UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Etude de l'impact de la nature des granulats locaux utilisés sur la résistance des structures en béton arme au Burundi

MBONANKIRA, Franck

2021-10
UB, FSI
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/34

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR

MASTERE PROFESSIONNEL EN GENIE CIVIL, AMENAGEMENT ET MAITRISE DES PROJETS

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE :

« ETUDE DE L'IMPACT DE LA NATURE DES GRANULATS LOCAUX UTILISES SUR LA RESISTANCE DES STRUCTURES EN BETON ARME AU BURUNDI. »

Présenté par : MBONANKIRA Franck

Jury composé par :

Dr Ir BIZINDAVYI Josias : Président

Dr Ir Paul NIBASUMBA : Directeur

Dr Ir HATUNGIMANA Daniel : Lecteur principal

OCTOBRE 2021

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY

Dr Ir BIZINDAVYI Josias : Président

Dr Ir Paul NIBASUMBA : Directeur

Dr Ir HATUNGIMANA Daniel : Lecteur principal

DEDICACE

Je dédié ce modeste travail :

A ceux qu'ils ont veillés sur moi pendant toujours, mes chers parents,

A toute ma famille, mes frères, mes sœurs,

A tous mes amis

A tous les enseignants du département de génie civil

REMERCIEMENT

Au terme de ce travail, je tiens à remercier en premier lieu DIEU

Miséricordieux qui m’a donné la volonté et la patience pour achever ce mémoire.

J’adresse ma profonde et respectueuse gratitude à Monsieur Dr Ir Paul NIBASUMBA qui a dirigé ce travail de recherche attentivement et efficacement l'évolution de ce travail.

A tout le personnel du laboratoire de l’université du Burundi (campus KIRIRI)

Enfin, Que tous les enseignants qui ont contribués à ma formation trouveront ici ma profonde reconnaissance.

RESUME

Aujourd'hui le béton est le matériau de construction le plus utilisé dans le monde en général et au Burundi ; en particulier. Il est bien connu que formuler un béton est avant tout un problème de compacité. La performance d'un béton dans une structure en béton armée est influencée par la nature de ses composants dont les granulats. Il est donc important de s'assurer de leur impact sur la résistance mécanique du béton. Les granulats locaux utilisés au Burundi ont attiré notre attention d'où la présente étude. Les granulats constituent le squelette granulaire et garantissent la résistance mécanique du béton. Les trois types de granulats utilisés au Burundi présentent une morphologie différente en termes d'aspect de surface (rugueuse et lisse), de forme (anguleuse et arrondie).

Les granulats représentent 60 à 80 % du volume total du béton. La compacité joue donc un rôle « clé » sur les propriétés du béton frais notamment sur l'ouvrabilité et a un impact sur les propriétés mécaniques du béton durci.

L'objectif de cette étude est de formuler des bétons confectionnés avec chaque type granulat (roulés, concassés et de carrière) pour évaluer leur effet sur la résistance à la compression de béton.

Les essais préliminaires ont été réalisés sur les trois types des granulats locaux en vue de déterminer le mélange optimal granulaires pour chaque type de granulat afin de confectionner des échantillons de béton qui seront écrasés pour mesurer la résistance à la compression du béton.

Cette étude expérimentale nous a permis de comparer l'influence des caractéristiques minéralogiques de chaque type de granulat sur le comportement mécanique du béton. La résistance en compression du béton confectionné à partir des granulats roulés et granulats concassés est presque la même. On trouve une grande diminution de résistance sur les bétons confectionnés à l'aide des granulats de carrière. Les résultats obtenus montrent que la résistance du béton confectionné à l'aide de granulats roulés et concasses présentent un résultat meilleur par rapport au béton réalisé à l'aide de granulats de carrière.

Selon les résultats de la présente étude, ceci peut s'expliquer par leur origine minéralogique ou la teneur en fine des granulats plus le module de finesse est faible plus il y a une diminution de résistance à la compression du béton.

Mot clé : Granulats, béton, résistance à la compression

ABSTRACT

Today the concrete is the building material more used in the world. It is well-known that to formulate a concrete is above all a problem of compactness. The performance of concrete in a reinforced concrete structure is influenced by the nature of its components including aggregates.it is important to ensure their impact on the mechanical resistance of concrete. The local aggregates used in Burundi drew our attention, hence the present study. the aggregates constitute the skeleton and guarantee the mechanical resistance of the concrete. The tree types of aggregates used in Burundi have a different morphology in terms of appearance of its surface (rough and smooth), shape (angular and rounded).

The aggregates represent 60 to 80 % of the total volume of the concrete. The compactness plays then a “key” role on the properties of the concrete, in particular on workability and has impact on mechanical properties of the hardened concrete.

The objective of this study is to formulate made concretes with each type of aggregate (rolled, crushed and quarry) to assess their efficiency on the compressive strength of concrete.

Preliminary tests were carried out on three types of local aggregates in order to determine the optimal granular mixture for each type of aggregate in order to make concrete samples which will be crushed to measure the compressive strength of the concrete.

This experimental study allowed us to compare the influence mineralogical characteristics of each type of aggregate on the mechanical behavior of the concrete.

The compressive strength of concrete made from rolled aggregates and aggregates crushed is almost the same. There is a great reduction in resistance on concrete made using quarry aggregates. Obtained results show that the resistance of concrete made using concrete by the aid of rolled aggregates and crushed present a result better relative to the realized concrete by the aid of quarry aggregates.

According to results of the present study, this can explain oneself by their mineralogical origin or the fine content of aggregates, the lower the fineness modulus, the more there him is a decrease in the compressive strength of the concrete.

Key word: Aggregates, concrete and resistance strength

TABLE DES MATIERES

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY…….…….…. i

DEDICACE……...……..… ii

REMERCIEMENT…….……..... iii

RESUME……...… iv

ABSTRACT v

LISTE DES TABLEAUX viii

LISTE DES FIGURES viii

Liste des abréviations.....ix

AVANT PROPOS x

INTRODUCTION GENERALE 1

INTRODUCTION 1

PROBLEMATIQUE 1

OBJECTIF GLOBAL 2

OBJECTIFS SPECIFIQUES 2

DELIMITATION DU SUJET..... 3

METHODOLOGIE..... 3

RESULTATS ATTENDUS 4

CHAP I. REVUE DE LA LITERATULE 5

I.1 INTRODUCTION 5

I.2 GRANULATS AU BURUNDI 5

I.2.1 CLASSIFICATION DES GRANULATS AU BURUNDI 5

I.2.2 INFLUENCE DE LA NATURE MINERALOGIQUE DES GRANULATS SUR LA RESISTANCE A LA COMPRESSION..... 6

I.3 GENERALITES SUR LE BETON ET SES COMPOSANTS 6

I.3.1 BETON..... 6

I.3.1.1 Définition 6

I.3.2 LES DIFFERENTS TYPES DE BETON 6

I.3.3 LES DIFFERENTS CONSTITUANTS DU BETON..... 8

I.3.3.1 LES CIMENTS..... 8

I.3.3.2 LES GRANULATS : XPP 18-540 8

I.3.3.3 DEFINITIONS : 8

I.3.3.4 CLASSE DES GRANULATS 9

I.4 FORMULATION DE BETON..... 11

I.4.1 La méthode de Dreux - Gorisse 12
I.4.2 ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE 15
I.4.2.1 OBJECTIF : 15
I.4.2.2 MATÉRIEL A UTILISER 16
I.4.2.3 PROCESSUS D'ANALYSE GRANULOMETRIQUE 16
I.4.2.4 TRACÉ DE LA COURBE GRANULOMÉTRIQUE 16
I.4.2.5 INTERPRÉTATION DES COURBES GRANULOMETRIQUE 16
CHAP II. ESSAIS SUR MATERIAUX UTILISES 17
II.1 MATERIAUX UTILISE 17
II.2 ANALYSE GRANULOMETRIQUE 17
II.2.1 Sable 17
II.2.2 Graviers. 20
II.3 FORMULATION DE BETON 25
II.3.1 LA FORMULATION SELON LA METHODE DE DREUX-GORISSE 25
II.3.1.1 GRANULATS ROULES 25
II.3.1.2 GRANULATS CONCASSES 27
II.3.1.3 GRANULATS DE CARRIERE 30
II.4 ETAPES DE CONFECTION DU BETON 33
II.4.1 PREPARATION DES MELANGES 33
CHAP III. INTERPRETATION DES RESULTATS 35
III.1 INTRODUCTION 35
III.2 LES RESULTATS DE L'ESSAI DE COMPRESSION 35
III.2.1 GRANULATS ROULES 35
III.2.2 GRANULATS CONCASSES 36
III.2.3 GRANULATS DE CARRIERE 37
III.3 COMPARAISON DES RESULTATS SELON LES DOSAGES 38
III.4 EFFET DU TYPE DE GRANULATS UTILISE SUR LE DIMENSIONNEMENT D'UNE POUTRE EN BETON ARME 40
III.5 Conclusion 44
CHAP IV. CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATION 45
IV.1 CONCLUSION GENERALE 45
IV.2 RECOMMANDATION 45
REFERENCES 46
ANNEXES 47

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 matériaux utilisés 17
Tableau II.2 L'analyse granulométrique de sable roulés (Echantillon de 2000 g) 17
Tableau II.3 L'analyse granulométrique de sable de carrière (Echantillon de 2000 g) 18
Tableau II.4 L'analyse granulométrique du gravier roulé (Echantillon de 2000 g) 20
Tableau II.5 L'analyse granulométrique du gravier de carrière (Echantillon de 2000 g) 20
Tableau II.6 L'analyse granulométrique du gravier concassé (Echantillon de 2000 g) 21
Tableau II.7 LES MASSES VOLUMIQUES DES GRAVIERS 21
Tableau II.8 LES COEFFICIENTS D'ABSORPTIONS DES GRAVIERS 22
Tableau II.9 DOSAGE 400kg/m3 25
Tableau II.10 Dosage pour 10 échantillons 26
Tableau II.11 DOSAGE 350kg/m 3 26
Tableau II.12 Dosage pour 10 échantillons 26
Tableau II.13 DOSAGE 300kg/m3 27
Tableau II.14 Dosage pour 10 échantillons 27
Tableau II.15 DOSAGE 400kg/m3 27
Tableau II.16 Dosage pour 10 échantillons 28
Tableau II.17 DOSAGE 350kg/m3 28
Tableau II.18 Dosage pour 10 échantillons 28
Tableau II.19 DOSAGE 300kg/m3 29
Tableau II.20 Dosage pour 10 échantillons 29
Tableau II.21 DOSAGE 400kg/m3 30
Tableau II.22 Dosage pour 10 échantillons 30
Tableau II.23 DOSAGE 350kg/m3 31
Tableau II.24 Dosage pour 10 échantillons 31
Tableau II.25 DOSAGE 300kg/m3 32
Tableau II.26 Dosage pour 10 échantillons 32

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 LES TAMIS 15
Figure II.1 RECIPIENT 19
Figure II.2 COURBE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS ROULES 22
Figure II.3 COURBE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS DE CARRIERE 23
Figure II.4 COURBE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS CONCASSES 23
Figure II.5 Les éprouvettes utilisées 33
Figure II.6 Malaxage 33
Figure II.7 La mise en place du béton 34
Figure II.8 CONSERVATION DES ECHANTILLONS DENS L'EAU 34
Figure III.1 Résistance à la compression des granulats roulés 36
Figure III.2 Résistance à la compression des granulats de concassés 37
Figure III.3 Résistance à la compression des granulats de carrière 38
Figure III.4 Résistance à la compression des bétons formules avec un dosage de 400kg/m3 38
Figure III.5 Résistance à la compression des bétons formules avec un dosage de 350kg/m3 39
Figure III.6 Résistance à la compression des bétons formulés avec un dosage de 300kg/m3 40

Liste des abréviations

Mf : module de finesse de sable

Mvabs : La Masse volumique absolue

Mvapp : La masse volumique apparente

Abs : Coefficient d'absorption du gravier

Rc : la résistance à la compression du béton

AVANT PROPOS

Il est bien connu que formuler un béton est avant tout un problème de compacité. La performance d'un béton dans une structure en béton armée est influencée par la nature de ses composants dont les granulats. Il est donc important de s'assurer de leur impact sur la résistance mécanique du béton. Les granulats locaux utilisés au Burundi ont attiré notre attention d'où la présente étude. Les granulats constituent le squelette granulaire et garantissent la résistance mécanique du béton. Les trois types de granulats utilisés au Burundi présentent une morphologie différente en termes d'aspect de surface (rugueuse et lisse), de forme (anguleuse et arrondie).

Les granulats représentent 60 à 80 % du volume total du béton. La compacité joue donc un rôle « clé » sur les propriétés du béton frais notamment sur l'ouvrabilité et a un impact sur les propriétés mécaniques du béton durci

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION

Avec une consommation mondiale annuelle de plus d'un mètre cube de béton par personne, le béton devient un matériau indispensable à la vie humaine grâce à ses performances. Le béton frais est composé essentiellement de granulats, de ciment et d'eau avec ajout éventuel des adjuvants. Le béton offre aux constructeurs plusieurs variétés de formes voulues. On le rencontre dans tous les domaines de construction spécialement dans les infrastructures que ce soit les bâtiments et les ouvrages d'art. Suivant cette évolution, plusieurs sources d'extraction des granulats naissent.

Le béton est un matériau complexe ; plusieurs recherches ont été réalisées pour étudier les différents aspects de son comportement mécanique (élasticité, ductilité, déformabilité,). Les caractéristiques essentielles d'un béton sont son ouvrabilité à l'état frais et sa résistance mécanique en compression à l'âge de 28 jours à l'état durci. En effet, la relation entre les constituants du béton et sa résistance mécanique a intéressé les chercheurs depuis toujours.

Ce travail consiste à étudier la variation de la résistance à la compression des bétons confectionnés à partir des granulats locaux (granulats roulés, granulats concassés et granulats de carrière) en utilisant la méthode de la formulation du béton la plus connue qui est la méthode de DREUX GORISSE. Les résultats sont ensuite obtenus par des essais de compression sur des éprouvettes cubiques pour étudier l'influence de chaque type de matériaux sur la résistance à la compression du béton.

PROBLEMATIQUE

Lors de la phase de réalisation des éléments structuraux des bâtiments ou des ouvrages de génie civil, la qualité du béton ou de sa mise en œuvre sur chantier n'est pas toujours optimale. De ce fait, on constate, parfois, l'utilisation des différents types de matériaux (roulés, concassés et de carrière) dans certaines régions du pays sans connaitre leurs caractéristiques et leur impact sur la résistance du béton.

Dans le cadre de la présente étude, on se propose d'**étudier la variation de résistance à la compression du béton suivant le type de granulats locaux utilisés**.

Pour arriver à cette objectif on se pose quelques questions :

- Quelle est l'influence des granulats roulés sur la résistance à la compression du béton ?
- Quelle est l'influence des granulats concassés sur la résistance à la compression du béton ?
- Quelle est l'influence des granulats de carrière sur la résistance à la compression du béton ?

Ce sont ces questions que nous tenterons de développer dans la présente étude.

OBJECTIF GLOBAL

L'objectif global est de comparer les résultats des essais de compressions de ces trois types de matériaux (granulats roulés, granulats concassés et granulats de carrière) afin d'identifier les matériaux les plus résistants à la compression. La qualité primordiale recherchée sur le béton est sa résistance mécanique à la compression.

OBJECTIFS SPECIFIQUES

Pour arriver à l'objectif, le travail est subdivisé en quatre chapitres, ci-après :

Le premier chapitre traite la revue de la littérature :

- Les généralités sur les bétons et leurs constituants essentiels
- Les différents facteurs d'études des bétons,
- La méthode de formulation du béton DREUX-GORISSE
- La résistance à la compression du béton.

Dans le deuxième chapitre, il traite :

- Les essais faites sur les matériaux utilisés dans ce travail,
- La formulation du béton par la méthode Dreux–Gorisse.

Dans le troisième chapitre, nous allons faire :

- Une interprétation des résultats obtenus après l'écrasement.
- Une conclusion générale et des recommandations

DELIMITATION DU SUJET

Le travail va se limiter sur les matériaux locaux qui sont les principaux composants du béton (le sable, le gravier, eaux et ciment).

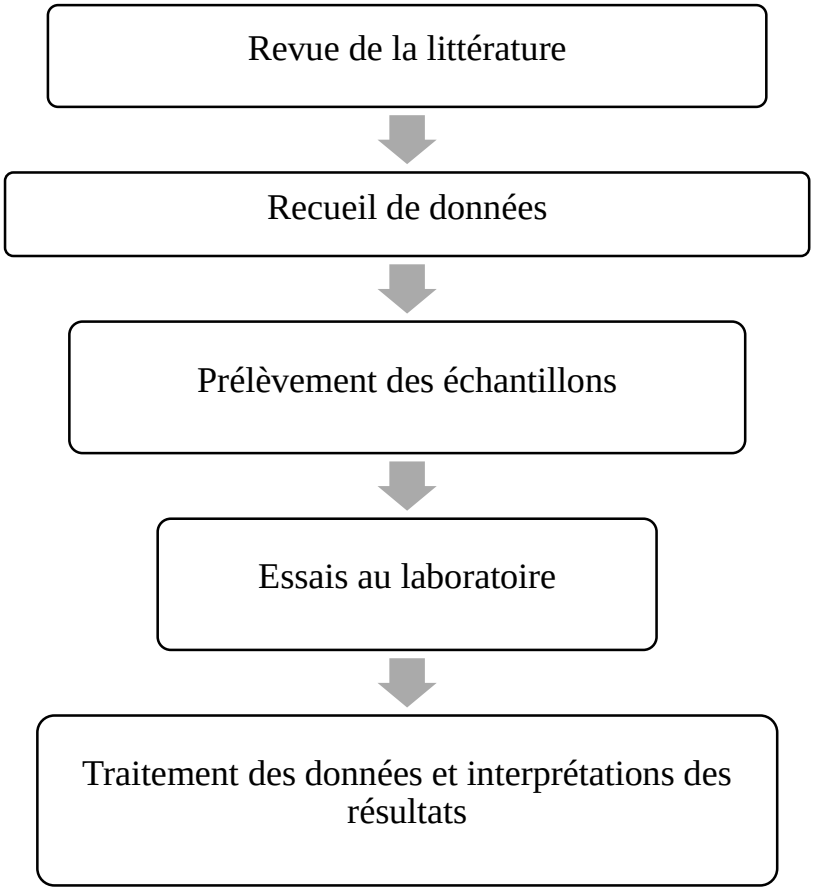
METHODOLOGIE

La première étape du présent travail est de mener une recherche bibliographique sur l'utilisation des granulats dans le béton et leur influence sur les propriétés mécaniques qui en découlent.

Dans une seconde étape, nous allons parler des matériaux utilisés et le processus expérimental font l'objet du chapitre 2 du présent mémoire. Durant tous nos travaux, nous avons observé les mêmes méthodes et procédures, que ce soit pour le travail en laboratoire ou la fabrication des échantillons.

La troisième étape de notre travail est l'analyse globale des résultats obtenus.

Cette méthodologie peut être illustrée par le schéma suivant :



RESULTATS ATTENDUS

L'intérêt principal de notre travail de mémoire est de montrer et analyser les effets du type de granulats locaux sur les propriétés mécaniques des bétons.

Ce travail va nous permettre de comprendre l'influence de la nature de granulats sur la résistance à la compression du béton :

- Des granulats concassés.
- Des granulats roulés.
- Des granulats de carrière.

Des recommandations pourront être émises après analyses des résultats obtenus.

CHAP I. **REVUE DE LA LITERATULE**

I.1 INTRODUCTION

L'aménagement de l'environnement et La construction font appel à trois secteurs d'activités, qui sont les industries de matériaux de construction, le bâtiment, et les travaux publics. Tous ces secteurs d'activités utilisent des matières premières naturelles(granulats) en tant que morceaux de roches ou alluvionnaires, ou obtenues artificiellement par traitement de roches naturelles ou des déchets industriels et aussi l'utilisation des déchets inertes. La nature de ces granulats et leur forme varie en fonction des gisements et des techniques de production [1]. Ils sont destinés à être mis en œuvre sans aucun apport de liant sous forme de pavais, ballasts des voies de chemin de fer, couche de fondation des routes, remblais, et autres …), ou agglomérées à l'aide d'un liant (ciment pour le béton, bitume pour les enrobés de chaussées) [2].

Le présent chapitre nous présenterons ce qui concerne le granulat, notamment les granulats roulés, concassés et de montagne et quelques notions sur les bétons dont ils sont les principaux composants.

On parle essentiellement tous les effets des graviers sur les propriétés du béton. Sur base de ces effets on peut juger probablement de la qualité et du comportement de chaque type de granulat dans les bétons.

I.2 GRANULATS AU BURUNDI

I.2.1 CLASSIFICATION DES GRANULATS AU BURUNDI

Au Burundi les granulats sont classés selon le lieu d'extraction ou leur transformation. On distingue 3 types de granulats :

- Les granulats roulés dits roulés, dont la forme a été acquise par érosion. Ce sont surtout des dépôts alluvionnaires trouvés dans un lit de rivière.
- Les granulats concassés : sont obtenus par abattage et concassage suivi des opérations de criblage ou tamisage pour sélectionner des grains à une dimension précise. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent de différents paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage. Ces granulats ont une très bonne liaison avec la pâte de ciment à cause de leur texture de surface et leur rugosité.

- Les granulats de carrière : sont extrait dans les montagnes.

I.2.2 INFLUENCE DE LA NATURE MINERALOGIQUE DES GRANULATS SUR LA RESISTANCE A LA COMPRESSION

Les résistances mécaniques des bétons dépendent de la nature des granulats. La nature minéralogique des gros granulats joue un rôle important dans les déformations des bétons car celles-ci dépendent des valeurs du module d'élasticité et de la qualité de 1'adherence. La sélection du type de granulats peut par conséquent jouer un rôle critique influençant le comportement mécanique des bétons.

La porosité des granulats a une influence indirecte, mais réelle, sur la résistance des bétons ordinaires [10].

I.3 GENERALITES SUR LE BETON ET SES COMPOSANTS

I.3.1 BETON

I.3.1.1 Définition

Le béton est un matériau de construction obtenu à partir du mélange de granulats de diverses dimensions, d'eau, de liant (en général on utilise des ciments), éventuellement, des adjuvants (comme des régulateurs de la prise, des plastifiants, des superplastifiants ou fluidifiants, de rétenteur d'eau, d'entraineur d'air et quelquefois des agents de viscosité et des ajouts [3].

I.3.2 LES DIFFERENTS TYPES DE BETON

Les différents types de béton sont :

- Béton ordinaire

Mélange homogène composé exclusivement des constituants de base : ciment, granulats, eau avec un rapport E/C qui varie en fonction de la plasticité ainsi que de la résistance désirée. Le béton ordinaire est caractérisé par sa résistance à la compression qui se situe entre $20MPa \leq fc28 \leq 50MPa$ [11].

- Le béton léger.

Le béton léger est un béton très malléable et très léger. La norme européenne définit les bétons légers comme un béton ayant une masse volumique après séchage entre 800 et 2100 kg/m^3. Parmi ces bétons, on peut citer les bétons de granulats légers. Ils sont utilisés dans le domaine du confort thermique d'une habitation (isolation thermique) et même comme éléments porteurs de charges qui permettent d'alléger la construction [11].

- Le béton lourd

C'est un béton dont la masse volumique apparente est supérieure à 2600 kg/m3, les résistances mécaniques du béton lourd sont comparables à celle des bétons classiques et même plus élevées compte tenu des faibles dosages en eau [11].

- Le béton extra-lourd

C'est un béton à base de granulats spéciaux de densité élevée comme la barytine et l'hématite permettant la réalisation d'ouvrages protecteurs contre les rayons X, gamma et autres rayons radioactifs. La masse volumique du béton extra lourd dépasse 3000 kg/m3[11].

- Le béton autoplaçant.

Développé dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon, le béton autoplaçant est un béton fluide, très déformable, homogène et stable qui se met en place par gravitation et sans l'utilisation d'un moyen de vibration. Il se caractérise en général par une formulation contenant au moins un adjuvant chimique et un ajout minéral en proportions bien précises pour satisfaire les exigences en matière de maniabilité et de stabilité [11].

- Le béton fibré.

C'est un béton dans lequel sont incorporées des fibres synthétiques ou naturelles, ce qui permet suivant l'ouvrage, de supprimer le treillis soudé traditionnel [11].

- Béton à durcissement rapide

Sont des bétons dont le développement des résistances mécaniques est accéléré, ces bétons permettent la réalisation de petits ouvrages de réparation ou des travaux sur des éléments d'ouvrages demandant une remise en service rapide ainsi que le décoffrage, ou la mise en précontrainte le plus rapidement en préfabrication. Le durcissement rapide des bétons est obtenu

soit par ajout des adjuvants accélérateurs de durcissement, soit des ciments à durcissement rapide, soit par diminution du rapport E/C ou bien par le traitement thermique [11].

I.3.3 LES DIFFERENTS CONSTITUANTS DU BETON

I.3.3.1 LES CIMENTS

Les ciments sont des poudres fines obtenues par la cuisson à haute température et le broyage d'un mélange minéral (calcaire + argile en général).

Ces poudres, constituées de sels minéraux anhydres instables (en particulier silicates et aluminates de chaux) par réaction avec l'eau, se transforment en des composés hydratés stables et très peu soluble, d'où le nom de « liants hydrauliques » [1].

LES TYPES DE CIMENT [2]

Les ciments Portland NF EN 197-1

- Le ciment Portland : CEM I : il contient au moins 95 % de clinker et au plus 5 % de constituants secondaires.
- Le ciment Portland composé : CEM II/A ou B : il contient au moins 65 % de clinker et au plus 35 % d'autres constituants : laitier de haut fourneau, fumée de silice (limitée à 10 %), pouzzolane naturelle, cendres volantes, calcaires, constituants secondaires.
- Le ciment de haut fourneau : CEM III : il contient entre 36 et 95 % de laitier et 5 à 64 % de clinker.
- Le ciment CEM IV/A ou B : sont des ciment pouzzolaniques. Ils sont adaptés aux environnements agressifs.
- Le ciment au laitier et aux cendres : CEM V/A ou B : il contient de 20 à 64 % de clinker, de 18 à 50 % de cendres volantes et de 18 à 50 % de laitier.

I.3.3.2 LES GRANULATS : XPP 18-540

I.3.3.3 DEFINITIONS :

On appelle granulat un ensemble de grains minéraux, de dimensions comprises entre 0 et 125 mm, de provenance naturelle ou artificielle, destinés à la confection :

• des mortiers, des bétons,

• des couches de fondation, des couches de base et de roulement des chaussées,

• et des assises et des ballasts de voies ferrées.

Le mot « granulat » désigne des matières grenues, soit roulées et déposées par les cours d'eau, soit concassées en carrière et qui sont utilisées pour la confection du béton ou du mortier aussi.

Les granulats sont dits « inertes » s'ils ne réagissent pas chimiquement en présence de la pâte de ciment. Ils sont classés en fonction de leurs grosseurs déterminées par criblages sur tamis de mailles carrées dont la dimension intérieure est exprimée en mm.

I.3.3.4 CLASSE DES GRANULATS

• Un granulat est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe d/D.

• Le premier désigne le diamètre minimum des grains d et le deuxième le diamètre maximum D.

• Lorsque d est inférieur à 0.5 mm, le granulat est désigné 0/D.

• Si un seul chiffre est donné, c'est celui du diamètre maximum D exprimé en mm.

Il existe cinq classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes d et D des granulats rencontrées (Norme NFP18-101) :

- Les fines 0/D avec $D \leq 0{,}08$ mm,
- Les sables 0/D avec $D \leq 6{,}3$ mm,
- Les gravillons d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31{,}5$ mm,
- Les cailloux d/D avec $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$mm,
- Les graves d/D avec $d \geq 6{,}3$ mm et $D \leq 80$ mm,

Le granulat est dit de classe d/D lorsqu'il satisfait aux conditions suivantes :

Le refus sur le tamis D est compris entre :

• 1 et 15% si $D > 1.56\ d$,

• 1 et 20% si $D \leq 1.56\ d$

Le tamisât au tamis d est compris entre :

• 1 et 15% si D> 1.56 d,

• 1 et 20% si D ≤ 1.56 d

Le refus sur le tamis 1.56 D est nul,

Le tamisat au tamis 0.63 d < 3% ; toutefois pour D≤ 5 mm, cette limite est portée à 5%.

Le gravier : Grains de dimensions allant de 4 à 125 mm. L'essai de propreté des graviers consiste à déterminer le pourcentage d'éléments <0,5mm, le pourcentage de vase et argiles, éliminées lors de l'essai doit être ≤1,5% pour gravillons n'ayant pas subi de concassage, et ≤3% pour ce qui ont subi le concassage.

La granularité du gravier est fixée par le D prescrit ou admissible pour le béton à préparer, l'absorption d'eau, qui fixe à 5% la valeur maximale pour les bétons hydrauliques.

Le sable : Grains de dimensions où 0.063 < D ≤ 6,3 mm, d'après la norme P18-598, les sables ayant un équivalant de sable E_s compris entre 75 et 85% de leur granularité est définie principalement par les paramètres suivants :

-Teneur en fines (passant à 0,08mm ≤ 12%)

-Module de finesse (M_f = 1,8 à 3,2)

-Bonne continuité de la courbe granulométrique.

Les sables peuvent être classés, selon leur provenance comme suit :

-Sable de rivière : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.

-Sable de carriere : il provient des montagnes.

-Sable artificiel (concassé) : il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré …). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.

L’eau de gâchage :

Elle joue deux fonctions principales : confère au béton sa maniabilité à l’état frais (ses propriétés rhéologiques) et assure l’hydratation des grains de ciment pour une prise et un durcissement. La quantité d’eau utilisée ou plus précisément le rapport eau/ciment a une forte influence sur la porosité, la perméabilité, les résistances mécaniques et la durabilité du béton [4].

L'eau de gâchage peut avoir plusieurs origines, mais seule l’eau potable est présumée conforme aux exigences de l’Eurocode, les autres comme l’eau récupérée de la fabrication de bétons, eaux d'origine souterraine, eaux naturelles de surface et eaux de rejet industriel, eau de mer, doivent être soumises à des essais de contrôle préliminaire ainsi qu’aux essais chimiques.

I.4 FORMULATION DE BETON

Elle consiste à choisir des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en œuvre. Elle doit intégrer avant tout les exigences de la norme NF EN 206-1, laquelle, en fonction de l'environnement dans lequel sera mis en place le béton. La formulation sera plus ou moins difficile vis à-vis de la quantité minimale de ciment à insérer dans la formule ainsi que la quantité d'eau maximum tolérée [4]. De même, à chaque environnement donné, une résistance garantie à 28 jours sur éprouvettes sera exigée aux producteurs, pouvant justifier des dosages de ciments plus ou moins supérieurs à la recommandation de la norme, et basée sur l'expérience propre à chaque entreprise, laquelle étant dépendante de ses matières premières dont la masse volumique peut varier [4]. C’est notamment le cas des granulats.

Plusieurs auteurs Bolomey (1925), Caquot (1937), Valette (1940), Faury (1942), Joisel (1952), cités dans la référence [Dreux et Festa, 1998] ont développé des méthodes de formulation de bétons. Selon le pays et l’école de pensée, les plus utilisés sont la méthode Américaine (1994), la méthode Britannique (1988), la méthode française [Dreux, 1970], la méthode Barron Lesage (France, 1976), la méthode basée sur le modèle d’empilement compressible (France, 2000), la méthode des plans d’expériences (Louvet F.) cité dans [Baron et Oliver, 1996]. Dans le présent travail la méthode de Dreux-Gorisse est utilisée.

I.4.1 La méthode de Dreux - Gorisse

Cette méthode française, de nature fondamentalement empirique, date de 1970. Dreux a mené une large enquête pour recueillir des données sur des bétons satisfaisants. Sur la base d'une analyse statistique d'un grand nombre de bétons et en combinant les courbes granulaires obtenues, il a pu fonder une approche empirique pour déterminer une courbe granulaire de référence ; cette dernière a la forme de deux lignes droites dans un diagramme Semi-logarithmique.

Elle est d'autre part très simple à utiliser puisqu'elle ne demande que de connaitre les courbes granulométriques des granulats.

- Résistance visée :

fc'28 = fc28+0.15 fc28 , Soit fc'28=1.15 fc28

-Dosage en ciment et en eau :

$$fc' = G.\ f_{CE}\ \left(\frac{C}{E} - 0.5\right)$$

avec : fc'= fc'28 résistance visée à 28 jours

f_{CE}: classe de ciment en MPa.

G : coefficient granulaire.

C : dosage en ciment (kg de ciment/1m^3 de béton).

E : dosage en eau (kg d'eau/1m^3 de béton ou litre d'eau/1m^3 de béton).

-par la suite d'après le rapport $\frac{C}{E}$ on détermine le volume d'eau comme suit :

E= le rapport C/(C/E)

- Tracé de la courbe granulaire de référence AOB :

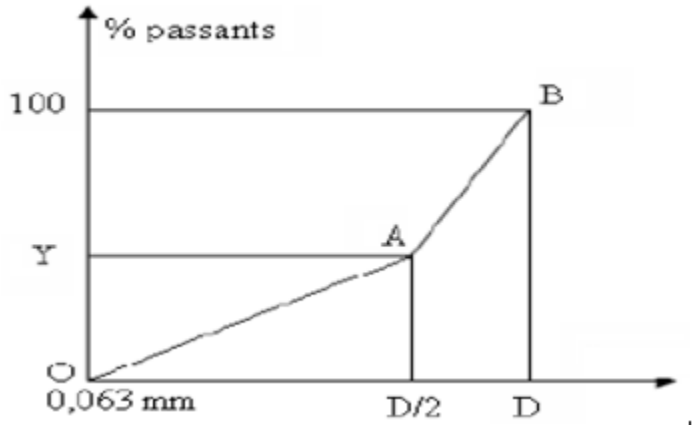


Figure : La courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse

-Sur le graphe d'analyse granulométrique, type AFNOR (pourcentage de tamisât en fonction du module ou diamètre de tamis) nous traçons une composition granulaire de référence OAB avec :

- le point O est repéré par ses coordonnées : [0.01; 0]

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

Le point de brisure A aux coordonnées [X ; Y], suivantes :

- en abscisse :

Si D ≤ 20 mm, le point de brisure a pour abscisse : X= D/2

Sinon X est le milieu du segment limité par les tamis 5mm et Dmax.

- en ordonnée : $Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_S + K_P$

D : diamètre du plus gros granulat

K : un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés [2].

K_S : La correction secondaire de K en fonction du module de finesse (Ks=6Mf-15)

Kp : Si le béton est pompable Kp varie de 5 à 10, autres cas Kp=0

- La ligne de partage :

La ligne de partage joint le point d'ordonnée 95% de la courbe granulaire du plus petit granulat au point d'ordonnée 5%, de la courbe granulaire du plus gros granulat. Le point d'intersection entre cette ligne et la courbe théorique du mélange optimum indique les proportions en pourcentage de volume absolu de sable et gravier. Ces proportions sont lues sur le pourcentage de tamisât correspondant à ce point d'intersection. Ce pourcentage indique la proportion de sable, le complément donne la proportion de gravier.

-Après le traçage de la courbe on obtient les pourcentages des granulats (sable et gravier).

-Détermination de la composition en volume absolu :

Le dosage en béton est déterminé pour obtenir un mètre cube de béton en place. Cela signifie que le volume de matière vaut 1m3 :

$$V_{abs} = V_S + V_g + V_C = 1m^3$$

V_{abs} : la masse absolue de ciment kg/m^3

V_S,V_g et V_c: le volume de sable ,gravier et ciment respectivement d'un mètre cube du béton.

$Vc = \frac{C}{Vabs}$ soit, C : dosage en ciment (Kg/m3)

-Volume absolu de granulats :

De la relation de $\gamma = V_S + V_g + V_C$ on en déduit Vg et Vs en remplaçant le volume de granulats Vs +Vg par la valeur V_G, alors $\gamma = (V_c + V_G)$

$$V_G = (1000 \times \gamma) - Vc$$

VG : volume absolu des granulats en litre ($V_G = V_g + V_s$)

γ: Coefficient de compacité

-Volume de sable =Le pourcentage × V_G

- Détermination de la composition pondérale sèche en Kg

-Masse de ciment : le dosage choisi

-La quantité d'eau : E par la formule $E = C/\left(\frac{C}{E}\right)$

-Masse de sable $S = Vs \times Mv_{abs}$

-Masse de gravillons $G = V_G \times Mv_{abs}$

Finalement on trouve les quantités des masses de gravier, sable et eau et le dosage de ciment pour un **mètre cube de béton.**

I.4.2 ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

I.4.2.1 OBJECTIF :

• L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 0,063 et 125mm.

On appelle :

• **REFUS** sur un tamis : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.

• **TAMISAT (ou passant)** : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

PRINCIPE DE L'ESSAI :

• L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes.

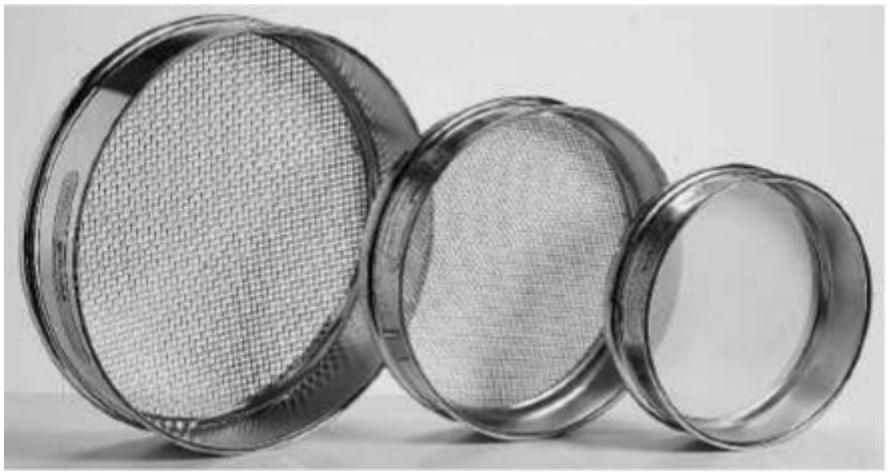




Figure I.1 LES TAMIS

• Les masses des différents refus et tamisâts sont rapportées à la masse initiale du matériau.

Les pourcentages ainsi obtenus sont représentés sous forme graphique.

I.4.2.2 MATÉRIEL A UTILISER

• Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

• La norme EN 933-2 préconise, pour l'analyse granulométrique, la série de tamis suivante en (mm) : 0.063, 0.125, 0.25, 0.50, 1, 2, 4, 8, 16, 31.5, 63, 125.

I.4.2.3 PROCESSUS D'ANALYSE GRANULOMETRIQUE

• Peser le refus du tamis ayant la plus grande maille : soit R1 la masse de ce refus.

• Poursuivre la même opération avec tous les tamis de la colonne pour obtenir les masses des différents refus cumulés.

• Les masses des différents refus cumulés Ri sont rapportées à la masse totale de l'échantillon.

• Les pourcentages de refus cumulés ainsi obtenus, sont inscrits sur la feuille d'essai. Le pourcentage des tamisât cumulés sera déduit [14].

I.4.2.4 TRACÉ DE LA COURBE GRANULOMÉTRIQUE

Il suffit de porter les divers pourcentages des tamisâts cumulés sur une feuille semi - logarithmique :

• en abscisse : les dimensions des mailles, échelle logarithmique

• en ordonnée : les pourcentages sur une échelle arithmétique.

• La courbe doit être tracée de manière continue [14].

I.4.2.5 INTERPRÉTATION DES COURBES GRANULOMETRIQUE

La forme de la courbe granulométrique obtenue apporte les renseignements suivants :

• Les dimensions d et D du granulat,

• La plus ou moins grande proportion d'éléments fins,

• La continuité ou la discontinuité de la granularité [14].

CHAP II. **ESSAIS SUR MATERIAUX UTILISES**

L'objectif de ce chapitre expérimental, est la caractérisation des matériaux utilisés dans ce travail et la composition et la résistance à la compression du béton. Tous les essais sont réalisés au laboratoire de l'université du Burundi campus KIRIRI.

II.1 MATERIAUX UTILISE

Les granulats utilisés et leur provenance

Tableau II.1 matériaux utilisés

TYPE DES GRANULATS	SABLE	GRAVIERS
ROULES	MUZAZI	MUZAZI
CARRIERE	RUSHUBI	RUSHUBI
CONCASE	-	MUZAZI

Dans c travail on va utiliser le ciment **BUCECO** de classe **32.5 R**

II.2 ANALYSE GRANULOMETRIQUE

II.2.1 Sable

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des différents éléments constituants le sable.

Tableau II.2 L'analyse granulométrique de sable roulés (Echantillon de 2000 g)

Diamètre des tamis (mm)	Réfus cumulé (g)	Réfus cumulé (%)	Passant (%)
0	0	0	0
8	0	0	100
4	32	1,6	98,4
2	80	4	96
1	320	16	84
0,5	1344	67,2	32,8
0,25	1816	90,8	9,2
0,125	1928	96,4	3,6
0,063	2000	100	0

Tableau II.3 L'analyse granulométrique de sable de carrière (Echantillon de 2000 g)

Diamètre des tamis (mm)	Réfus cumulé (%)	Réfus cumulé (g)	Passant (%)
16	0	0,00	100
8	0	0,00	100
4	80	4,00	96
2	169	8,47	91,53
1	550	27,50	72,50
0,5	1110	55,50	44,50
0,25	1967	98,33	1,67
0,125	1995	99,77	0,23
0,063	2000	100,00	0

b. Module de finesse : NF P 18 304

Le module de finesse d'un sable est égal au centième de la somme des refus exprimés en pourcentage pondéral sur les différents tamis de la série sauf le tamis (0.063)

Il est donné par la relation suivante :

$Mf=\frac{\sum Ri}{100}$ Avec : Ri : refus cumulés en (%).

$$M_f=\frac{1.6+4+16+67.2+90.8+96.4}{100}=2.74 \text{ (sable roulé)} < 3.2 \text{ ok}$$

Donc notre sable est un sable acceptable.

$$M_f=\frac{4+8.47+27.5+55.5+98.33+99.77}{100}=2.94 \text{ (sable de carrière)} <3.2 \text{ ok}$$

Donc notre sable est un sable acceptable.

c. La masse volumique absolue et apparente : NF P 18-555

Pour étudier la formulation d'un béton, il est indispensable de connaître la masse volumique absolue et apparente des granulats. Elles sont exprimées en kg/m^3, la masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains.

La masse volumique apparente est la masse du matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides [7].

<u>La Masse volumique absolue</u>

-pesé un tube avec une quantité d'eau V_1.

-Pesé 300 g de sable M, et l'introduire dans la fiole

(Éliminer les bulles d'air)

-Lire le nouveau poids V_2.

-Le volume absolue est : $V_{abs}=V_2-V_1$



Figure II.1 Récipient

La masse volumique absolue est :

$M_{vabs} = M/V_{abs}$ (g/cm^3)

M_{vabs}= 300/ (613-500) =2,63 g $/cm^3$(sable roulé).

M_{vabs}= 300/ (647-500) =2,04 g $/cm^3$(sable carrière).

<u>Masse volumique apparente : NF P 18-554</u>

-Mettre une quantité suffisante de sable dans le récipient

-Placer le récipient dessous l'ouverture de cône

-Laisser tomber ce sable, jusqu'à la saturation du récipient.

- Araser à la règle, et peser le contenu

-La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$Mv_{app} = (M_2-M_1) /V_1$

M_1 : la masse de récipient vide.

M_2 : la masse de récipient + le sable.

V_1: le volume de récipient

M_{vapp} = (1700- 100) /1000=1,60 g /cm^3(Sable roulé).

M_{vapp} = (1360- 100) /1000=1,26 g /cm^3(Sable de carrière).

La propreté des granulats : selon NF P18-598

Les granulats ne doivent pas contenir plus de 2 à 5 % de fines argileuses, de matières organiques ou d'autres impuretés.

II.2.2 Graviers.

Tableau II.4 L'analyse granulométrique du gravier roulé (Echantillon de 2000 g)

Diamètre des tamis (mm)	Réfus cumulé (g)	Réfus cumulé (%)	Passant (%)
63	0,0	0,0	100,00
31,5	0,0	0,0	100,00
16	1413,3	70,7	29,33
8	1953,3	97,7	2,33
4	1986,7	99,3	0,67
2	2000,0	100,0	0,00

Tableau II.5 L'analyse granulométrique du gravier de carrière (Echantillon de 2000 g)

Diamètre des tamis (mm)	Réfus cumulé (%)	Réfus cumulé (g)	Passant (%)
63	0	0,0	100,0
31,5	0	0,0	100,0
16	1560	78,0	22,0
8	1940	97,0	3,0
4	1987	99,3	0,7
2	2000	100,0	0,0

Tableau II.6 L'analyse granulométrique du gravier concassé (Echantillon de 2000 g)

Diamètre des tamis (mm)	Réfus cumulé (g)	Réfus cumulé (%)	Passant (%)
63	0	0,0	100,00
31,5	6	0,3	99,71
16	1823	91,1	8,86
8	1989	99,4	0,57
4	1994	99,7	0,29
2	2000	100,0	0,00

Les masses volumiques apparentes et absolues selon NF EN 12620

Nous avons déterminé les masses volumiques apparentes et absolues des graviers conformément à la norme NF EN 12620. La masse volumique apparente est comprise entre 1190 kg/m^3 et 1800 kg/m^3 et la masse volumique absolue est nettement plus élevée et est comprise entre 2550 kg/m^3 et 2620 kg/m^3. Les résultats des masses volumiques obtenues pour les différents graviers, sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau II.7 LES MASSES VOLUMIQUES DES GRAVIERS

GRAVIER	Mv app (Kg/m^3)	Mv abs (Kg/m^3)
ROULES	1670	2530
CARRIERE	1570	2440
CONCASE	1600	2510

Coefficient d'absorption NFP18-555

Le coefficient d'absorption est défini comme le rapport d'augmentation de la masse d'un échantillon imbibé par l'eau, à la masse sèche de cet échantillon. Le coefficient d'absorption est obtenu par : $Ab= \frac{Ma-MS}{Ms}$

Ms : masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105 C°.

Ma : masse de l'échantillon imbibé.

Tableau II.8 LES COEFFICIENTS D'ABSORPTIONS DES GRAVIERS

GRAVIER	Ab (%)
ROULES	0.07
CARRIERE	0.1
CONCASE	0.06

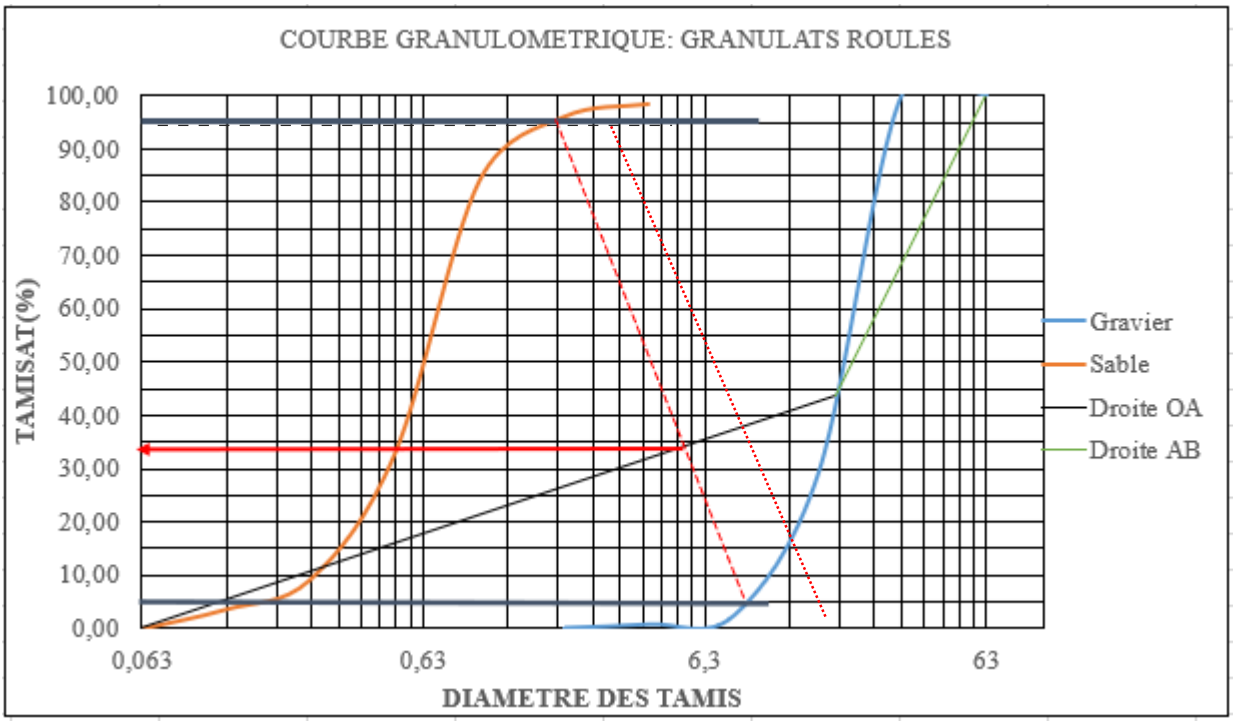


Figure II.2 COURBE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS ROULES

Suivant cette courbe granulométrique des granulats roulés on va utiliser 34% du sable et 66% gravier pour formuler le béton.

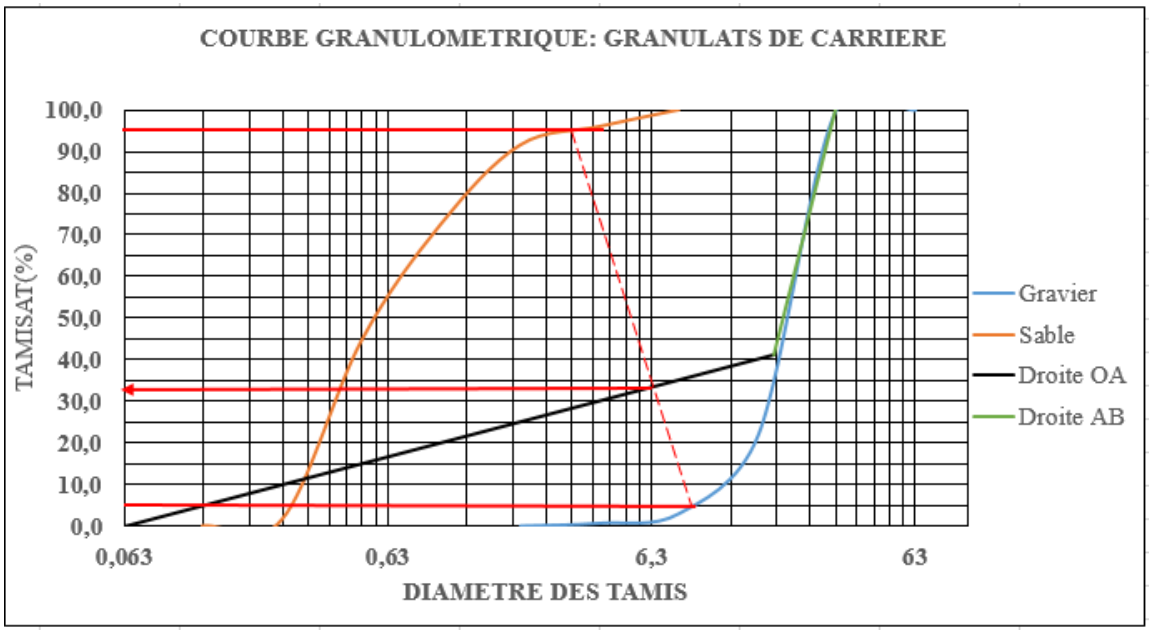


Figure II.3 COURBE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS DE CARRIERE

Suivant cette courbe granulométrique des granulats de montagne on va utiliser 34% du sable et 66% gravier pour formuler le béton.

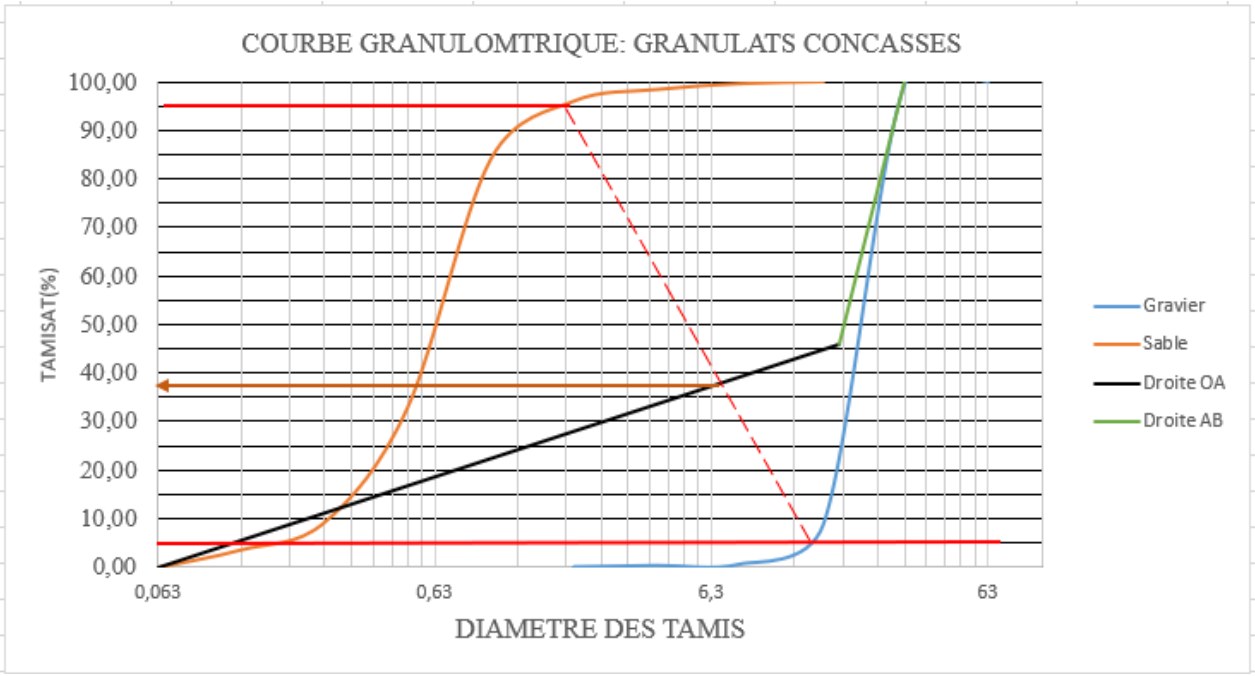
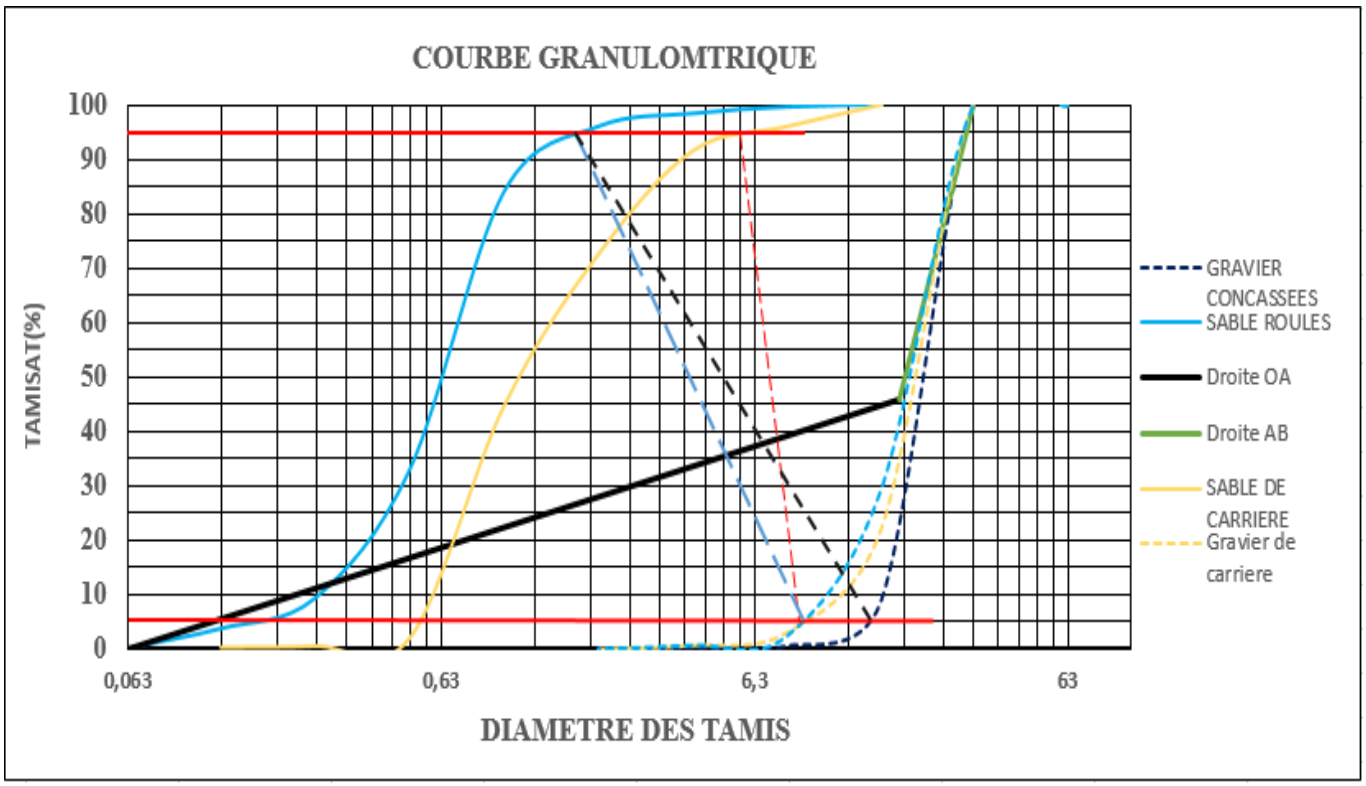


Figure II.4 COURBE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS CONCASSES

Suivant cette courbe granulométrique des granulats de montagne on va utiliser 37.5% du sable et 62.5% gravier pour formuler le béton.

COURBE GRANULOMETRIQUE COMBINE



II.3 FORMULATION DE BETON

Pour l'étude expérimentale de l'influence de la nature des granulats sur la résistance à la compression du béton, on a utilisé la méthode de DREUX-GORISSE, nous avons respecté les étapes et le mode opératoire de laboratoire.

Dans cette partie, nous présentons le mode de travail de notre étude. Après la détermination des quantités des composants de chaque type de matériaux pour un mètre cube de béton, on doit transférer les quantités pour un volume d'éprouvette de $10\times10\times10$ cm^3 [2].

II.3.1 LA FORMULATION SELON LA METHODE DE DREUX-GORISSE

Résistance visée :

Par sécurité, la résistance visée est majorée de 15% par rapport à la résistance que nous souhaitons obtenir. Ainsi, la résistance visée est obtenue comme suit :

La résistance désirée pour le béton à 28 jours est : fc28= 30MPa

fc28 résistance visée à 28 jours

La résistance visée vaut alors : fc'28=1.15 fc28= 1.15×30=34.5MPa

fck=G.F_{CE} ($\frac{C}{E}$- 0.5) ⟹ $\frac{C}{E} = \frac{34.5}{0.5*39} + 0.5 = 2.04$

II.3.1.1 GRANULATS ROULES

Tableau II.9 DOSAGE 400kg/m3

Résistance recherchée du béton (MPa)	f_{c28}	30
Résistance visée du béton (MPa)	f_{c28}	34.5
Classe commerciale du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	32.5
Classe vraie du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	39.00
Diamètre du gros granulat (mm)	Dmax	31.50
Coefficient granulaire	G	0.50
Rapport C/E selon Dreux Gorisse	C/E	2.04
Affaissement	A ou f	5
Dosage en ciment (kg/m3)	**C**	**400.00**
Dosage en eau (*l*/m3)	E	196.23
Correction sur le dosage en eau en %		-4%
Dosage en eau corrigée (*l*/m3)	E_{cor}	188.24

Tableau II.10 Dosage pour 10 échantillons

Série	Dosage pour 10 éprouvettes	**Eau (l)**	**Ciment (g)**	**Gravier (g)**	Sable (g)
1	1	2,37	4840	**14492,7**	7465,9

Tableau II.11 DOSAGE 350kg/m 3

Résistance recherchée du béton (MPa)	f_{c28}	**30**
Résistance visée du béton (MPa)	f_{c28}	34.5
Classe commerciale du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	32.5
Classe vraie du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	39
Diamètre du gros granulat (mm)	Dmax	31.50
Coefficient granulaire	G	0.50
Rapport C/E selon Dreux Gorisse	C/E	2.04
Affaissement	A ou f	5
Dosage en ciment (kg/m3)	**C**	**350.00**
Dosage en eau (*l*/m3)	E	171.7
Correction sur le dosage en eau en %		-4%
Dosage en eau corrigée (*l*/m3)	Ecor	164.71

Tableau II.12 Dosage pour 10 échantillons

Série	Dosage pour 10 éprouvettes	**Eau (l)**	**Ciment (g)**	**Gravier (g)**	Sable (g)
1	1	2,08	4235	**14835,4**	7642,5

Tableau II.13 DOSAGE 300kg/m3

Résistance recherchée du béton (MPa)	f_{c28}	30
Résistance visée du béton (MPa)	f_{c28}	34.5
Classe commerciale du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	32.5
Classe vraie du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	39.00
Diamètre du gros granulat (mm)	Dmax	31.50
Coefficient granulaire	G	0.50
Rapport C/E selon Dreux Gorisse	C/E	2.04
Affaissement	A ou f	5
Dosage en ciment (kg/m3)	**C**	**300.00**
Dosage en eau (*l*/m3)	E	147.1698113
Correction sur le dosage en eau en %		-4%
Dosage en eau corrigée (*l*/m3)	Ecor	141.18

Tableau II.14 Dosage pour 10 échantillons

Série	Dosage pour 10 éprouvettes	**Eau (l)**	**Ciment (g)**	**Gravier (g)**	Sable (g)
1	1	1,78	3630	**15178,0**	7819,0

II.3.1.2 GRANULATS CONCASSES

Tableau II.15 DOSAGE 400kg/m3

Résistance recherchée du béton (MPa)	f_{c28}	30
Résistance visée du béton (MPa)	f_{c28}	34.5
Classe commerciale du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	32.5
Classe vraie du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	39.00
Diamètre du gros granulat (mm)	Dmax	31.50
Coefficient granulaire	G	0.50
Rapport C/E selon Dreux Gorisse	C/E	2.04
Affaissement	A ou f	5

Dosage en ciment (kg/m3)	C	400.00
Dosage en eau (*l*/m3)	E	196.2264151
Correction sur le dosage en eau en %		-4%
Dosage en eau corrigée (*l*/m3)	Ecor	188.24

Tableau II.16 Dosage pour 10 échantillons

Série	Dosage pour 10 éprouvettes	Eau (l)	Ciment (g)	Gravier (g)	Sable (g)
1	1	2,13	4840	13724,2	8234,5

Tableau II.17 DOSAGE 350kg/m3

Résistance recherchée du béton (MPa)	f_{c28}	30
Résistance visée du béton (MPa)	f_{c28}	34.5
Classe commerciale du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	32.5
Classe vraie du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	39.00
Diamètre du gros granulat (mm)	Dmax	31.50
Coefficient granulaire	G	0.50
Rapport C/E selon Dreux Gorisse	C/E	2.04
Affaissement	A ou f	5
Dosage en ciment (kg/m3)	C	350.00
Dosage en eau (*l*/m3)	E	171.6981132
Correction sur le dosage en eau en %		-4%
Dosage en eau corrigée (*l*/m3)	Ecor	164.71

Tableau II.18 Dosage pour 10 échantillons

Série	Dosage pour 10 éprouvettes	Eau (l)	Ciment (g)	Gravier (g)	Sable (g)
1	1	1,87	4235	14048,6	8429,2

Tableau II.19 DOSAGE 300kg/m3

Résistance recherchée du béton (MPa)	f_{c28}	30
Résistance visée du béton (MPa)	f_{c28}	34.5
Classe commerciale du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	32.5
Classe vraie du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	39.00
Diamètre du gros granulat (mm)	Dmax	31.50
Coefficient granulaire	G	0.50
Rapport C/E selon Dreux Gorisse	C/E	2.04
Affaissement	A ou f	5
Dosage en ciment (kg/m3)	C	300.00
Dosage en eau (*l*/m3)	E	147.1698113
Correction sur le dosage en eau en %		-4%
Dosage en eau corrigée (*l*/m3)	Ecor	141.18

Tableau II.20 Dosage pour 10 échantillons

Série	Dosage pour 10 éprouvettes	Eau (l)	Ciment (g)	Gravier (g)	Sable (g)
1	1	1,60	3630	14373,1	8623,9

II.3.1.3 GRANULATS DE CARRIERE

Tableau II.21 DOSAGE 400kg/m3

Résistance recherchée du béton (MPa)	f_{c28}	30
Résistance visée du béton (MPa)	f_{c28}	34.5
Classe commerciale du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	32.5
Classe vraie du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	39.00
Diamètre du gros granulat (mm)	Dmax	31.50
Coefficient granulaire	G	0.50
Rapport C/E selon Dreux Gorisse	C/E	2.04
Affaissement	A ou f	5
Dosage en ciment (kg/m3)	C	400.00
Dosage en eau (*l*/m3)	E	196.2264151
Correction sur le dosage en eau en %		-4%
Dosage en eau corrigée (*l*/m3)	Ecor	188.24

Tableau II.22 Dosage pour 10 échantillons

Série	Dosage pour 10 éprouvettes	Eau (l)	Ciment (g)	Gravier (g)	Sable (g)
1	1	2,37	4840	14492,7	7905,1

Tableau II.23 DOSAGE 350kg/m3

Résistance recherchée du béton (MPa)	f_{c28}	30
Résistance visée du béton (MPa)	f_{c28}	34.5
Classe commerciale du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	32.5
Classe vraie du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	39.00
Diamètre du gros granulat (mm)	Dmax	31.50
Coefficient granulaire	G	0.50
Rapport C/E selon Dreux Gorisse	C/E	2.04
Affaissement	A ou f	5
Dosage en ciment (kg/m3)	C	350.00
Dosage en eau (*l*/m3)	E	171.6981132
Correction sur le dosage en eau en %		-4%
Dosage en eau corrigée (*l*/m3)	Ecor	164.71

Tableau II.24 Dosage pour 10 échantillons

Série	Dosage pour 10 éprouvettes	Eau (l)	Ciment (g)	Gravier (g)	Sable (g)
1	1	2,08	4235	14835,4	8092,0

Tableau II.25 DOSAGE 300kg/m3

Résistance recherchée du béton (MPa)	f_{c28}	30
Résistance visée du béton (MPa)	f_{c28}	34.5
Classe commerciale du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	32.5
Classe vraie du ciment à 28 jours (MPa)	f_{c28}	39.00
Diamètre du gros granulat (mm)	Dmax	31.50
Coefficient granulaire	G	0.50
Rapport C/E selon Dreux Gorisse	C/E	2.04
Affaissement	A ou f	5
Dosage en ciment (kg/m3)	C	300.00
Dosage en eau (*l*/m3)	E	147.1698113
Correction sur le dosage en eau en %		-4%
Dosage en eau corrigée (*l*/m3)	Ecor	141.18

Tableau II.26 Dosage pour 10 échantillons

Série	Dosage pour 10 éprouvettes	Eau (l)	Ciment (g)	Gravier (g)	Sable (g)
1	1	1,78	3630	15178,0	8278,9

II.4 ETAPES DE CONFECTION DU BETON

Pour chaque type de matériaux nous avons confectionné 30 échantillons c'est-à-dire 10 pour chaque dosage (300,350 et 400kg/m^3).



Figure II.5 Les éprouvettes utilisées

II.4.1 PREPARATION DES MELANGES

Les bétons réalisés ont été confectionnés conformément à la norme NA 431 en vigueur et une fois que le malaxage manuel est terminé.



Figure II.6 Malaxage

Le choix du mode de mise en place dépend de la consistance du béton mesurée par l'essai d'affaissement conformément à la norme NA 431.

Pour l'affaissement mesuré inférieur ou égale à 5 cm, nous avons procédé à la mise en place du béton dans le moule cubique 10 x 10 x10 cm en deux couches d'égale épaisseur avec une table vibrante, conformément à la norme NF P 18-422.



Figure II.7 La mise en place du béton

Enfin, nous avons procédé à l'arasement de la surface supérieure de l'éprouvette à l'aide d'une règle d'arasement, conformément à la norme NF P 18-404.

La conservation des éprouvettes avant démoulage :

L'arasement terminé, les éprouvettes sont conservées, sans être déplacées pendant 24 heures, au sein de notre laboratoire à la température d'environ 20 °C et chacune d'entre-elle est numérotée.

Conservation après démoulage

Le démoulage des éprouvettes s'est effectué avec le plus grand soin pour ne pas épaufrer les arrêtes. Après le démoulage, les éprouvettes ont été conservées à la même température, sous l'eau pendant 28 jours.



Figure II.8 CONSERVATION DES ECHANTILLONS DENS L'EAU

La résistance à la compression

La résistance à la compression du béton est généralement considérée comme sa plus importante propriété. Néanmoins, la résistance à la compression projette généralement une image globale de la qualité d'un béton puisqu'elle est directement reliée à la structure de la pâte de ciment hydraté

CHAP III. **INTERPRETATION DES RESULTATS**

III.1 INTRODUCTION

Nous présentons dans ce chapitre les résultats de la résistance à la compression du béton formulé par la méthode de DREUX-GORISSE sur les différents les matériaux utilisés.

III.2 LES RESULTATS DE L'ESSAI DE COMPRESSION

Les résultats obtenus par la compression des différents échantillons dans le chapitre précédent, sont représentés sous forme d'un tableau selon les dosages et les matériaux.

III.2.1 GRANULATS ROULES

DOSAGE / RESISTANCE(MPA)	400kg/m^3	350kg/m^3	300kg/m^3
ECH1	35,22	36,15	36,64
ECH2	39,20	32,99	38,60
ECH3	39,54	36,61	32,42
ECH4	45,43	35,18	33,77
ECH5	40,34	31,70	36,94
ECH6	42,92	34,50	33,86
ECH7	43,87	33,37	32,39
ECH8	38,58	32,42	34,03
ECH9	46,39	41,84	36,88
ECH10	44,47	37,36	34,25
REC MOY	**41,6**	**35,21**	**35**

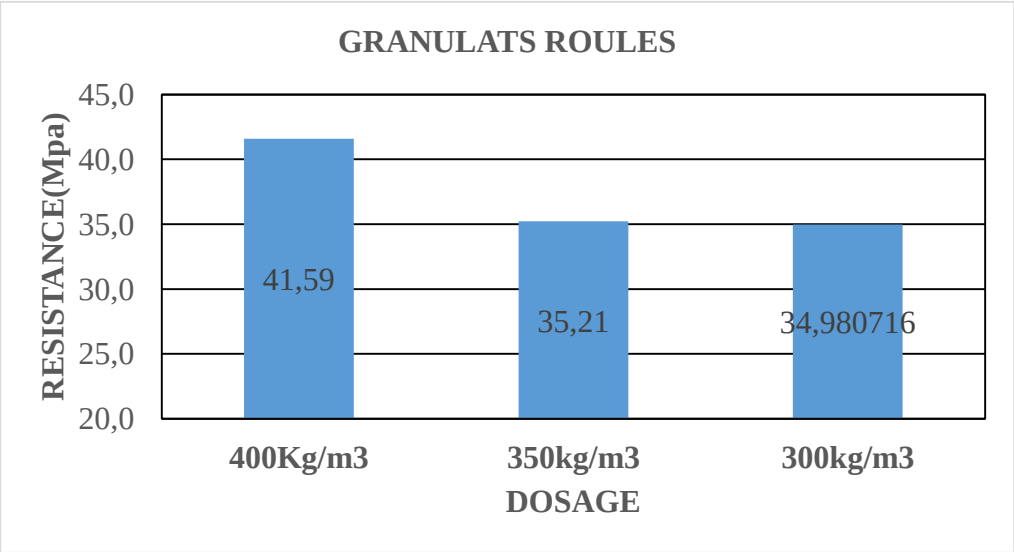


Figure III.1 Résistance à la compression des granulats roulés

D'après la figure nous avons remarqué que les granulats roulés présentent les résistances à la compression moyenne de 41,6 ; 35,21 et 35 MPa à 28 jours. On peut dire que ces résistances sont acceptables du fait que la résistance souhaitée est de 30 MPa, sachant que dans la méthode de Dreux-Gorisse, cette dernière est majorée par un pourcentage de 15% ce qui nous donne une résistance à la compression de 34.5 MPa qui est bien inférieure à celles trouvées à l'aide de l'expérimentation.

III.2.2GRANULATS CONCASSES

DOSAGE / RESISTANCE	400kg/m³	350kg/m³	300kg/m³
ECH1	38,97	35,52	31,59
ECH2	35,75	33,68	39,34
ECH3	35,56	30,10	31,24
ECH4	36,14	39,11	38,07
ECH5	41,06	36,08	33,08
ECH6	35,51	37,26	39,27
ECH7	42,95	36,14	33,61
ECH8	36,30	38,72	36,08
ECH9	44,61	35,48	37,22
ECH10	41,32	35,80	35,06
REC MOY	**38,8**	**35,8**	**35,5**

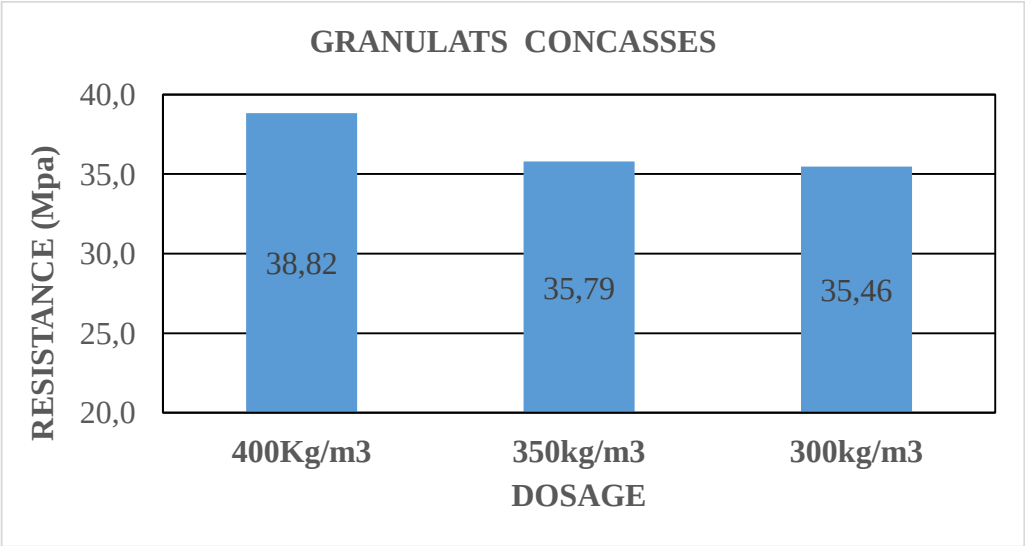


Figure III.2 Résistance à la compression des granulats de concassés

D'après la figure I.2 nous avons constaté que les granulats concassés présentent les résistances à la compression de 38.82 ;35.79 et 35.46 MPa à 28 jours. On peut dire que ces résistances sont acceptables du fait que la résistance souhaitée est de 30 MPa, sachant que dans la méthode de Dreux-Gorisse, cette dernière est majorée par un pourcentage de 15% ce qui nous donne une résistance à la compression de 34.5 MPa qui est bien inférieure à celles trouvées à l'aide de l'expérimentation.

III.2.3 GRANULATS DE CARRIERE

DOSAGE / RESISTANCE(MPa)	400kg/m^3	350kg/m^3	300kg/m^3
ECH1	30,55	25,36	22,90
ECH2	27,73	21,11	18,65
ECH3	25,71	20,30	17,84
ECH4	24,60	23,37	20,91
ECH5	33,46	23,12	20,66
ECH6	23,90	22,59	20,13
ECH7	28,08	22,61	20,15
ECH8	29,95	22,02	19,56
ECH9	28,72	21,82	19,36
ECH10	29,35	19,53	17,07
REC MOY	**28,21**	**22,19**	**19,73**

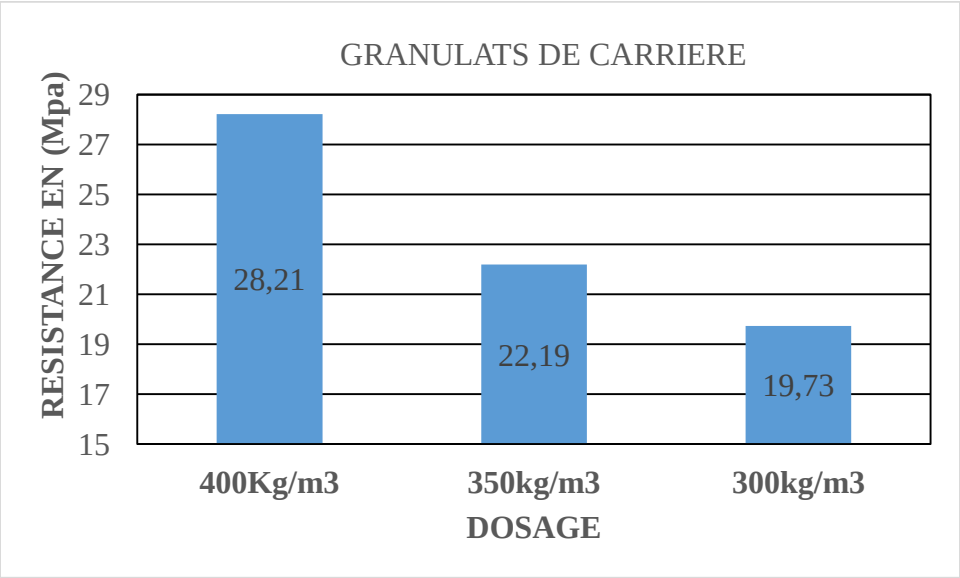


Figure III.3 Résistance à la compression des granulats de carrière

D'après la figure nous avons remarqué que les granulats de montagne présentent les résistances à la compression de 28.21 ;22.19 et 19.73 MPa à 28 jours. On peut dire que ces résistances ne sont pas acceptables du fait que la résistance souhaitée est de 30 MPa, sachant que dans la méthode de Dreux-Gorisse, cette dernière est majorée par un pourcentage de 15% ce qui nous donne une résistance à la compression de 34.5 MPa qui est bien supérieure à celles trouvées à l'aide de l'expérimentation.

III.3 COMPARAISON DES RESULTATS SELON LES DOSAGES

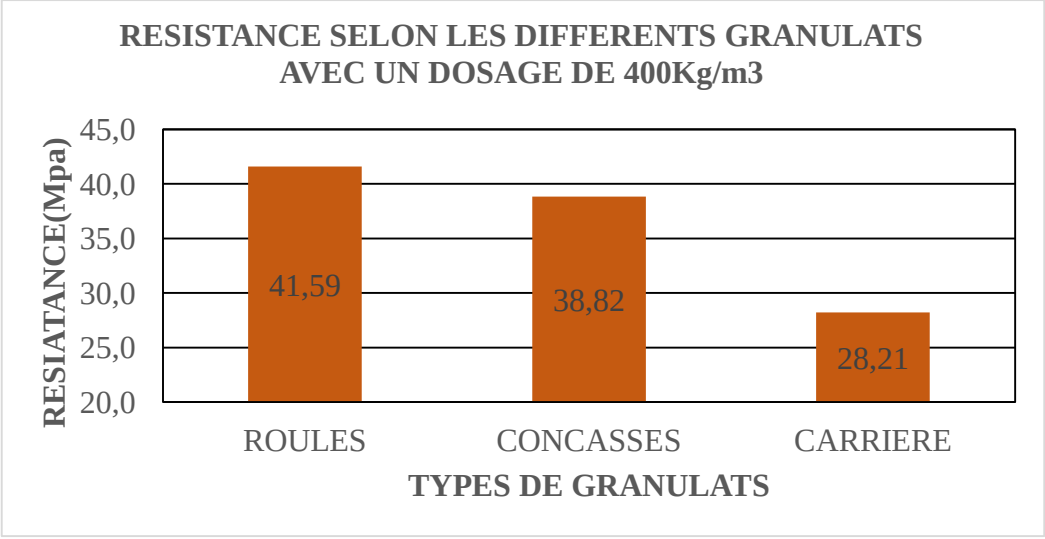


Figure III.4 Résistance à la compression des bétons formulés avec un dosage de 400kg/m^3

La figure III.4 présente la résistance à la compression des bétons réalisés à l'aide des granulats roulés, concassés et de carrière, en utilisant le même dosage de 400Kg/m^3, les résultats obtenus montrent que la résistance à la compression du béton confectionné à l'aide de granulats roulés et concasses présentent des résultats meilleurs par rapport à la résistance du béton obtenu à partir de granulats de carrière. Cette augmentation est de l'ordre de 21.18% par rapport à la résistance de granulats de carrière.

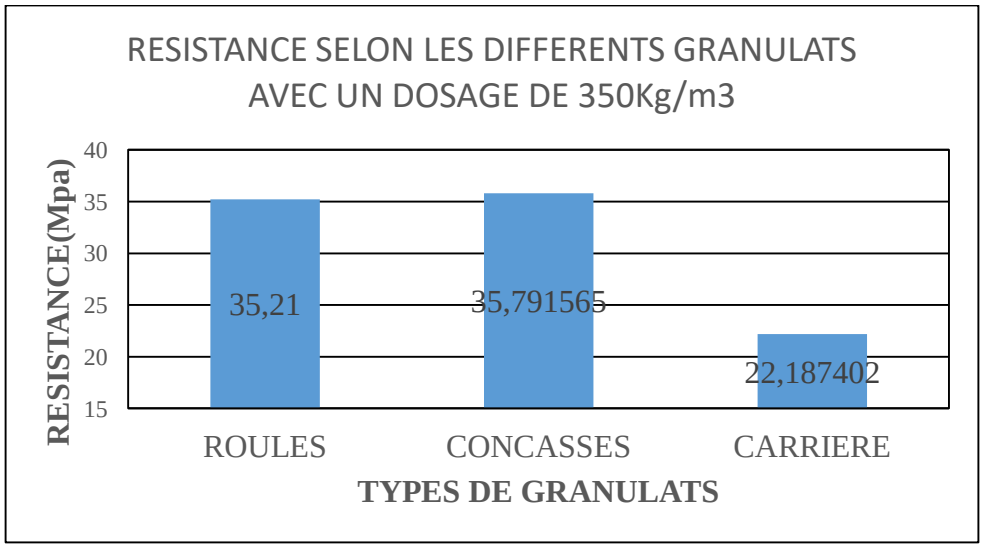


Figure III.5 Résistance à la compression des bétons formules avec un dosage de 350kg/m^3

La figure nous représente la résistance à la compression des bétons formulés par les granulats roulés, concassés et de montagne par la méthode de Dreux-Gorisse avec le même dosage de 350Kg/m^3, où nous remarquons que la meilleure résistance à la compression du béton est obtenue sur les granulats concassés. Ce résultat est de l'ordre de 35 ,8 MPa au-delà une résistance de 35.21 MPa du béton formulé à l'aide des granulats de concassés et par la suite une résistance de l'ordre de 22.19MPa du béton formulé par les granulats de carrière.

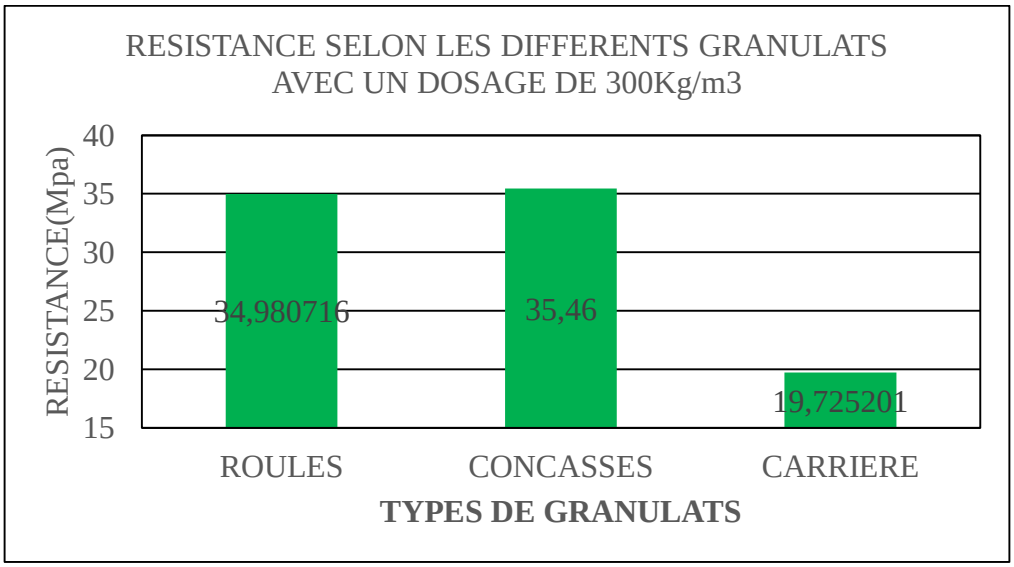


Figure III.6 Résistance à la compression des bétons formulés avec un dosage de 300kg/m3

Avec figure III.6, les résultats obtenus montrent que la résistance du béton confectionné à l'aide de granulats roulés et concasses présentent un résultat meilleur par rapport au béton réalisé à l'aide de granulats de carrière. Les granulats de carrière présentent une diminution de résistance allant jusqu'à 44.36% par rapport à celle des granulats roulés et concassés.

III.4 EFFET DU TYPE DE GRANULATS UTILISE SUR LE DIMENSIONNEMENT D'UNE POUTRE EN BETON ARME

Cet exercice est illustration simple d'un dimensionnement d'une poutre rectangulaire. On va se donner quelques données pour pouvoir dimensionner cette poutre en utilisant les résistances à la compression trouvées sur les trois types de matériaux avec un dosage de 350kg/m^3.

Caractéristiques géométriques de la poutre rectangulaire :

- h=50cm
- bw=20cm

Caractéristiques mécaniques des matériaux

1ercas : granulats roules

- Béton :f_{ck}=41.59MPa
- Acier: HA, Classe B, S500

2ercas : granulats concassés

- Béton : f_{ck}=38.82MPa
- Acier: HA, Classe B, S500

3ercas : granulats de carrière

- Béton : f_{ck}=22.19MPa
- Acier: HA, Classe B, S50, HA20

Classe d'environnement

- Prise en compte de risques de corrosion
- Béton à l'intérieur d'un bâtiment, humidité faible

Classe structurale : S3

Moment sollicitant

- Sous charges permanentes M_G=90KNm
- Sous charges d'exploitation M_Q= 40KNm

Caractéristiques pour le fluage

- La poutre sera dans un bâtiment à usage de bureau
- Le taux d'humidité considère dans le bâtiment est de 70%
- Les charges sont appliquées à 28 jours

Durée d'exploitation du bâtiment

- 50ans

Taille du plus gros granulat : d_g=31.5mm

CORRECTION

Combinaison à l'ELU

$M_{Ed,ELU}$ =1,35M_G+1.5M_Q=181.5KN.m

Classe d'exposition en fonction des conditions d'environnement : CX1

Enrobage minimal, C_{min}

C_{min} = max[Cminb; Cmin dur + Δcdur, γ − Δcdur, st − Δcdur, add; 10mm]

Avec : $\Delta cdur, \gamma = \Delta cdur, st = \Delta cdur, add = 0$

S3 et XC1 donne $Cmin\ dur = 10mm$ et $Cminb = \Phi L = 20$

Avec cette hypothèse $Cmin\ b = 20 > Cmin\ dur$

Donc $Cmin = 20mm$

$Cnom = Cmin + Cmin\ dur$

$Cnom = 20mm + 10mm = 30mm$

Donc finalement C_{nom}=30mm (Distance entre la peau et les armatures transversales).

Comme nous avons fait l'hypothèse que les diamètres longitudinaux seront au moins des HA 20, en appliquant la règle empirique du tiers, nous pouvons estimer les armatures transversales comme des HA8.Ainsi $C_{\Phi L}$=38mm

d_1=0,9h=50*0,9=45mm

Dimensionnement des armatures

Hypothèse de Comportement mécanique

acier avec placicite parfaite : $fyd = \frac{fyk}{\gamma s} = \frac{500}{1,15} = 434,8MPa$

1er cas : granulats roulés

beton avec parabole rectangle: $Cdg = 0.416, remp = 0,810, fcd = acc\frac{fck}{\gamma c} = \frac{41,59}{1,5} = 27,73MPa$

2e cas : granulats concassés

beton avec parabole rectangle: $\text{Cdg} = 0.416, \text{remp} = 0.810, \text{fcd} = \text{acc}\frac{\text{fck}}{\gamma c} = \frac{38,28}{1,5} = 25,52\text{MPa}$

3e cas : granulats de montagne

beton avec parabole rectangle: $\text{Cdg} = 0.416, \text{remp} = 0.810, \text{fcd} = \text{acc}\frac{\text{fck}}{\gamma c} = \frac{22,19}{1,5} = 14,79\text{MPa}$

Déformation limite

`il faut donc que : $\alpha_u <= \alpha_{u,lim}$

$$\frac{\alpha_{u,lim}.d_1}{\varepsilon_{cu2}} = \frac{d_1}{\varepsilon_{cu2} + \varepsilon_{so}} \Leftrightarrow \frac{\alpha_{u,lim}.d_1}{3{,}5.10^{-3}} = \frac{d_1}{3{,}5.10^{-3} + 2{,}17.10^{-3}}$$

$$\Leftrightarrow \alpha_{u,lim} = \frac{3{,}5.10^{-3}}{3{,}5.10^{-3} + 2{,}17.10^{-3}} = 0{,}617$$

Donc= $\alpha_u \leq \alpha_{u,lim}$=0,617

$\mu_u \leq \mu_{u,lim}$= $\text{Remp}.\alpha_{u,lim}(1 - Cdg.\ \alpha_{u,lim})$

$\mu_u \leq \mu_{u,lim}$=0,810 x $0.617(1 - 0{,}416x\ 0.617) = 0.372$

$$\mu_u = \frac{M_{Ed,ELU}}{b_w d_1^2 f_{cd}}$$

$$\alpha_u = \frac{1}{2Cdg}\left[1 + \sqrt{1 - \frac{4Cdg}{Remp}\ \mu_u}\right]$$

Calcul de μ_u

$$\mu_u = \frac{181.5.10^3}{0{,}20\text{x}\ 0{,}45^2\text{x}\ 27{,}73.10^6} = 0.162\text{(Pour les granulats roulés)}$$

$$\mu_u = \frac{181.5.10^3}{0{,}20\text{x}\ 0{,}45^2\text{x}\ 25.52.10^6} = 0.176\text{(Pour les granulats concassés)}$$

$$\mu_u = \frac{181.5.10^3}{0{,}20\text{x}\ 0{,}45^2\text{x}\ 14.79.10^6} = 0.303\text{(Pour les granulats de carrière)}$$

Calcul de α_u

$$\alpha_u = \frac{1}{2\ X\ 0.416}\left[1 + \sqrt{1 - \frac{4\ X\ 0{,}416}{0{,}810}\ \text{x}\ 0.162}\right] = 0{,}22\text{(Pour les granulats roulés)}$$

$$\alpha_u = \frac{1}{2\ X\ 0.416}\left[1 + \sqrt{1 - \frac{4\ X\ 0{,}416}{0{,}810}\ \text{x}\ 0.176}\right] = 0{,}24\text{(Pour les granulats concassés)}$$

$$\alpha_u = \frac{1}{2\ X\ 0.416}\left[1 + \sqrt{1 - \frac{4\ X\ 0{,}416}{0{,}810}\ \text{x}\ 0.303}\right] = 0{,}46\text{(Pour les granulats de carrière)}$$

Calcul de z_u

$Z_u=d_1$-Cdg. $\alpha_u.d_1$=0,45- 0,416 x 0,22 x 0,45=0,409 (Pour les granulats roulés)

$Z_u=d_1$-Cdg. $\alpha_u.d_1$=0,45- 0,416 x 0,24 x 0,45=0,405(Pour les granulats concassés)

$Z_u=d_1$-Cdg. $\alpha_u.d_1$=0,45- 0,416 x 0,46 x 0,45=0,364(Pour les granulats de carrière)

Calcul de la section des armatures

$$A_{sl} = \frac{M_{Ed,ELU}}{z_u f_{yd}} = \frac{181.5.10^3}{0{,}409\text{x}\ 434{,}8.10^6} = 1020\mathbf{mm}^2\text{(Pour les granulats roulés)}$$

$$A_{sl} = \frac{M_{Ed,ELU}}{z_u f_{yd}} = \frac{181.5.10^3}{0{,}405\text{x}\ 434{,}8.10^6} = 1031\mathbf{mm}^2\text{(Pour les granulats concassés)}$$

$$A_{sl} = \frac{M_{Ed,ELU}}{z_u f_{yd}} = \frac{181.5.10^3}{0{,}364\text{x}\ 434{,}8.10^6} = 1147\mathbf{mm}^2\text{(Pour les granulats de carrière)}$$

III.5 Conclusion

Ce chapitre présente l'ensemble des résultats expérimentaux sur les trois types de matériaux utilisés pour de formuler le béton afin de répondre sur la question si oui ou non le type de granulats locaux influe sur la résistance à la compression du béton.

Le résultat trouvé montre qu'il n'y a pas de grande différence entre les résultats de la résistance à la compression du béton formulé à l'aide granulats concassés qui est de l'ordre de 1.39% de moins par rapport à ceux trouvés sur des granulats roulés.

Une grande différence apparait sur granulats de carrière qui présentent une diminution de résistance très significative allant jusqu'à 39.59% par rapport au granulats roulées et jusqu'à 36.13% par rapport au matériaux concassés. Avec la section des armatures pour les granulats de carrière il y a une augmentation moyenne de 11,85 % par rapport aux granulats concassés et roulés. Suite a cette augmentation de la section des armatures le cout d'un projet augmenté aussi.

CHAP IV. **CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATION**

IV.1 CONCLUSION GENERALE

L'obtention d'un bon béton est basée sur la qualité des constituants et leur dosage dans le mélange. C'est pour cette raison que la présente étude est effectuée pour clarifier l'influence de chaque type de granulat (granulats roulés, granulats concassés et granulats de carrière) sur la résistance en compression du béton.

D'après les résultats obtenus dans ce travail, nous avons observé que la résistance à la compression des bétons formulés à l'aide des granulats roulés et granulats concassés, avec mêmes dosages, est presque la même tandis que les granulats de carrière présentent une faible résistance par rapport aux autres granulats étudiés. On peut déduire que la diminution de la résistance est due à des différentes facteurs comme les caractéristiques des granulats, à savoir :

- Plus la masse volumique (absolue ou apparente) des granulats est élevée plus la résistance à la compression du béton augmente,
- Plus le module des finesses est faible plus la résistance à la compression du béton diminue aussi,
- La forme anguleuse des granulats facilite l'adhérence du mortier dans le béton.

IV.2 RECOMMANDATION

Pour mieux assurer une bonne qualité du béton nous recommandons ce qui suit :

- Evaluer d'autres propriétés du béton.
- Pour assurer l'homogénéité du mélange (bon malaxage), il est recommandé d'utiliser un malaxeur.
- Evaluer la qualité de l'eau et du ciment.
- Surveiller la qualité de mise en œuvre du béton sur terrain

D'autre part, et à la suite des résultats obtenus, une attention particulière sera donnée à l'utilisation des granulats roulés et granulats concassés pour l'amélioration des propriétés mécaniques des bétons.

REFERENCES

[1]. Gilles Chanvillard. Concepts avancés de formulation des bétons basés sur la science des matériaux, Article de Doctorat.

[2]. Dreux.G et Festa.J.1998. Nouveau guide du béton et de ces constituants, Edition Eyrolles

[3]. DUPONT.P, TOURENQ.C(1997) La Nouvelle norme sur les granulats

[4]. DE LARRARD F, BELLOC A (1999). L'influence du granulat sur la résistance à la compression des bétons.

[5]. JOISSEL, Composition de béton hydraulique, Edition S.T.A.R

[6]. R. LACHON, Manuel de laboratoire, Tome I, Edition Dunod.

[7]. R. LACHON, Manuel de laboratoire, Tome II, Edition Dunod.

[8]. R. VALLETTE, Manuel de composition de béton, Edition Eyrolles

[9]. YANNICK SEIFFERT, Le béton arme de selon les eurocode2, Edition Dunod.

[10]. CHANVILLARD. G, 1999. Connaissances générales sur le matériau béton, Edition Aléas

[11]. BOUTIBA.A, accélération du durcissement par énergies renouvelables du béton frais et caractérisation du béton durci. Thèse de magister. Physique et mécanique des matériaux, Université M'hand Bougarra, Boumerdes, Algérie ,136p.

[12]. CAQUOT A. (1937), Rôle des matériaux inertes dans le béton, Mémoire de la Société des Ingénieurs Civils de France. July -August.

[13]. REMADNIA, Etude de l'influence de la qualité des granulats sur les propriétés des mélanges de béton dans les conditions des entreprises de préfabrication, Thèse de magister, Annaba, (1986).

[14]. Cours de technologies des matériaux

ANNEXES

VALEURS APPROXIMATIVES DU COEFFICIENT GRANULAIRE

Qualité des Granulats	Dimension maximale D des granulats		
	Fin $D \leq 12.5mm$	Moyen $20 \leq D \leq 31.5mm$	Gros $D \leq 50mm$
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

VALEUR DU TERME CORRECTEUR K

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment	400 + superplastifiant	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

CORRECTION DU DOSAGE EN EAU

Dimensions maximales des granulats	4	8	13	20	32	50	80
Correction sur le dosage en Eau (%)	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

COEFFICIENT DE COMPACITE DU BETION

Consistance	Serrage	Compacité (C_0)						
		Dmax=5	Dmax=8	Dmax=12.5	Dmax=20	Dmax=31.5	Dmax=50	Dmax=80
Molle (TP-FI)	Piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810	0.815	0.820
	Vibration faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815	0.820	0.825
	Vibration normale	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
Plastique (P)	Piquage	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
	Vibration faible	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
	Vibration normale	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	Vibration puissante	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
Ferme (F)	Vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	Vibration normale	0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850
	Vibration puissante	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845	0.850	0.855

CLASSE D'EXPOSTION SELON LA NORME NF EN 206/CN

CLASSE D'EXPOSITION	DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT	BETON CONCERNE
XO	**Aucun risque de corrosion ou d'attaque**	**Béton non armé ou béton armé en environnement très sec**
XC	**Corrosion induite par carbonatation**	**Béton contenant des armatures ou des pièces métalliques noyées exposé à l'air et à l'humidité**
XC1	Sec ou humide en permanence	
XC2	Humide, rarement sec	
XC3	Humidité modérée	
XC4	Alternance d'humidité et de séchage	
XD	**Corrosion induite par les chlorures ayant une origine autre que marine**	**Béton contenant des armatures ou des pièces métalliques noyées soumis au contact d'une eau ayant une origine autre que marine contenant des chlorures, y compris des sels de déverglaçage**
XD1	Humidité modérée	
XD2	Humide, rarement sec	
XD3	Alternance d'humidité et de séchage	
XS	**Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer**	**Béton contenant des armatures ou des pièces métalliques noyées soumis au contact des chlorures présents dans l'eau de mer ou à l'action de l'air véhiculant du sel marin**
XS1	Exposé à l'air véhiculant du sel marin mais pas en contact direct avec l'eau de mer	
XS2	Immergé en permanence	
XS3	Zone de marnage, zone soumise à des projections ou des embruns	
XF	**Attaque gel/dégel avec ou sans agent de déverglaçage**	**Béton soumis à une attaque significative due à des cycles gel/dégel alors qu'il est mouillé**
XF1	Saturation modérée en eau sans agent de déverglaçage	
XF2	Saturation modérée en eau avec agent de déverglaçage	
XF3	Forte saturation en eau sans agent de déverglaçage	
XF4	Forte saturation en eau avec agent de déverglaçage	



Granulats roulés



Granulats montagne



Granulats de concassés