noirs, visqueux, 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 [2].

D'après la norme NF EN 197-1, 2001, le ciment est composé essentiellement de silicates et d'aluminates de calcium résultants de la combinaison de la chaux (CaO) et de la silice (SiO₂), de l'alumine (Al₂O₃) et de l'oxyde de fer (Fe₂O₃) provenant du calcaire et de l'argile extraits de carrières [8].

La pâte du ciment constitue un élément actif du béton, elle enrobe les granulats. L'objectif est de remplir les vides existants entre les grains. Elle joue le rôle de lubrifiant et de colle. Le choix du type de ciment et son dosage dépendent à la fois des performances recherchées et de la nature des autres composants.

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, etc. Le dosage en ciment est déterminé par calcul lors de la formulation des bétons. Le dosage en ciment a une influence directe sur les résistances mécaniques du béton. Toutes autres conditions étant égales par ailleurs, on peut dire que dans une certaine plage, la résistance est sensiblement proportionnelle au dosage en ciment C.

B. Les adjuvants

La norme AFNOR NF EN 934-2 [Norme NF EN 934-2, 2009] définit un adjuvant comme étant un produit incorporé lors de la fabrication de bétons, mortiers et pâtes de ciment permettant d'améliorer leurs propriétés à l'état frais ou durci. Il est incorporé en faibles teneurs, n'excédant pas 5% en masse de ciment.

Dans cette catégorie :

- Les plastifiants et super plastifiants sont fabriqués à base de ligno-sulfonate, de sels d'acides organiques ou de dérivés de naphthalène. Ils ont pour but d'augmenter les résistances mécaniques par réduction de la quantité d'eau présente dans les bétons, mortiers ou pâtes

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

de ciment. Les super plastifiants sont des produits de synthèse qui provoquent une augmentation de l'ouvrabilité du mélange. La distinction entre les deux est basée sur la quantité utile pour un effet notable.

- Les rétenteurs d'eau, régulant l'évaporation de l'eau, permettent de réduire le ressuage et augmentent ainsi, la stabilité et l'homogénéité du mélange.
- Les entraîneurs d'air, à base de ligno-sulfonate, de sels d'éthanol amine, permettent d'entraîner les bulles d'air résultant du malaxage ou de l'évaporation de l'eau et de les répartir uniformément dans le mélange. Ils augmentent la résistance au gel.
- Les accélérateurs sont de deux types : (1) les accélérateurs de prise comme les alcalis, les carbonates et les sulfates de sodium ou potassium qui diminuent le temps de début et le temps de fin de prise, et (2) les accélérateurs de durcissement à base de chlorures et de carbonates qui facilitent le développement des résistances mécaniques. Néanmoins, il est déconseillé d'utiliser des additifs à base de chlorures, car ils conduisent à la corrosion des armatures dans le béton.
- Les retardateurs sont des composés qui augmentent le temps de début de prise et le temps de fin de prise lors de l'hydratation du ciment. Ce sont généralement des métaux lourds, comme le plomb, le zinc, l'étain, ou des hydrates de carbone ou encore des acides gluconates ou tartriques.
- Les hydrofuges de masse, à base d'acides gras ou de leurs dérivés, diminuent l'absorption capillaire, améliorant ainsi l'étanchéité des matériaux cimentaires.
- Les produits de cure, composés de cires ou de résines, protègent le béton de la dessiccation par évaporation trop rapide de l'eau [8].

1.1.1.3. Eau

L'eau est un élément essentiel pour la fabrication du béton. 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.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

La teneur en chlorure dans l'eau ne doit jamais excéder 500 mg/litre [9]. L'eau permet l'hydratation du ciment et facilite aussi la mise en œuvre du béton. L'excès de la teneur en eau dans le béton joue sur la résistance et la durabilité de ce dernier.

Une augmentation du dosage en eau aura une incidence directe sur les performances mécaniques selon [10] :

- Baisse de la résistance à la compression / flexion
- Baisse de la compacité
- Augmentation de la porosité
- Augmentation de la perméabilité

Le rapport E/C (Eau-Ciment) est un critère important des études du béton, c'est un paramètre essentiel de l'ouvrabilité du béton et de sa qualité, et influence sur la résistance mécanique à la compression et durabilité [11].

La teneur en eau varie avec un très grand nombre de paramètres tels que la teneur en ciment, les granulats, la consistance recherchée du béton.

I.1.1.4. Exigences sur les constituants

a. Choix des granulats

Le type, la dimension et les catégories de granulats doivent être sélectionnés en tenant compte :

- Des contraintes d'exécution de l'ouvrage ;
- De l'utilisation finale du béton ;
- Des conditions environnementales auxquelles sera soumis le béton ;
- De toutes exigences liées aux traitements de surfaces appliquées au béton frais ou durci ;
- Le maximum de la dimension nominale supérieure des granulats (D_{max}), est sélectionnée en prenant en compte de l'épaisseur de l'enrobage et la dimension minimale des sections.

b. Choix du ciment

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Le choix du ciment doit prendre en compte les contraintes d'exécutions de l'ouvrage, l'utilisation finale du béton, les conditions de cure, les dimensions de la structure, les agressions environnementales auxquelles la structure est exposée et la réactivité potentielle des granulats aux alcalins des constituants.

I.2. CLASSIFICATION DES BETONS

Les bétons peuvent être classer selon plusieurs critères dont :

- La masse volumique
- La résistance
- Le liant utilisé
- Et selon la destination

I.2.1. Classification du béton selon la masse volumique

Selon la masse volumique on distingue :

- Le béton très lourd : c'est un béton dont sa masse volumique est supérieure ou égale à $2,5 \text{ g/cm}^3$
- Le béton lourd : est un béton dont sa masse volumique est comprise entre $1,8 \text{ g/cm}^3$ et $2,5 \text{ g/cm}^3$
- Le béton léger : sa masse volumique est comprise entre $0,5 \text{ g/cm}^3$ et $1,8 \text{ g/cm}^3$ - Et le béton très léger : sa masse volumique est inférieure ou égale à $0,5 \text{ g/cm}^3$.

Les bétons extra lourds sont formés de ciment et d'agrégats spéciaux à masse volumique élevée. Les bétons lourds sont formés de ciment et d'agrégats compacts ordinaires. Les bétons légers sont formés de ciment et d'agrégats poreux naturels ou artificiels. Les bétons extra légers sont utilisés pour l'isolation thermique seulement.

I.2.2. Classification du béton selon leur résistance

Pour classer les bétons selon leurs résistances, on passe par des essais de compressions sur les moules de bétons. Ces dernières peuvent être cylindrique, cubique ; mais les plus utilisés sont les

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

moules cylindriques. Les dimensions sont en centimètres. La résistance à la compression d'un béton est exprimée en fonction de la résistance caractéristique notée f_{ck} . La norme ENV 206 classe les bétons en fonction de leurs résistances caractéristiques à la compression suivant le tableau 1.3.

Tableau 1. 3 : Classe de béton

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

Avec : $f_{ck, cyl}$ est la résistance caractéristique mesurée sur les moules cylindriques et $f_{ck, cube}$ est la résistance caractéristique mesurée sur les moules cubiques.

I.2.3. Classification du béton selon le type de liant utilisé

Selon le type de liant utilisé, on distingue :

- Les bétons de ciment confectionnés avec les liants hydrauliques ;
- Les bétons à base des liants organiques ;
- Etc.

I.2.4. Classification du béton selon leur destination

On distingue :

- Les bétons ordinaires : pour les éléments de constructions porteurs ;
- Les bétons hydrotechniques : pour les barrages, revêtement des caniveaux, les écluses.
- Le béton pour les plancher légers : couvertures et fondations des chaussés, etc. [11].

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

I.3. PROPRIETES DU BETON

Les propriétés du béton dérivent de la qualité, du dosage, de la mise en œuvre (malaxage, vibration) et de ses constituants. Ils dépendent de circonstance de durcissement ainsi que de l'âge du béton. Cela étant, le béton se présente sous deux états, l'état frais et l'état durci. Il est donc nécessaire de connaître ses différentes propriétés sous ces deux états pour mieux l'utiliser. Dans cette section sont respectivement présentées les propriétés du béton à l'état frais et à l'état durci.

I.3.1. Caractéristiques du béton à l'état 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. Cependant il y a aussi d'autres propriétés liées au béton frais telles que la ségrégation et le ressuage. Ces deux autres propriétés sont liées à la sédimentation.

I.3.1.1. L'ouvrabilité

L'ouvrabilité ou la maniabilité est la principale propriété du béton frais, elle est mesurée à l'aide d'un cône d'Abrams. C'est l'indice qui indique l'aptitude à la mise en place du béton dans un moule. Les bétons sont ainsi classés suivant l'affaissement observé au cône d'Abrams tel que repris dans le Tableau 1.4.

Tableau 1. 4 : Classification du béton suivant l'affaissement

Affaissement (cm)	Classe selon la consistance	Domaine d'utilisation
0 à 4	Ferme (F)	Béton de propreté, fondation non armée, voirie.
5 à 9	Plastique(P)	Semelle coffrée, mur de soutènement, plancher, dallage, poutre, poteau, voile.
10 à 15	Très plastique (TP)	Fondation coulée en fouille, pieu, voile de faible épaisseur, paroi moulée.
≥ 16	Fluide(F)	Pieu, paroi moulée.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

L'ouvrabilité d'une pâte de béton dépend de plusieurs facteurs notamment le genre de ciment, la teneur en eau et en mortier de ciment, la grosseur des graviers, la composition de sable. Des bétons de même composition, mais avec des ciments différents ont une ouvrabilité différente.

I.3.1.2. La ségrégation

Fraichement malaxé, le béton se tasse et une couche d'eau limpide apparaît en surface. Cette couche d'eau s'appelle « eau de ressuage ». Le tassement dans le coffrage et une vibration non homogène risquent de provoquer une fissuration du béton avant même la prise et le durcissement.

I.3.1.3. Le ressuage

Les granulats placés dans la pâte de ciment sont soumis à leur poids propre, à la poussée d'Archimède, étant donné que la pâte de ciment est considérée comme un fluide, et aux forces de liaison de la pâte. Lorsque les forces de liaison sont faibles, faible viscosité de la pâte, les granulats, plus lourds tendent à descendre et les bulles d'air, plus légères tendent à remonter vers la surface. Lorsque le béton est soumis à des vibrations ou des chocs importants ou répétés, il y a risque de décohésion des éléments les plus gros du mélange. Ainsi, la ségrégation c'est le phénomène de séparation des éléments les plus gros du mélange. Ces derniers tendent à descendre.

I.3.2. Caractéristique du béton à l'état durci

Le béton durci est principalement caractérisé par sa résistance mécanique. 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. Le béton est ainsi plus résistant à la compression mais moins résistant en traction.

Cette résistance du béton à la compression est fonction des certains paramètres notamment la résistance du ciment, le rapport C/E, la qualité des agrégats (granulats), le degré de compacité du mélange et les conditions de durcissement :

- Les ciments qui ont une activité élevée, c'est-à-dire une résistance à 28 jours élevée, donnent des bétons plus résistants.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

- Lorsqu'il y a de l'eau en excès dans le béton, celle qui n'entre pas en réaction chimique avec le ciment s'évapore du béton en y formant des pores dont la présence réduit la compacité et par conséquent, réduit la résistance du béton.
- Plus le béton est compacté, plus il est résistant car le volume des pores est réduit. Il faut donc bien compacter son béton pour réduire le volume des pores autant que possible, mais tout en évitant la ségrégation.
- Les 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 ± 20 C.

Les bétons courants ont une résistance à la compression comprise entre 20 et 40 MPa pour un rapport E/C de l'ordre de 0,5 et cette résistance se détermine à l'aide des différents essais mécaniques destructifs ou non destructifs [12].

I.4. FORMULATION DU BETON

Le béton est un mélange dont la composition a une profonde influence sur ses caractéristiques ; mais si les caractéristiques attendues sont la plupart du temps bien définies, la mise au point d'un béton approprié peut s'avérer plus délicate. En effet, les paramètres peuvent s'avérer nombreux : les données du chantier, les données du projet et les données liées aux propriétés du béton.

On mesure donc l'importance de l'étude de la formulation du béton, d'autant plus nécessaire que les caractéristiques requises sont élevées.

Cependant, il existe plusieurs méthodes de composition du béton entre autres :

a. La méthode de BOLOMEY

La méthode de BOLOMEY a le mérite d'avoir ouvert la voie aux études de béton. Toutefois, elle ne peut être appliquée qu'aux granulats dont la masse volumique absolue est comprise entre 2,5 et 2,7 kg/m³ ; ce sont d'ailleurs les granulats les plus courants.

Par une formule appropriée, on trace une courbe granulométrique de référence et l'on s'efforce de réaliser avec les granulats dont on dispose une composition granulaire totale (ciment compris), dont *Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru*

la courbe soit aussi proche que possible de la courbe de référence théorique. Cette méthode aboutit théoriquement tout ou moins à une granularité continue.

Cette méthode donne des bétons riches en éléments fins, donc maniable, susceptible de rester bruts de décoffrage. On l'emploiera lorsque ces quantités sont recherchées, la résistance mécanique devant simplement être bonne. Son emploi est fréquent pour les travaux routiers et pour les bétons devant être mis en place par pompage.

b. La méthode d'Abrams

C'est une règle de mélange basée sur l'obtention d'un certain module de finesse global pour le mélange des granulats à partir de la connaissance des modules de finesse des granulats à employer. Les modules de finesse du mélange sont choisis de manière que les vides dans le mélange soient, en principe, réduits au minimum.

c. La méthode de Faury

Cette méthode est venue en 1941 compléter la méthode de Bolomey. La méthode de Faury donne des bétons comportant moins de sable et plus de gravier. Ces bétons sont plus raides et conviendront à des travaux pour lesquels une très bonne maniabilité n'est pas indispensable. Les bétons Faury auront souvent une résistance mécanique supérieure aux bétons Bolomey correspondants.

La particularité de cette méthode est qu'elle est applicable à tous les granulats, quelle qu'en soit la masse volumique.

d. La méthode 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 déterminée cette composition, elle devra, ainsi qu'il a été souligné, être soumise à l'expérimentation afin d'affiner les dosages indiqués [13].

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

I.5. CONCLUSION PARTIELLE

Dans ce chapitre il a été question de présenter les généralités sur le béton, qui a consisté en la présentation du matériau béton ; ses constituants ; ses propriétés ainsi que sa formulation. Le chapitre deuxième présentera les matériels et méthodes utilisés pour la confection du béton.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Chapitre 2 : METHODOLOGIES

INTRODUCTION

Ce chapitre est consacré aux méthodologies utilisées, tant à partir de la documentation que sur le terrain et en laboratoire. Il présente la nature et origine des constituants notamment celles du sable, du gravier, du ciment et de l'eau ; il aborde la caractérisation des constituants précisément celle du sable, du gravier, et du ciment ; il présente aussi la formulation du béton à l'aide de la méthode de Dreux-Gorisse et pour finir par la caractérisation du béton notamment à l'état frais et à l'état durci ; mais aussi une conclusion partielle est présentée à la fin du chapitre.

II.1. ORIGINE ET NATURE DES CONSTITUANTS

Etant donné que les constituants du béton présentent des origines et natures différentes, dans cette section nous présentons respectivement l'origine et la nature de chaque constituant.

II.1.1. Le sable

Le sable utilisé est un sable roulé, provenant d'Idjwi de classe 0/5.



Figure 2. 1 : Sable roulé d'Idjwi

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

II.1.2. Les graviers

Etant donné qu'il s'agit d'une étude comparative, pour cette étude deux types de graviers ont été utilisés, il s'agit de graviers tout-venant d'origine basaltique de classe 12,5/31,5 et les graviers concassés provenant de RUTSURU de classe 16/31,5.



Figure 2. 2 : Les graviers concassés de Rutshuru et les graviers tout-venants de Goma

II.1.3. Le ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est le ciment PRIMA d'origine rwandaise, de couleur grise et de classe commerciale 42,5.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne



Figure 2. 3 : Prime ciment de 42,5

II.1.4. L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée dans cette étude est une eau potable fournie par la REGIDESO, et recueilli au robinet.

II.2. CARACTERISTIQUES DES CONSTITUANTS

La caractérisation des constituants consiste à la détermination des différentes propriétés des constituants telles que : la détermination des masses volumiques apparentes et absolues du sable, des graviers et du ciment, l'analyse granulométrique de sables et des graviers, le degré de propreté pour le sable, le taux d'absorption d'eau pour les graviers ainsi que la consistance normale du ciment.

II.2.1. Les granulats

La caractérisation des granulats est passée par différents essais normalisés. Dans cette section, sont repris les différents essais effectués sur le sable notamment la détermination de la masse volumique apparente et absolue, l'analyse granulométrique, le module de finesse et l'équivalent sable, et la détermination du taux d'absorption d'eau.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

II.2.1.1. Les masses volumiques

1. La masse volumique apparente

La masse volumique apparente est la masse par unité de volume des granulats en tenant compte des vides qui le constituent. Elle dépend de la forme et de la granulométrie des grains ainsi que le degré de compactage et d'humidité.

Le mode opératoire dans la détermination de celle-ci est conforme aux prescriptions de la norme NF-18-554. Décembre 1990.

a) But

Le but est la détermination de la fraction granulaire lorsqu'on établit une composition de bétons dont les caractéristiques sont imposées.

b) Principe

L'essai consiste à déterminer la masse volumique des grains en mesurant simplement la masse et le volume correspondant du matériau en tenant compte du volume des vides.

c) Mode opératoire

- Séchage des granulats préalablement lavés et mis à l'étuve pendant 24h à **105°C** ;
 - Versement de l'échantillon dans un volume avec deux mains à 10 cm environ au-dessus ;
 - Arasage à la règle du débordement ;
 - Pesage du contenu et prise de la masse M_s correspondante.
- ##### d) Equipements nécessaires et matériel utilisé
- Un récipient cylindrique de volume connu
 - Une règle à araser
 - Des bacs pour effectuer des essais
 - Un échantillon de graviers secs
 - Une balance de précision
 - Entonnoir et plateau de pèse

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

e) Expression des résultats

Les résultats de l'essai de la masse volumique apparente se calcule à partir de la relation 2.10.

$$\rho = \frac{M_s}{V} \quad (2.10)$$

Avec :

- Ms : la masse sèche du matériau
- V : le volume du récipient

L'essai doit se répéter plusieurs fois pour avoir plus de précision.

2. La masse volumique absolue

La masse volumique absolue c'est la masse d'un corps par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains.

L'essai de la masse volumique absolue s'est effectué par la méthode de l'éprouvette graduée conformément à la norme NF P 18-555 pour le sable.

a) But

Cet essai a pour but de déterminer le volume réel occupé par les grains solides du sable. b)

Principe

Cet essai consiste à mesurer la masse, par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains en versant une quantité connue de granulats dans une quantité d'eau. La différence de volume rapportée à la masse du matériau a donné la masse volumique absolue.

c) Mode opératoire

- On prélève trois échantillons de 300g qu'on va sécher à l'étuve pour 48heures à une température de 105°C, noté m01, m02, et m03 ;
- A la sortie de l'étuve, on pèse de nouveau les échantillons quantifier la quantité d'eau contenue dans le sable, on trouve m1, m2, et m3 ;
- On remplit de l'eau les trois éprouvettes graduées des volumes initiaux constants équivalents à 200ml ;
- A l'aide de l'entonnoir, on insère petit à petit dans chaque éprouvette les masses mi du sable ;

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

- On agite mollement afin d'éliminer les bulles d'air et on laisse reposer pendant quelques minutes.
- Enfin, on lit les volumes finaux du niveau de l'eau due à l'ajout du sable dans les éprouvettes.

d) Equipements nécessaires et matériau utilisé

- Balance électrique
- Une étuve
- Eprouvettes graduées de même volume - Entonnoir et plateaux de pèse.

e) Expression des résultats
La masse volumique apparente est la moyenne des masses volumiques apparentes obtenues à partir des trois éprouvettes. Elle est obtenue par la relation 2.3.

$$\rho_s = \frac{\rho_{1s} + \rho_{2s} + \rho_{3s}}{3} \quad (2.3)$$

Avec : $\rho_s = \frac{m_i}{V_1 - V_2}$

Où :

- m_i est la masse sèche du matériau en g - V_i la différence des volumes en cm³.

Notons aussi qu'à partir des masses m_{oi} et m_i respectivement à l'entrée et à la sortie de l'étuve, nous retrouvons la teneur en eau contenue dans le sable par la relation 2.4.

$$\omega = \frac{\Sigma(m_{oi} - m_i)}{\Sigma m_i} \times 100 \quad (2.4)$$

II.2.1.2. L'analyse granulométrique

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

a) But

Le but de l'analyse granulométrique est de déterminer la représentation granulométrique des grains composant le sable. En d'autres termes une technique de classement des granulats et produits pulvérulents selon la proportion des grains des différentes grosseurs qui les composent.

b) Principe
Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

L'essai a consisté à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes de haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration des tamis.

c) Mode opératoire

Le mode opératoire pour cet essai est le suivant :

- Monter la colonne de tamis dans l'ordre décroissante de l'ouverture des mailles en ajoutant le couvercle et le fond,
- Verser le matériau sec dans la colonne de tamis,
- Agiter mécaniquement cette colonne,
- 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 du tamis ne varie pas de plus de 1% en masse par minute de tamisage,
- Verser le tamisât recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur ;
- Déterminer ainsi la masse du refus de chaque tamis,
- Poursuivre l'opération jusqu'à déterminer la masse du refus contenus dans le fond de la colonne de tamis.

d) Equipements nécessaires et matériau utilisé

Les matériels utilisés pour l'analyse granulométrique sont : Une balance de portée 5 kg, précision 1g, une tamiseuse, une main écope pour le remplissage, une série des tamis conforme à la norme NF EN 933-2, un couvercle et un réceptacle de fond, ainsi que des récipients en plastique.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne



Figure 2. 4 : Une colonne de tamis pour l'analyse granulométrique et une tamiseuse électrique

e) Expression de 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 du 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 2.5.

$$M_F = \frac{1}{100} \sum R_c(\%) [5\text{mm} ; 2,5\text{mm} ; 1,25\text{mm} ; 0,63\text{mm} ; 0,16\text{mm}] \quad (2.5)$$

Avec :

- $R_c(\%)$: Refus cumulé en pourcentage
- M_F : Module de finesse

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

Le coefficient d'uniformité et le coefficient de courbure, s'il s'agit du sable, ces deux coefficients sont déterminés par les relations 2.6 et 2.7.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

$$C_u = \frac{D_{10}}{D_{60}} \quad (2.6)$$

$$C_z = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (2.7)$$

Avec :

- C_u : le coefficient d'uniformité
- C_z : le coefficient de courbure
- D_{10} : est le diamètre effectif correspondant à l'ordonnée de 10% ;
- D_{30} : est le diamètre effectif correspondant à l'ordonnée de 30% ;
- D_{60} : est le diamètre effectif correspondant à l'ordonnée de 60% ;

D'une part, si $C_u \geq 2$: la granulométrie est étalée ; $C_u \leq 2$: nous disons que la granulométrie est serrée ; d'autre part, si $1 < C_z < 3$, le granulat est bien gradué [5].

II.2.1.3. Equivalent sable

Le degré de propreté du sable est déterminé par l'essai de l'équivalent sable selon la norme NF P 18-598.

a) But

L'essai de l'équivalent sable vise à vérifier le degré de propreté des sables entrant dans la composition des bétons.

b) Principe

L'essai consiste à verser un échantillon de sable et une petite quantité de solution flocculant dans l'éprouvette graduée et d'agiter de façon à détacher les revêtements argileux des particules de sable de l'échantillon.

c) 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 ;

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

- Laisser reposer 10min ;
- 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 30s \pm 1s ;
- 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 lavant.
- En descendant le tube laveur dans l'éprouvette ;
- Rincer les parois de l'éprouvette avec la solution lavant ;
- 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 mn \pm 10s
- Mesurer à l'aide du réglet la hauteur h1 au niveau supérieur du flocculat par rapport au fond de l'éprouvette
- Mesurer également, si possible, la hauteur h2 du niveau supérieur de la partie sédimentée par rapport au fond de l'éprouvette. (Les hauteurs h1 et h2 sont arrondies au millimètre le plus voisin)
- Descendre doucement le piston taré dans l'éprouvette jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. Pendant cette opération, le manchon coulissant prend appuie sur l'éprouvette
- Lorsque l'embase du piston repose sur le sédiment, bloquer le manchon coulissant sur la tige du piston. Introduire le réglet dans l'encoche du manchon, faire venir buter le zéro contre la face inférieure de la tête du piston.
- Lire la hauteur du sédiment h2 au niveau de la face supérieure du manchon. Arrondir la hauteur h2 au millimètre le plus voisin. - Refaire les mêmes opérations deux fois

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

d) Equipements nécessaires et matériau utilisé

- Une bombonne de 5 litres
- 2 tubes (éprouvettes) en plexiglass
- Un agitateur électrique
- Un tamis de mailles de 2 mm
- Une solution lavante : solution équivalent sable selon la norme NF EN 933-8 et NF P 10598.
- Une tare, une assiette, la règle métallique, et un entonnoir
- La balance électrique



Figure 2. 5 : Equipement nécessaire pour l'essai d'équivalent de sable

e) Expression des résultats

L'équivalent de sable d'une prise d'essai d'un échantillon est par définition mesuré au piston et donné par la formule 2.8.

$$E_s = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad (2.8)$$

L'équivalent de sable visuel est, dans les mêmes conditions, donné par la formule 2.9.

$$E_{sv} = \frac{h_2'}{h_1} \times 100 \quad (2.9)$$

On a toujours $E_s < E_{sv}$

Les résultats sont donnés avec un décimal. La détermination portant sur deux prises d'essais par échantillon, l'équivalent de sable E_s ou E_{sv} d'un échantillon est la moyenne des équivalents de

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

sable déterminés sur les deux prises d'essais. La valeur de la moyenne est arrondie à l'entier le plus voisin.

II.2.1.4. Absorption d'eau

Le taux d'absorption d'eau des graviers est déterminé selon la norme NF P 18-555. Décembre 1990.

a) But

Cet essai permet d'évaluer la quantité d'eau retenue par la porosité des granulats afin d'en tenir compte pour le dosage en eau efficace lors de la formulation des bétons.

b) Principe

L'essai consiste à exprimer le rapport d'augmentation de la masse de l'échantillon de graviers en pourcentage après imbibition dans l'eau, à la masse sèche de l'échantillon.

c) Mode opératoire

Le mode opératoire employé dans la détermination du taux d'absorption d'eau est conforme à la norme NF P 18-555(1990) se présente comme suit :

- Immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24h à **20°C** à la pression atmosphérique ;
- Etalage de l'échantillon sur une surface plane non absorbante ;
- Elimination de l'eau de surface avec un tissu ;
- Pesage de la masse M_a
- Séchage de la masse M_a pendant 24h à l'étuve à **105°C ± 5** pour obtenir la masse M_s . d)

Equipements nécessaires et matériaux utilisés

- Des échantillons de graviers secs
- Une balance de précision
- Un plateau de pèse
- Un tissu

e) Résultats

Les résultats de l'essai d'absorption d'eau des graviers s'expriment en pourcentage et se calculent à partir de la relation 2.14.

$$A_b = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100(\%) \quad (2.14)$$

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Avec :

- A_b l'absorption d'eau
- M_a la masse humide en g
- M_s la masse sèche en g

II.2.3. Le ciment

La caractérisation du ciment à porter sur la détermination de sa masse volumique absolue ainsi que sa consistance normale.

II.2.3.1. La masse volumique

On applique la méthode de l'éprouvette graduée selon la norme NF P 18- 558 [14]. a)

But

Il s'agit de mesurer la masse par unité de matière pleine sans aucun vide entre les grains. b)

Principe

Sachant la masse, le volume du pycnomètre et la masse du liquide n'entrant pas en réaction avec le ciment, on détermine la masse volumique absolue du ciment.

c) Mode opératoire

- Introduire la solution dans le pycnomètre jusqu'au premier trait repère, noté $V_1 = 0$ ml ;
- Peser le pycnomètre contenant la solution, noté M_1 en gramme ;
- Introduire une quantité de ciment dans le pycnomètre jusqu'au deuxième trait repère, noté V_2 en ml ;
- Peser à nouveau le pycnomètre contenant la solution et le ciment, noté M_2 en gramme. d)

Equipements nécessaires et matériau utilisé

Balance électrique

Trois éprouvettes graduées de même volume ou bien le pycnomètre de le Chatelier. e)

Résultats

Le résultat de la masse volumique du ciment s'obtient à partir de la relation 2.15.

$$\rho_s = \frac{M_2 - M_1}{V_2 - V_1} \quad (2.15)$$

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

II.2.3.2. Consistance normale

Cet essai est réalisé selon la norme EN 196-3 (Aout 1995) [14].

a) But

Le but de l'essai est de déterminer la quantité d'eau nécessaire pour avoir une patte du ciment à consistance normale.

b) Principe

Il s'agit d'augmenter successivement l'eau dans une patte de ciment jusqu'à ce que la patte atteigne une consistance jugée normale suivant la norme.

c) Mode opératoire - Peser 500g de ciment ;

- Mélanger cette quantité de ciment (500g) avec une certaine quantité d'eau à commencer à celle correspondant à 27% de la masse du ciment ;
- Vérifier à l'aide de l'appareil de VICAT avec la sonde de consistance si avec cette quantité d'eau apportée pour faire la patte du ciment on obtient une patte à consistance normale. En effet, la patte sera à consistance normale si et seulement si l'affaissement de la sonde après essai est entre 6 ± 1 mm à lire sur la graduation de l'appareil de VICAT ;
- Refaire avec une quantité d'eau supérieure prise par tâtonnement selon l'appréciation de l'utilisateur dans le cas où le 27% ne satisfait pas pour trouver un affaissement de 6 ± 1 mm

d) Equipements nécessaires et matériau utilisé

- Appareil de Vicat
- Sonde de diamètre de 10mm
- Balance de précision
- Plaque en verre
- Moule tronconique
- Récipient de malaxage et cuillère pour malaxer
- Le béccher et une lame métallique

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne



Figure 2. 6 : Appareil de Vicat

e) Résultats

La pâte sera à consistance normale si $d = 6\text{mm} \pm 1\text{mm}$; si $d > 7\text{mm}$: il n'y a pas assez d'eau et si $d < 5\text{mm}$, il y a trop d'eau, dans les deux cas, il faut jeter la pâte, nettoyer et sécher le matériel et recommencer avec une nouvelle expérience.

II.3. FORMULATION DU BETON

Formuler un béton revient à déterminer de façon rationnelle les proportions optimales en sable, en ciment, en gravier et en eau entrant dans sa composition. Dans cette section, on présente la méthode de formulation, le principe de la formulation selon Dreux-Gorisse pour finir par les étapes de formulation.

II.3.1. Présentation de la méthode de formulation

La méthode de formulation de béton selon Dreux-Gorisse a l'avantage d'être issue, d'une part, de nombreuses formulations ayant été testées sur chantiers et en donnant satisfaction. Elle est apte aux exigences liées au cahier des charges ; et est très simple d'utilisation et se base sur la connaissance des courbes granulométriques des granulats utilisés. Cette méthode permet, d'autre part, 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 déterminée cette

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

composition, elle devra, ainsi qu'il a été souligné, être soumise à l'expérimentation afin d'affiner les dosages indiqués [11].

II.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 kg/m³) [5].

II.3.3. Etapes de la formulation

Nous avons résumé les étapes de formulation de Dreux-Gorisse en quatre étapes dont : les hypothèses de calcul, les données de base pour la formulation, le calcul du rapport C/E (dosage en ciment et le dosage en eau) et le dosage en granulats.

II.3.3.1. Hypothèses de calcul

a. Dimensions maximales des granulats

Dans la méthode DREUX GORISSE la dimension du plus gros granulats retenu est telle que le refus sur le tamis soit le plus proche possible de 8%.

Le tableau 2.1 présente les valeurs approximatives de la dimension maximale des plus gros granulats en tenant compte de la caractéristique de la pièce à bétonner et vice-versa.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Tableau 2. 1 : Evaluation approximative de D dimension maximale (tamis) des granulats en fonction des caractéristiques de la pièce à bétonner [14]

Caractéristiques de la pièce à bétonner	Granulats (D tamis)	
	Roulés	Concassés
e : espacement horizontal entre armatures, h : espacement vertical entre armatures, r : rayon moyen des mailles de ferrillages, Hm : épaisseur minimale.	$D \leq 0,8e \leq h$ $D \leq 1,4r$ $D \leq R$	$D \leq 0,7^e$ $D \leq 0,9h$ $D \leq 1,3r$ $D \leq 0,9R$
	$\leq \frac{Hm}{5}$	

b. Dosage minimal en ciment

La norme préconise un dosage minimal en ciment à respecter donner par la relation 2.16.

$$c \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = \frac{250 + 10f_{ck}}{\sqrt[5]{D}} \quad (2.16)$$

Avec :

- D : Dimension du plus grand granulats en mm ; f_{ck} : classe de résistance du ciment en MPa.

En milieu exposé, le dosage minimal est donné par la relation 2.17.

$$C_{min} \geq \frac{250 + 10f_{ck}}{\sqrt[5]{D}} \quad (2.17)$$

En milieu exposé non agressif, ce dosage minimal est obtenu par la relation 2.18.

$$C_{min} = \text{Max} \left\{ \frac{250 + 10f_{ck}}{\sqrt[5]{D}} ; \frac{550}{\sqrt[5]{D}} \right\} \quad (2.18)$$

Pour un béton précontraint et en milieu agressif, le dosage minimal est donné par la relation 2.19.

$$C_{min} = \text{Max} \left\{ \frac{250 + 10f_{ck}}{\sqrt[5]{D}} ; \frac{700}{\sqrt[5]{D}} \right\} \quad (2.19)$$

II.3.3.2. Données de base

Pour la formulation du béton selon la méthode de Dreux-Gorisse, nous avons besoin de savoir certains éléments qui sont les inputs de la formulation.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

a. Pour le béton

Ici, nous devons connaître :

- La résistance en compression visée à 28 jours f_{c28}
- L'ouvrabilité.

b. Pour le ciment

Nous devons connaître :

- La classe vraie du ciment σ_c'
- Et la masse volumique du ciment. c .

Pour les granulats

- La dimension maximale des granulats
- Les masses volumiques absolues et apparentes
- Eventuellement le teneur en eau.

II.3.3.3. Rapport « C/E », dosage en ciment « C » et le dosage en eau « E »

La détermination du dosage en eau et en ciment est passée par l'évaluation du rapport C/E en fonction de la résistance moyenne en compression désirée qui nécessite l'utilisation de la relation de Bolomey 2.20.

$$f_{cm} = 1,5 \cdot f_{c28} = G \cdot \sigma_c' \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right) \quad (2.20)$$

Avec :

- f_{cm} : résistance en compression majoré (15%) de f_{c28}
- f_{c28} : Résistance moyenne en compression désirée à 28 jours en MPa
- σ_c' : Classe vraie du ciment à 28 jours en MPa
- C : Dosage en ciment en kg/m³ E : Dosage en eau en l/m³
- G : Coefficient Granulaire (compris entre 0,35 et 0,65)

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Le tableau 2.2 nous donne les valeurs du coefficient granulaire G en fonction de la qualité des granulats.

Tableau 2. 2 : Les valeurs du coefficient granulaire G [5]

Qualité des granulats	Dimension Dmax des granulats		
	Fins Dmax ≤ 16mm	Moyens 20mm < Dmax < 31,5mm	Gros Dmax > 50mm
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

a. Dosage en ciment

Le rapport C/E nous donne accès au calcul du dosage en ciment 'C'. Sachant l'affaissement A considéré dans les données, l'abaque ci-dessous contenant en abscisse l'affaissement A et en ordonné le rapport C/E permet de déterminer le dosage ciment qui sont sous forme des courbes équipotentielles. Le dosage en ciment est donc fonction de C/E mais également du dosage en eau E nécessaire pour une ouvrabilité satisfaisante fonction de C/E et de l'affaissement A, la deuxième condition est vérifiée expérimentalement.

La figure 2.1 permet d'évaluer la quantité C, en fonction du rapport ciment sur eau C/E et de la consistance exigée du béton.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

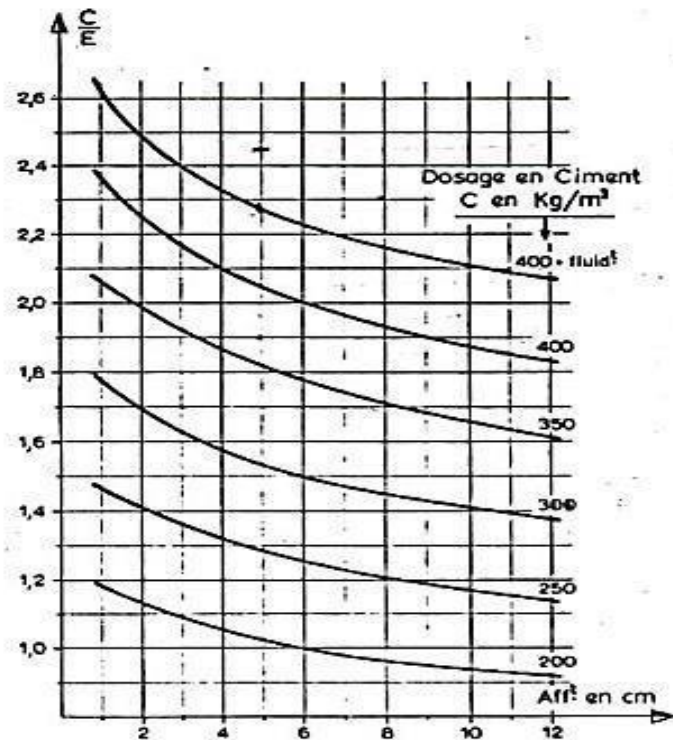


Figure 2. 7 : Rapport C/E en fonction de la consistance exigée du béton [5]

b. Dosage en eau

Ayant trouvé le dosage en ciment, sachant qu'ils sont liés par la valeur du rapport C/E, on en déduit la valeur du dosage en eau 'E', qui subira évidemment quelques ajustement selon l'affaissement prévue.

c. Correction du dosage en eau

Le dosage en eau est éventuellement ajusté en fonction du plus gros granulats.

En effet, si les dimensions des granulats sont supérieures ou inférieures à celle considérée hypothétiquement, la méthode de Dreux-Gorisse prévoit des corrections sur le dosage en eau en pourcentage pris soit en excès soit en défaut. Car plus les dimensions des granulats sont petites, la surface spécifique des grains augmente, et la plasticité équivalente aussi. Il faudra légèrement majorer le dosage en eau et inversement et vice-versa.

Le tableau 2.3 nous donne les valeurs en pourcentage de la correction de E en fonction de la dimension maximale du gros granulats.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

Tableau 2. 3 : Correction sur le dosage en eau en fonction de Dmax [5]

Dimension maximale des granulats en mm	5	8 à 10	12,5 à 16	20 à 25	30 à 40	50 à 63	80 à 100
Correction sur le dosage en eau en %	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

Après la correction, nous retrouvons la valeur E qui prend en compte les dimensions des granulats. Par ailleurs, dans la détermination de la quantité en eau pratique in situ, il est impérieux de prendre en considération la quantité en eau qu'apportent les granulats s'ils ne sont pas secs.

II.3.3.4. Dosage des granulats

La détermination du dosage en granulats d'un béton passe par la tracée de la courbe de référence, la détermination des proportions en volume des granulats, la détermination du coefficient de compacité du béton afin d'aboutir à la composition théorique du béton.

a. Tracé de la courbe granulaire de référence et de la ligne de brisure

Une ligne brisée OAB représente la composition granulométrique optimale et cela sur un graphique d'analyse granulométrique de type AFNOR où : Le point 0 est situé à l'origine, Le point B est confondu avec le point d'ordonnée 100% de la courbe granulométrique du plus gros granulats. Le point A, c'est le point de brisure ayant des coordonnées définies de la sorte :

Abscisse :

Si $D \leq 20$; l'abscisse est $n/2$. Si $D \geq 20$, l'abscisse est située au milieu du segment limité par le module 38 (5mm) et le module correspondant à n.

Ordonnée :

Elle est déterminée par la formule 2.21.

$$Y = 50 - \sqrt{1,25D} + K + K_s \quad (2.22)$$

Avec K et K_s étant des coefficients correcteurs. K dépend du dosage en ciment, de la qualité des granulats et du mode de vibration.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Le tableau 2.4 nous donne les valeurs de K en fonction du dosage en ciment, de la vibration et de la qualité des granulats.

Tableau 2.4 : Valeurs du coefficient K en fonction du dosage en ciment, de la vibration et de la qualité des granulats [5]

K	Vibration	Faible		Normale		Puissante		
		Granulat	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment (Kg/m³)	400+ Fluidifiant		-2	0	-4	-2	-6	-4
	400		0	+2	-2	0	+2	-2
	350		+2	+4	0	+2	-2	0
	300		+4	+6	+2	+4	0	+2
	200		+6	+8	+4	+6	+2	+4
Note : pour le béton pompé, on augmentera la plasticité en ajoutant un autre terme correcteur K' (K'=5 à 10 selon la plasticité voulue)								

Et pour déterminer la valeur de K_s, il suffit d'utiliser la relation 2.23.

$$K_s = \{6M_f - 15 \text{ si } M_f \geq 2,5 \text{ sinon}$$

Avec M_f : Module de finesse du sable.

Après avoir défini la courbe granulaire on trace la ligne de partage en reliant le point d'ordonnée 95% de la première courbe au point d'ordonnée 5% de la courbe suivante. L'ordonnée du point d'intersection entre la ligne de partage et la courbe granulaire de référence indique les proportions respectives de chaque granulat. Dans le cas d'un mélange ternaire c'est-à-dire béton à trois granulats, le traçage d'une deuxième ligne de partage entre les deux derniers granulats s'effectue selon les mêmes processus, ce qui permet de déterminer les proportions respectives de ces derniers.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

b. Coefficient de compacité

Le coefficient de compacité γ_c c'est le rapport à un mètre cube du volume absolu des matières solides (ciment et granulats) réellement contenues dans un mètre cube de béton frais en œuvre [15].

Le Tableau 2.5 reprend les différentes valeurs du coefficient de compacité fonction de la plasticité, du diamètre maximal et du type de vibration.

Tableau 2. 5 : Valeurs du coefficient de compacité en fonction du dosage en ciment, de la vibration et de la qualité des granulats [15]

Consistance	Serrage	Coefficient de compacité γ_c						
		D=5	D=10	D=12,5	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	0,800	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	0,845	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,850	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,855	0,855

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

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

- Sable roulé et gravier concassé : $\gamma-0,01$
- Sable et gravier concassés : $\gamma-0,03$
- Granulats légers : $\gamma -0,03$
- En fonction du dosage en ciment : $\gamma + \frac{C-350}{5000}$

c. Dosage proprement dit

Dans cette section sont présentés les divers dosages notamment le dosage volumique, le dosage massique et la masse volumique théorique.

i. Dosage volumique

Si C est le dosage en ciment et ρ_c la masse spécifique du ciment, le volume absolu des grains de ciment est obtenu par la relation 2.24.

$$V_c = \frac{C}{\rho_c} \quad (2.24)$$

Si γ est le coefficient de compacité choisit dans le tableau 2.5 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 2.25.

$$V = \gamma - V_c \quad (2.25)$$

Les volumes absolus de chacun des granulats sont par la suite obtenus par les relations 2.26 et 2.27.

$$V_s = \%s \times V \quad (2.26)$$

$$V_g = \%g \times V \quad (2.27)$$

Avec :

- V_s et V_g , respectivement les volumes absolus du sable et des gravillons ;

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

- %s et %g, les pourcentages du sable et des gravillons obtenus sur les compositions optimales des bétons et V, le volume absolu des granulats. **ii. Dosage massique**

Connaissant les masses spécifiques ρ_s et ρ_g , respectivement masse spécifique du sable et du gravier, on déduit les masses m_s et m_g , respectivement masse du sable et du gravier, de la relation 2.28 et 2.29.

$$m_s = V_s \times \rho_s \quad (2.28)$$

$$m_g = V_g \times \rho_g \quad (2.29)$$

iii. La masse volumique théorique

Connaissant les masses respectives du sable (m_s) et du gravier (m_g), on détermine la masse totale des granulats à partir de la relation 2.30.

$$G = m_s + m_g \quad (2.31)$$

Avec :

- G : la masse totale des granulats
- m_s : la masse respective du sable
- m_g : la masse respective des graviers

La masse volumique théorique du béton s'obtient par la relation 2.32.

$$\rho = G + C + E \quad (2.32)$$

Avec

- G : masse des granulats
- C : masse du ciment
- E : masse de l'eau
- ρ : masse volumique théorique

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

II.4. CARACTERISTIQUES DU BETON

Pour une bonne caractérisation du béton, il a été nécessaire d'étudier ses propriétés sous ses deux états, notamment à l'état frais et à l'état durci.

II.4.1. Caractéristiques du béton à l'état frais

La caractérisation du béton à l'état frais se fera par la connaissance de son ouvrabilité.

II.4.1.1. Essai d'ouvrabilité

a) But

Cet essai nous permet d'apprécier la maniabilité du béton (granulat < 25 mm). b)

Principe

Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son propre poids. Plus cet affaissement sera grand et plus le béton sera réputé fluide. Elle est faite conformément à la norme NF P 18 451.

c) Mode opératoire

D'après la norme NFP 18-451, on met le béton frais dans le moule en trois couches en les piquetant à raison de 25 coups par couche. Le mode opératoire de cet essai se présente comme suit :

- Mouiller l'intérieur du moule et la plaque d'appui à l'aide d'une éponge.
- Placer le moule avec la rehausse sur la plaque.
- A l'aide d'une truelle remplir le moule de béton frais, en trois couches d'égale hauteur.
- Compacter chaque couche par 25 coups à l'aide de la tige de piquage.
- Retirer la rehausse, araser le dessus du moule et nettoyer le support autour du moule.
- Araser le moule à l'aide d'une règle.
- Le démoulage s'opère en soulevant le moule avec précaution entre 5 et 1 Os.
- Retirer le moule verticalement avec précaution.
- Mesurer l'affaissement du cône par rapport au point le plus haut du béton juste après le démoulage.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

- La durée totale de l'essai du début du remplissage à la mesure de l'affaissement est de 2min 30s.

d) 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.



Figure 2. 8 : Un cône d'Abrams

e) Expression des 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 2.6 donne les classes de consistance selon l'affaissement mesuré.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Tableau 2. 6 : Valeurs de l'affaissement en fonction de la consistance du béton

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 (Fl.)	≥16	

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) [5].

II.4.2. Caractéristiques 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.

II.4.2.1. La masse volumique

a) But

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

b) Principe

Il s'agit de peser la masse des éprouvettes confectionné et le diviser par le volume occupé avant écrasement.

c) Mode opératoire

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

d) Expressions de résultats

La masse volumique du béton durci est obtenue à partir de la relation :

$$\rho_b = \frac{M_{\text{épreuve}}}{V_{\text{épreuve}}} \quad (2.33)$$

Avec : ρ_b la masse volumique du béton

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

II.4.2.2. Essai de compression

La résistance à la compression du béton est déterminée par un essai normalisé (NF P 18-406, Décembre 1981).

a) But

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

b) Principe

L'essai consiste à placer les éprouvettes entre les plateaux d'une presse à béton. L'effort de compression est appliqué progressivement à une vitesse de 10 ± 4 kN par seconde, La charge maximale atteinte avant la rupture permet de calculer la résistance à la compression.

c) 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 à béton, qui indiquera la fin de l'écrasement et la valeur de la résistance en compression. Il s'agit donc d'un essai destructif

d) Appareillage

Pour comprimer les éprouvettes, on utilise une presse. Pour ce travail, on a eu à utiliser une presse hydraulique.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne



Figure 2. 9 : Une presse hydraulique

e) Expression de résultats

La détermination de la résistance à la compression simple des bétons s'est faite sur des Éprouvettes cylindriques. La presse utilisée est électrique à doubles manomètres et grands plateaux.

$$R_{cj} = \frac{F}{A} \quad (2. 34)$$

Avec :

- R_{cj} : résistance à la compression à j jours en MPa ou N/mm² ;
- F : valeur de la charge de rupture en N ;
- A : section de l'éprouvette cylindrique en mm²

II.5. CONCLUSION PARTIELLE

Ce chapitre a présenté les différents essais effectués sur les constituants du béton ainsi que sur le béton lui-même ; il donne un aperçu sur la formulation du béton par la méthode de Dreux-Gorisse.

Le chapitre suivant est consacré à la présentation et l'interprétation des résultats obtenus.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Chapitre 3 : PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS INTRODUCTION

Le béton est un matériau hétérogène formé de plusieurs constituants : granulats, liant, eau et éventuellement des adjuvants. Cette partie s'articule sur la présentation de différents **constituants** du béton et l'interprétation de résultats obtenus après essai au laboratoire. Il s'agit de donner les caractéristiques des constituants du béton, ainsi celles du béton à l'état frais et durci.

III.1. PRESENTATION DES CONSTITUANTS

Dans cette section, nous allons présenter les divers constituants du béton dont : le sable, les graviers, le ciment et l'eau.

III.1.1. Le sable

Le sable utilisé est un sable roulé, d'origine d'Idjwi présenté à la figure 3.1.



Figure 3. 1 : Le sable roulé d'Idjwi

III.1.2. Les graviers

Etant donné que ce travail porte sur une étude comparative, nous avons eu à utiliser deux types de graviers de nature différente.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

1. Les graviers tout-venants

Les tout-venants utilisés sont de graviers d'origine volcanique présente dans la ville de Goma, présenté à la figure 3.2.



Figure 3. 2 : Gravier roulés de Goma

2. Les graviers concassés

Les graviers concassés utilisés sont issus de Rutshuru, la figure 3.3 donne les renseignements virtuels.



Figure 3. 3 : Gravier concassés de Rutshuru

III.1.3. Le ciment

Le ciment prima est d'origine Rwandaise et de couleur grise, sa classe commerciale est de 42,5. La figure 3.4 montre son état virtuel.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne



Figure 3. 4 : Ciment prima

III.1.4. L'eau

L'eau utilisée est une eau potable de la REGIDESO.

III.2. CARACTERISTIQUES DES CONSTITUANTS

Pour une bonne caractérisation des constituants, il a été nécessaire d'étudier ses propriétés. Cette caractérisation s'est faite par différents essais normalisés sur le sable, les graviers et le ciment.

III.2.1. Le sable

Dans cette section nous présentons respectivement les résultats de l'analyse granulométrique, le module de finesse, le degré de propreté du sable, la masse volumique absolue et apparente.

III.2.1.1. Les masses volumiques

Après essai au laboratoire, le résultat de la masse volumique apparente ainsi que celui de la masse volumique absolue sont repris dans le tableau 3.1.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Tableau 3. 1 : Résultats des masses volumiques du sable roulé

Matériaux	Masse volumique absolue en g/cm^3	Masse volumique apparente en g/cm^3
Sable roulé	2,5	1,35

Avec une masse volumique absolue égale à $2,5 \text{ g/cm}^3$, le sable roulé d'Idjwi est un granulat dur d'après le tableau 1.1.

III.2.1.2. Analyse granulométrique par tamisage

La Figure 3.5 présente le graphique des courbes granulométriques du sable roulé. L'axe des abscisses reprend les différents modules des tamis (en mm) utilisés et celui des ordonnées les pourcentages cumulés des passants.

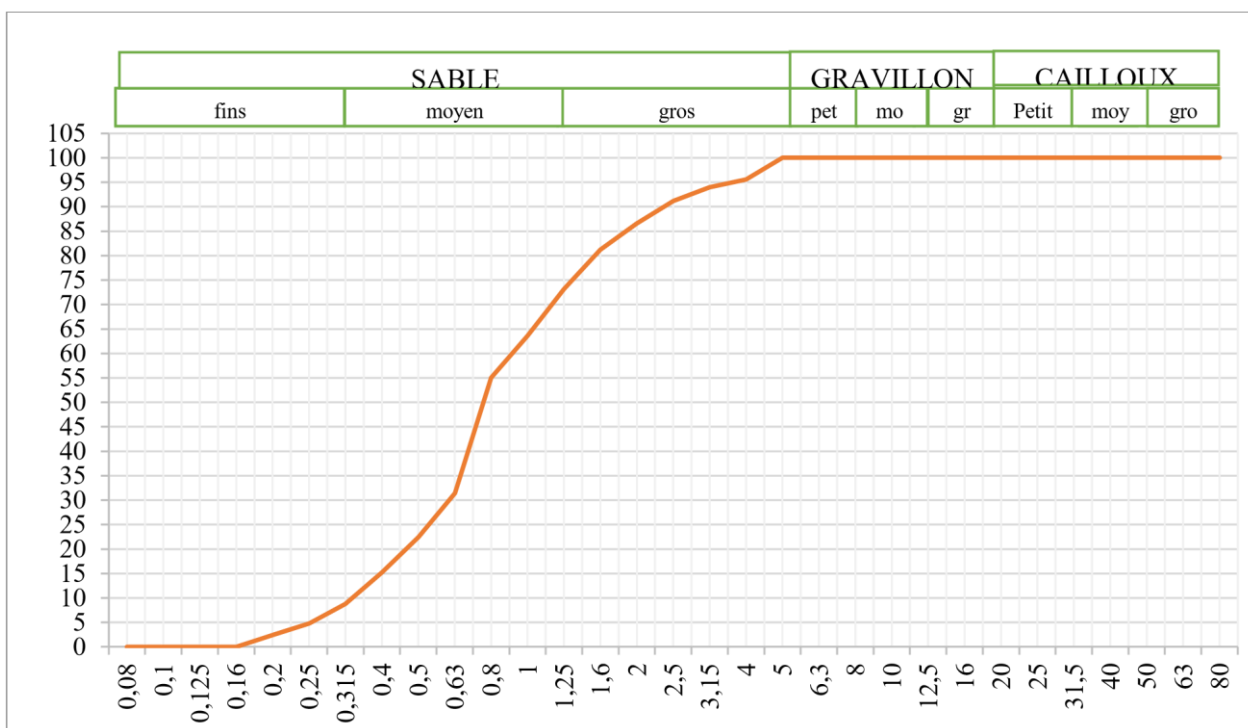


Figure 3. 5 : La courbe granulométrique du sable roulé

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.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

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 trouvé est de 2,95. Il est compris entre $2,8 < M_f < 3,2$. Le sable est en manque d'éléments fins et perd en ouvrabilité du béton.

III.2.1.4. Equivalent sable

Le tableau 3.3 représente le résultat de l'essai de propreté du sable.

Tableau 3. 2 : Degré de propreté du sable roulé

Essai	ES à vue	ES à piston	Moyenne en %
Valeur de l'équivalent sable	97,4	92,265	94,83

Après essai au laboratoire sur le degré de propreté du sable, nous avons trouvé $ES = 94,83\%$.

Remarquons que le coefficient $ES > 80\%$, le sable d'Idjwi est donc propre et bon pour la formulation du béton.

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. Les masses volumiques

Les résultats de l'essai déterminant la masse volumique absolue et de la masse volumique apparente sont représentés dans le tableau 3.4.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Tableau 3.3 : Résultats de la masse volumique absolue et celui de la masse volumique apparente

Matériaux	Masse volumique absolue en g/cm^3	Masse volumique apparente en g/cm^3
Graviers tout-venants	2,46	1,23
Graviers concassés	2,83	1,49

D'après le tableau 1.1, on remarque que les graviers tout-venants sont des granulats durs tandis que les graviers concassés de Rutshuru sont des granulats courants.

III.2.2.2. L'analyse granulométrique

Comme c'est une étude comparative entre le béton à base de graviers tout-venants et le béton à base de graviers concassés, nous avons eu à effectuer deux essais granulométriques pour déterminer la composition et la répartition granulométriques de granulats.

a. Les graviers tout-venants

La Figure 3.6 présente le graphique des courbes granulométriques du sable roulé. L'axe des abscisses reprend les différents modules des tamis (en mm) utilisés et celui des ordonnées les pourcentages cumulés des passants.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

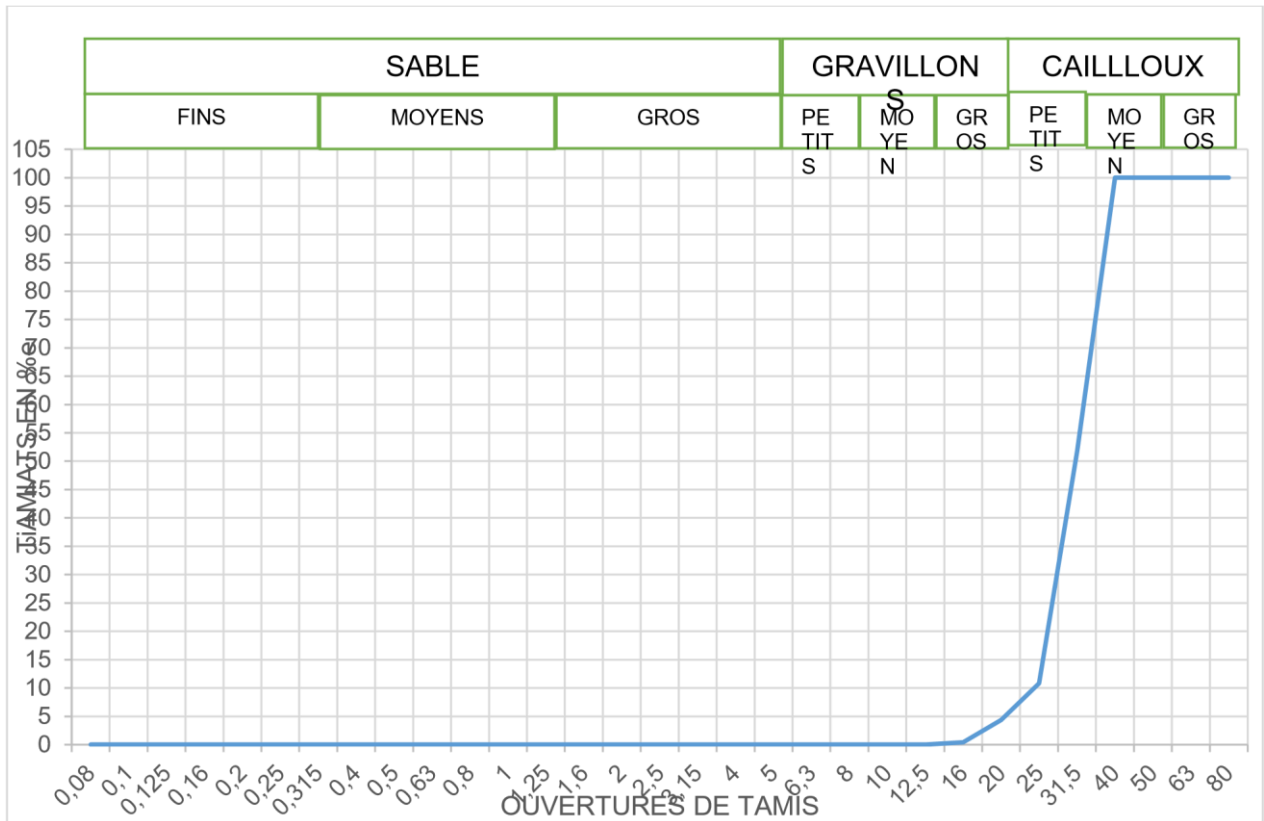


Figure 3. 6 : La courbe granulométrique des graviers roulés

On remarque qu'on a des gravillons 12,5/31,5 à granulométrie continue. L'allure de la courbe granulométrique des graviers montre que les graviers tout-venants présentaient une granulométrie plus ou moins préférentielle puisque la courbe est presque en S.

b. Les graviers concassés

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 tamisats.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

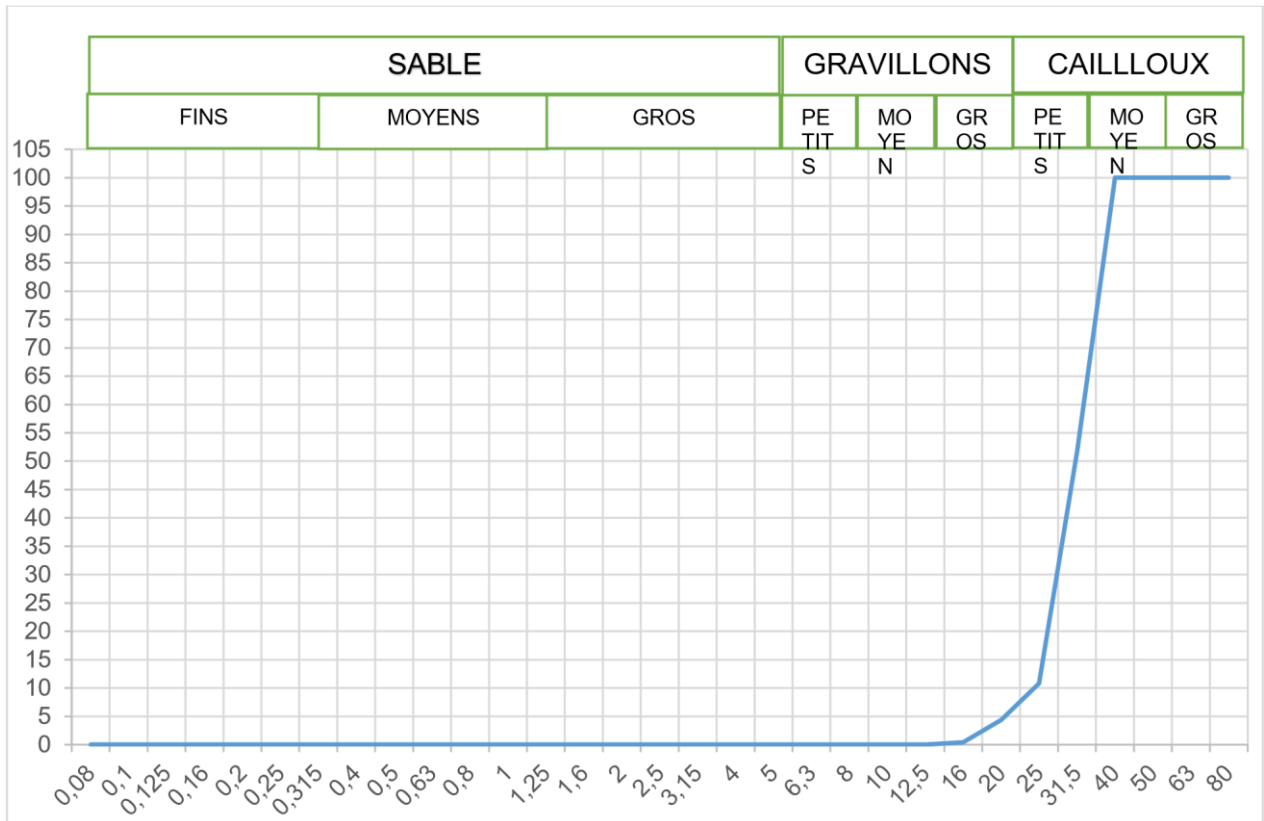


Figure 3.7 : La courbe granulométrique des graviers concassés

On remarque qu'on a des gravillons 16/31,5 à granulométrie continue. L'allure de la courbe granulométrique des graviers montre que les graviers concassés présentaient une granulométrie plus ou moins préférentielle puisque la courbe est presque en S.

III.2.2.3. Absorption d'eau

Le tableau 3.7 reprend les résultats du taux d'absorption d'eau des graviers.

Tableau 3.4 : Résultats du taux d'absorption d'eau

Matériaux	Ab en %
Graviers tout-venants	3,47
Graviers concassés	0,21

Remarquons que pour les graviers tout-venants, le coefficient d'absorption d'eau trouvé était de

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

3,47% qui est le pourcentage de 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, tandis que pour les graviers concassés, le coefficient d'absorption d'eau trouvé était de 0,21%.

III.2.3. Le ciment

III.2.3.1. La masse volumique absolue du ciment

Tableau 3. 5 : Masse volumique absolue du ciment

Matériaux	Masse volumique absolue en g/cm ³
Ciment Prima	3,096

III.2.3.2. La consistance normale

La consistance du ciment trouvée est de 5mm de hauteur avec 29% de quantité d'eau pour un échantillon de ciment de 500g.

III.3. RESULTATS DE LA FORMULATION DES BETONS D'ETUDE

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

Le tableau 3.9 représente les données qui seront utilisées pour la confection du béton.

Tableau 3. 6 : Données de base pour la formulation

Données de base	Valeurs
Résistance souhaitée	20Mpa
Classe vraie du ciment	30 MPa
Consistance désirée	6cm
Type de vibration	Normal
Coefficient granulaire	0,5
Dmax	31,5mm

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

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.

i. Dosage en ciment et en eau

La formule de Bolomey (2.20) et la Figure 2.6 ont permis de trouver le dosage en ciment et le dosage en eau pour un m³ de béton. Le dosage en eau a été corrigé à partir du Tableau 2.3. Les différentes valeurs obtenues sont reprises dans le Tableau 3.7.

Tableau 3. 7 : Dosage en ciment et en eau

Désignation	Béton à graviers tout-venants	Béton à graviers concassés
Dosage en ciment (Kg/m ³)	400	400
Dosage en eau	192	192

Le dosage en eau dans le Tableau 3.7 a été majoré progressivement : pour le cas du béton à graviers tout-venants la majoration était de 40%, et pour le béton à graviers concassés la majoration était de 25%. Cette majoration était faite tout en appréciant la plasticité du mélange. Les dosages en eau définitifs étaient donc de 268,8Kg pour le béton à graviers tout-venants et de 240Kg pour le béton à graviers concassés, tout ça pour un mètre cube de béton.

ii. 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 repris les coordonnées de la courbe de référence.

Tableau 3. 8 : Cordonnée de la courbe de référence OAB

Désignations	Béton à graviers tout-venants			Béton à graviers concassés		
	O	A	B	O	A	B
X (mm)	0	12,5	31,5	0	12,5	31,5
Y (%)	0	45,11	100	0	47,11	100

Il advient donc que :

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

- Pour le béton à graviers tout-venants ; le sable entre dans la composition à 42% et les graviers à 58%.
- Pour le béton à graviers concassés ; 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 m³ de béton sont repris dans le Tableau 3.9.

Tableau 3. 9 : Dosage massique des granulats

Désignation	Béton à graviers tout-venants	Béton à graviers concassés
	Dosage massique (Kg/m ³)	
Sable	871,29	922,27
Graviers	1183,96	1276,02

Il ressort du tableau 3.9 que pour un mètre cube de béton :

- Pour le béton à graviers tout-venants, le dosage en sable était de 871,29 Kg et le dosage en graviers de 1183,96 Kg.
- Pour le béton à graviers tout-venants, le dosage en sable était de 922,27 Kg et le dosage en graviers de 1276,02 Kg.

III.4. CARACTERISTIQUES DU BETON

Dans cette section sont repris les différents résultats des essais effectués sur le béton d'étude notamment l'ouvrabilité, la masse volumique, ainsi que la résistance à la compression.

III.4.1. Ouvrabilité

Les différentes valeurs trouvées au cône d'Abrams sont représentées dans le tableau 3.20.

Tableau 3. 10 : Valeurs de l'affaissement

Matériaux	Béton à base des graviers tout-venants	Béton à base des graviers concassés
Affaissement au cône d'Abrams	5,6	6

Il est à remarquer que les bétons confectionnés sont plastiques car les valeurs de l'affaissement se trouvent dans la plage de 5 à 9.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

III.4.2. La masse volumique

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

Tableau 3. 11 : Masses des éprouvettes avant écrasement

Matériaux	Béton à graviers tout-venants	Béton à graviers concassés
Masse en gramme	14 366	14826

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

D'où on aura :

Tableau 3. 12 : Masse volumique du béton durci

Matériaux	Béton à graviers tout-venants	Béton à graviers concassés
Masse volumique en (g/cm^3)	2,23	2,3

Etant donné que les masses volumiques des bétons sont comprises entre 1,8 et 2,5 ; donc nous avons des bétons lourds.

III.4.3. Résistance à la compression

Les résultats des essais de compression obtenus par des manipulations relatives à l'écrasement des éprouvettes de béton 16*32 cm à 28 jours sont repris dans le tableau ci-dessous, indiquant les différentes résistances pour chaque béton confectionné.

Les différentes valeurs de la résistance en compression obtenues pour le béton à base des graviers tout-venants et le béton à base des graviers concassés sont représentées dans le tableau 3.13.

Tableau 3. 13 : Valeurs de la résistance à la compression du béton à base des graviers tout-venants

Béton	Résistance en MPa
Béton à base des graviers tout-venants	5,283
Béton à base des graviers concassés	7,067

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Il ressort du Tableau 3.13 que le béton fait à base des graviers tout-venants a atteint une résistance moyenne à la compression à 28 jours de 5,283 MPa. Cette faible résistance serait dû à la majoration du dosage en eau qui était de 40% ; mais également à la classe vraie du ciment qui n'atteignait pas 42,5 MPa.

De même, pour le béton fait à base des graviers concassés, la résistance moyenne à la compression à 28 jours était de 7,067 MPa.

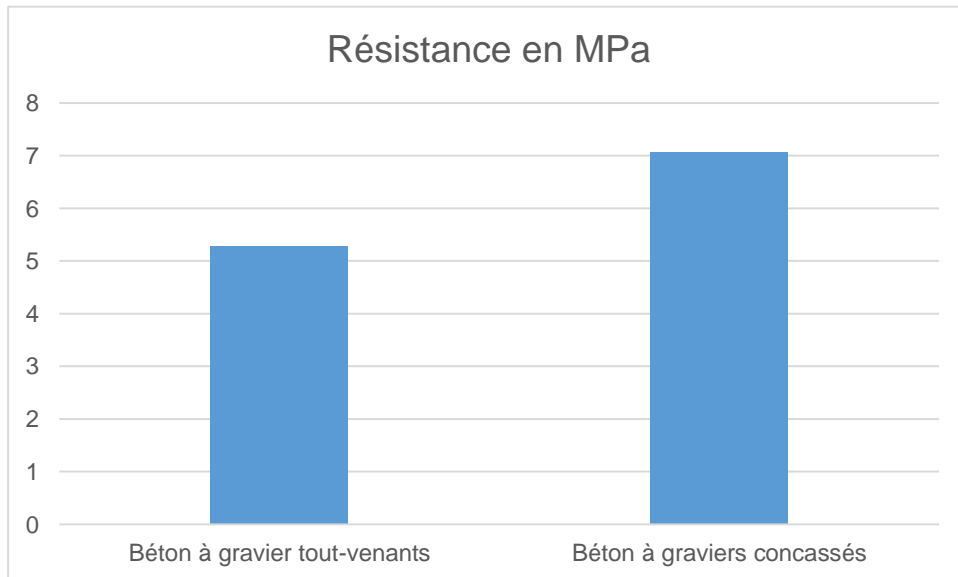


Figure 3. 8 : Résistance à la compression à 28jours

L'histogramme montre l'allure des différentes valeurs résistance à la compression. On remarque que le béton à graviers concassés a une résistance moyenne qui est supérieur de 8,92% que le béton à base des graviers tout-venants.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

III.5. CONCLUSION PARTIELLE

Ce chapitre portant sur la présentation des constituants et l'interprétation des résultats a pu montrer les différentes caractéristiques de constituants du béton, ainsi que celles du béton à son état frais comme à l'état durci.

Après caractérisation des matériaux ; il a été remarqué que le sable d'Idjwi était un sable propre de degré de propreté de 94,83% ; les graviers tout-venants étaient des granulats durs de par leur masse volumique avec un taux d'absorption d'eau de 3,47% et les graviers concassés étaient des granulats courants avec un taux d'absorption de 0,21%. Le béton à base des graviers tout-venants présentait un affaissement de 5,6 centimètres et une résistance moyenne à la compression de 5,283 MPa tandis que le béton à base de graviers concassés présentait un affaissement de 6 centimètres et une résistance moyenne à la compression de 7,067 MPa.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

CONCLUSION GENERALE

Le présent travail a porté sur l'étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venant de GOMA et celui fait à base des graviers concassés provenant de RUTSHURU. Pour y parvenir, premièrement il a été question de caractériser les différents constituants du béton notamment le sable, les graviers et le ciment ; deuxièmement, les bétons d'études ont été formulés par la méthode de Dreux-Gorisse ; et enfin troisièmement, les bétons d'étude ont été caractérisés sous ses deux états notamment à l'état frais et à l'état durci. A l'issus de ces essais, les valeurs obtenues ont été comparées.

La recherche des masses volumiques absolues a été effectuée selon la norme NF 18-554(1990) et a montré que les graviers tout-venants étaient des granulats durs tandis que les graviers concassés étaient des granulats courants.

Le taux d'absorption d'eau par les granulats a été effectué selon la norme NF P 18-555 et a montré que les graviers tout-venants étaient plus poreux que les graviers concassés. De ce fait, pour le béton à base des graviers tout-venants, le dosage en eau lors de la confection a été majoré jusqu'à 40%, et pour les graviers concassés, ce dosage a été majoré de 25%. Ces majorations du dosage en eau lors de la confection, ont permis l'obtention des bétons plastiques tout en appréciant l'ouvrabilité du mélange.

Les résultats de l'essai de compression selon la norme NF P 18-406, Décembre 1981 ont montré que le béton à graviers tout-venants a atteint une résistance moyenne à la compression à 28 jours de 5,283 MPa, et les bétons à graviers concassés une résistance moyenne à la compression à 28 jours de 7,067 MPa. Ces faibles résistances par rapport à la résistance visée lors de la formulation qui était de 20 MPa, seraient dues à la majoration du dosage en eau lors de la confection, à une longue durée de conservation du ciment avant son utilisation, et ainsi qu'à la classe vraie du ciment qui n'atteignait pas 42,5 MPa. Ainsi, le béton à base de graviers tout-venants a donné des caractéristiques mécaniques inférieure à celles du béton fait à base des graviers concassés.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Sans pour autant prétendre avoir épuisé le sujet ou d'avoir établi un résultat définitif, nous restons ouverts aux éventuelles contradictions pouvant émaner d'autres recherches et des travaux futurs.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Bibliographie

- [1] U. Miche, Les granulats, Décembre 2005.
- [2] .: C. I. A. ALINABIWE, Cours de physique et technologie du béton ; G3-GC, GOMA, 2021-2022.
- [3] M. K. Arsène, Caractérisation des graviers utilisés dans la confection du béton à Goma, Goma : ULPGL, 2017-2018.
- [4] K. M. Sarah, *Etude de la revalorisation du verre dans le béton en vue du remplacement partiel des graviers par les calcins*, GOMA, 2021.
- [5] A. ALINABIWE, Cours de physique et technologie du béton, GOMA, 2022.
- [6] Matériaux de construction, Jounieh: Université SAINT ESPRIT DE KASLIX.
- [7] D. G. Fouad, Science des matériaux de construction, Tlemcen : Universté ABOU BEKR BELKAID.
- [8] R. M. Abdeldjabbar, Corrélation entre fragmentation dynamique et aplatissement des granulats de la région Sud-Est, memoire inédit Kasdi Merbah-Ouagda, 2012.
- [9] K. H. Louise, Etude de l'influence de certains ajouts sur le ciment courants:cas des ciments utilisés dans la ville de Goma, GOMA: ULPGL, 2020.
- [10] M. G. OLEMBE, Contribution à l'étude des matériaux couramment utilisés à Goma en vue de la confection des betons, GOMA : ULPGL, 2017.
- [11] F. NGAPGUE, Cours de phisique et technologie du béton, G3 genie civil, 2016-2017.
- [12] B. K. Yvan, ETUDE COMPARATIVE DES BETONS AUTOPLAÇANTS FORMULES A PARTIR DE LA METHODE DE DREUX-GORISSE ET CELLE DE BOLOMEY, GOMA: ULPGL, 2021.
- [13] P. G. Fouad, Matériaux de Construction, UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID.
- [14] G. FRANCQUEVILLE, LA TECHNOLOGIE DU BETON, France.
- [15] J. F. & G. DREUX, Nouveaux guide du béton et de ses constituants, Huitième édition, Eyrolles, Novembre 2006.
- [16] B. Layachi, Le recyclage des bétons de démolition, solution pour le développement durable. Formulation et copmportements physiques et mécaniques des bétons à base de ces recyclés. Memoire, Annaba, 2009.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

- [17] L. RODIER, Matériaux de construction en zone tropicale humide, Thèse pour le doctorat en chimie des matériaux, UNIVERSITE DES ANTILLES ET DE LA GUYANE, 2014.
- [18] A. Ally, Cours de physique et technologie du béton; G3-GC, GOMA, 2021-2022.

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

ANNEXES

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

ANNEXE 1 : ESSAI SUR LES GRANULATS

1. Equivalent sable

Mesures	Eprouvette 1	Eprouvette 2
h1 (cm)	9,4	9,5
h1p(cm)	9	8,9
h(cm)	9,7	9,7
ESv%	96,9	97,9
Esp%	92,78	91,75
ES%	94,84	94,82
Moyenne en %	94,83	

2. La masse volumique absolue du sable roulé, graviers roulés et graviers concassés

Matériaux	Sable roulé		Graviers roulés		Graviers concassés	
	Essai 1	Essai 2	Essai 1	Essai 2	Essai 1	Essai 2
Volume d'eau en ml	400	150	400	600	400	600
Volume d'eau + granulats en ml	479	230	520	764	510	730
Masse sèche de granulats en g	200	200	300	399,93	300	384,4
Masse volumique absolue en g/ cm ³	2,53	2,5	2,5	2,43	2,72	2,95
Moyenne en g/ cm ³	2,51		2,46		2,83	

3. La masse volumique apparente

Matériaux	Sable roulé		Graviers roulés		Graviers concassés	
	Essai 1	Essai 2	Essai 1	Essai 2	Essai 1	Essai 2
Volume du moule en cm ³	911,06	911,06	913,35	911,06	913,35	911,06
Masse du moule	3965	3965	3965	3965	3965	3965

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

Masse du moule + granulats	5189	5236	5088	5080	5315	5236
Masse volumique apparente en g/ cm³	1,31	1,39	1,229	1,223	1,478	1,49
Moyenne en g/ cm³	1,35		1,23		1,49	

4. Analyse granulométrique a. Répartition granulométrique du sable roulé

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	0	0	100	
3/16"	38	4,76	5	0	0	100	
5	37	4	4	110	4,4	95,6	
6	36	3,36	3,15	150	6	94	
8	35	2,38	2,5	220	8,8	91,2	
10	34	2	2	335	13,4	86,6	
12	33	1,68	1,6	470	18,8	81,2	

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

16	32	1,19	1,25	670	26,8	73,2	
18	31	1	1	910	36,4	63,6	
20	30	0,84	0,8	1125	45	55	
30	29	0,59	0,63	1715	68,6	31,4	
35	28	0,5	0,5	1940	77,6	22,4	
40	27	0,4	0,4	2120	84,8	15,2	
50	26	0,315	0,315	2280	91,2	8,8	
60	25	0,25	0,25	2380	95,2	4,8	
70	24	0,2	0,2	2440	97,6	2,4	
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	

b. Répartition granulométrique des graviers tout-venants

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	507,62	20,31	79,69	
1"	45	25,4	25	1125	45	55	
3/4"	44	19,1	20	1930	77,2	22,8	
2/3"	43	16,9	16	2430	97,2	2,8	
1/2"	42	12,7	12,5	2495	99,8	0,2	
3/8"	41	9,52	10	2500	100	0	

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

1/3"	40	7,93	8	2500	100	0	
1/4"	39	6,35	6,3	2500	100	0	
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	

c. Répartition granulométrique des graviers concassés de Rutshuru

Numéro TAMIS		OUVERTURE (en mm)		REFUS CUMULES		TAMISAT	REMARQUE
ASTM	AFNOR	ASTM	AFNOR	(g)	(%)	En (%)	
3"	50	76,2	80	0	0	100	
21/2"	49	63,5	63	0	0	100	

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

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	1205	48,2	51,8	
1"	45	25,4	25	2230	89,2	10,8	
3/4"	44	19,1	20	2390	95,6	4,4	
2/3"	43	16,9	16	2490	99,6	0,4	
1/2"	42	12,7	12,5	2500	100	0	
3/8"	41	9,52	10	2500	100	0	
1/3"	40	7,93	8	2500	100	0	
1/4"	39	6,35	6,3	2500	100	0	
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	

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne

140	21	0,1	0,1	2500	100	0	
200	20	0,08	0,08	2500	100	0	

ANNEXE 2 : ESSAI SUR LE CIMENT PRIMA

1. La masse volumique absolue

Masse du pycnomètre + pétrole (m1)	329,92g
Volume initial	0 ml
Masse du pycnomètre + pétrole + ciment (m2)	384,41g
Volume final	17,6 ml
Masse volumique en g/cm³	3,096

ANNEXE 3 : ESSAI SUR LE BETON DURCI

1. Masse des éprouvettes avant écrasement

Matériaux	Béton à graviers toutvenants	Béton à graviers concassés
Eprouvette 1	14 235	14 730
Eprouvette 2	15 505	14 655
Eprouvette 3	13 360	15 095

2. Masse volumique du béton durci

Matériaux	Béton à graviers toutvenants	Béton à graviers concassés
Masse volumique 1(g/cm³)	2,21	2,29
Masse volumique 2(g/cm³)	2,41	2,29
Masse volumique 3(g/cm³)	2,07	2,34
Moyenne(g/cm³)	2,23	2,3

3. Résistance en compression du béton

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

Matériaux	Béton à base des graviers tout-venants	Béton à base des graviers concassés
Eprouvette 1	5,188	8,481
Eprouvette 2	5,121	5,765
Eprouvette 3	5,539	6,957
Moyenne	5,283	7,067

Étude comparative entre le béton fait à base des graviers tout-venants de Goma et le béton à base des graviers concassés de Rutshuru

CIRIGIRHI SOKI Marie-Jeanne