

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université KASDI Merbah Ouargla



Faculté des Sciences Appliquées
Département de génie civil et hydraulique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master
Spécialité: Génie Civil
Option : C.C.I

Thème

**L'effet de la méthode de formulation sur
la résistance à la compression du béton**

Présentée par :

- BENAMRANE Dounia Zed

Soutenu publiquement le : 28/06/2017

Devant le jury composé de :

| | | | |
|--------------------|-------|----------------------|--------------|
| ELABBADI Med Salem | M.A.A | Université d'Ouargla | Président |
| CHAIB Hachem | Doct. | Université d'Ouargla | Examineur |
| MEZIANI Nedjma | M.A.A | Université d'Ouargla | Promotrice |
| BELFERRAG Allaoua | M.C.B | Université d'Ouargla | Co-promoteur |

Année Universitaire : 2016/2017

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A celle qu'elle a veillée sur moi pendant toujours, ma chère mère,

A mon très cher père,

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 Mademoiselle N.MEZIANI

qui a dirigé ce travail de recherche attentivement et efficacement l'évolution de ce travail.

Je remercie vivement Monsieur A.BELFARAG pour avoir dirigé ce travail, pour l'intérêt qu'il a porté, leur conseil, disponibilité et patience.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude

A Monsieur RACHID BELHADJ AISSA

A tout le personnel de :

-Laboratoire des travaux publics du sud LTPS (Ouargla)

-Laboratoire des travaux publics du sud LTPS (Ghardaïa).

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

TABLE DE MATIERE

| | |
|---|----|
| Liste des photos | |
| Liste des figures | |
| Liste des tableaux | |
| Liste d'abréviations | |
| INTRODUCTION GENERALE | 01 |
| CHAPITRE 1 : Généralités | |
| 1.1. Introduction | 03 |
| 1.2. Les composants | 03 |
| a. Les granulats: XPP 18-540 | 04 |
| b. Le gravier | 04 |
| c. Le sable | 05 |
| d. Le ciment | 06 |
| e. L'eau de gâchage | 06 |
| 1.3. Les différents types du béton | 06 |
| 1.3.1. Béton auto-plaçant (BAP) | 06 |
| 1.3.2. Béton de hautes performances (BHP) | 06 |
| 1.3.3. Béton de fibres | 06 |
| 1.3.4. Béton compacte au rouleau (BCR) | 06 |
| 1.3.5. Béton préfabriqué | 07 |
| 1.3.6. Béton à durcissement rapide | 07 |
| 1.3.7. Béton de terre | 07 |
| 1.3.8. Béton léger | 07 |
| 1.3.9. Béton lourd | 07 |
| 1.3.10. Béton extra lourd | 07 |
| 1.3.11. Béton réfractaire | 07 |
| 1.3.12. Béton de poudre réactive (BPR) | 08 |
| 1.3.13. Béton ordinaire | 08 |
| 1.4. Formulation de béton | 08 |
| 1.4.1. La méthode de Dreux –Gorisse | 08 |
| 1.4.2. Méthode de Faury | 11 |
| 1.5. La résistance à la compression | 12 |
| 1.6. Conclusion | 13 |
| CHAPITRE 2 : Matériels et essais | |
| 2.1. Introduction | 14 |
| 2.2. Matériaux utilisés | 14 |
| 2.2.1. Le sable | 14 |
| a. L'analyse granulométrique NF P 18-560 | 14 |
| b. Module de finesse NF P 18 304 | 15 |
| c. La masse volumique absolue et apparente NF P 18-555 | 16 |
| d. Equivalent de sable NF P 18-597 | 16 |
| 2.2.2. Le gravier | 17 |
| a. Analyse granulométrique NF P18-560 | 17 |
| b. Les masses volumiques apparentes et absolues NF EN 12620 | 17 |
| c. Coefficient d'absorption (NFP18-555) | 18 |
| 2.2.3. Le ciment | 18 |
| 2.2.4. L'eau de gâchage | 18 |
| 2.3. Formulation de béton | 18 |

| | |
|---|----|
| 2.3.1. La formulation selon la méthode de Dreux-Gorisse | 19 |
| 2.3.2. La formulation de la méthode de Faury | 19 |
| 2.3.3. Optimisation des proportions du squelette granulaire G/S=1.7 | 22 |
| a. La méthode de formulation de Dreux-Gorisse | 24 |
| b. La méthode de formulation de Faury | 24 |
| 2.3.4. étapes de confection du béton | 25 |
| 2.4. La résistance à la compression | 25 |
| 2.4.1. La conduite de l'essai | 28 |
| 2.4.2. La mise en place et centrage de l'éprouvette | 28 |
| 2.4.3. La mise en charge | 29 |
| 2.5 Conclusion | 29 |

CHAPITRE 3 : Résultats et discussions

| | |
|--|----|
| 3.1 Introduction | 30 |
| 3.2 Les courbes d'analyse granulométrique | 30 |
| 3.2.1 Sable | 30 |
| 3.2.2 gravier 8/15 | 30 |
| 3.2.3 gravier 3/8 | 31 |
| 3.4 la courbe granulométrique par la méthode de FAURY | 32 |
| 3.4.1 Formulation du béton par la méthode de FAURY | 32 |
| 3.4.2 Formulation du béton par la méthode de DREUX-GORISSE | 35 |
| 3.5 Conclusion | 39 |

Conclusion générale et recommandations

| | |
|--|----|
| Conclusion générale et recommandations | 40 |
|--|----|

Liste des photos

CHAPITRE 2 : Matériels et essais

| | |
|---|----|
| Photo 2.1: Essai de la masse volumique absolue | 15 |
| Photo 2.2: Essai de la masse volumique apparente | 16 |
| Photo 2.3: essai d'équivalent de sable | 16 |
| Photo 2.4 : essai de la masse apparente et absolue de gravier | 18 |
| Photo 2.5: Essai de cône d'ABRAMS | 19 |
| Photo 2.6: Moule cubique $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ | 25 |
| Photo 2.7: L'étape de préparation | 26 |
| Photo 2.8: L'essai d'affaissement | 26 |
| Photo 2.9: La mise en place du béton | 26 |
| Photo 2.10: L'arasement des éprouvettes | 27 |
| Photo 2.11 : La conservation des éprouvettes avant le démoulage | 27 |
| Photo 2.12: Le démoulage des éprouvettes | 27 |
| Photo 2.13: Conservation des éprouvettes dans un bain d'eau de 20C° | 28 |
| Photo 2.14: Machine d'essai de la compression | 28 |
| Photo 2.15 : La mise en place dans la machine | 29 |
| Photo 2.16 : La rupture de l'éprouvette | 29 |

Liste des figures

CHAPITRE 1 : Généralités

Figure 1.1: Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire 03

Figure 1.2 : La courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse 09

CHAPITRE 2 : Matériels et essais

Figure 2.1: la courbe granulométrique du sable 14

Figure 2.2 : Courbe granulaire de Dreux-Gorisse 20

Figure 2.3: La courbe granulaire de FUARY 23

CHAPITRE 3 : Résultats et discussions

Figure 3.1 : la courbe granulométrique de sable 30

Figure 3.2 : la courbe granulométrique de gravier 8/15 30

Figure 3.3 : la courbe granulométrique de gravier 3/8 31

Figure 3.4 : la courbe granulométrique selon M.Dreux-gorisse 31

Figure 3.5 : la courbe granulométrique selon M.faury 32

Figure 3.6 : Résistance à la compression du béton (méthode de Faury avec un coefficient $G/S=1.37$) en fonction d'âge 33

Figure 3.7 : Résistance à la compression du béton (méthode de Faury avec un coefficient $G/S= 1.7$) en fonction d'âge 34

Figure 3.8: Résistance à la compression des bétons formulés (méthode de Faury) avec différent G/S en fonction d'âge 34

Figure 3.9: Résistance à la compression (méthode de Dreux-Gorisse avec un coefficient $G/S=1.48$) en fonction d'âge 35

Figure 3.10 : Résistance à la compression (méthode de Dreux-Gorisse avec un coefficient $G/S = 1.7$) en fonction d'âge 36

Figure 3.11 : Résistance à la compression des bétons (méthode de Dreux-Gorisse) avec différent G/S en fonction d'âge 36

Figure 3.12: Résistance à la compression des bétons (méthode de Dreux-Gorisse et méthode de Faury) avec différent G/S en fonction d'âge 37

Figure 3.13: Résistance à la compression des bétons (méthode de Dreux-Gorisse et méthode de Faury) avec le même G/S en fonction d'âge 37

Figure 3.14: Résistance à la compression des bétons (méthode de Dreux-Gorisse et méthode de Faury) avec différents G/S en fonction d'âge 38

Figure 3.15 : Résistance à la compression des bétons (méthode de Dreux-Gorisse et de Faury) avec différents G/S en fonction de la masse volumique. 39

Liste des tableaux

CHAPITRE 2 : Matériels et essais

| | | |
|--------------|---|----|
| Tableau 2.1 | L'analyse granulométrique de sable | 14 |
| Tableau 2.2 | résultats d'équivalent de sable | 16 |
| Tableau 2.3 | Analyse granulométrique du gravier de classe 8/15 | 17 |
| Tableau 2.4 | Analyse granulométrique du gravier de la classe 3/8 | 17 |
| Tableau 2.5 | les masses volumiques des graviers | 17 |
| Tableau 2.6 | les coefficients d'absorptions des graviers | 18 |
| Tableau 2.7 | Le volume des composants en (dm ³) de la méthode de Dreux-Gorisse | 22 |
| Tableau 2.8 | les composants en masse (Kg) de la méthode de Dreux-Gorisse (G/S = 1.48) | 22 |
| Tableau 2.9 | les coefficients granulaires de la méthode de Dreux-Gorisse (G/S = 1.48) | 22 |
| Tableau 2.10 | Le volume des composants en (dm ³) de la méthode de Faury | 24 |
| Tableau 2.11 | les composants en masse de la méthode de Faury (G /S=1.37) | 24 |
| Tableau 2.12 | les coefficients granulaires de la méthode de Faury(G /S=1.37) | 24 |
| Tableau 2.13 | le composant en masse de la méthode de Dreux-Gorisse (G /S=1.7) | 25 |
| Tableau 2.14 | les coefficients granulaires de la méthode de Dreux-Gorisse (G /S=1.7) | 25 |
| Tableau 2.15 | les composants en masse de la méthode de Faury (G/S=1.7) | 25 |
| Tableau 2.16 | les coefficients granulaires de la méthode de Faury (G/S=1.7) | 25 |

CHAPITRE 3 : Résultats et discussions

| | | |
|-------------|---|----|
| Tableau 3.1 | Résultats de la résistance à la compression (méthode de Faury avec G/S = 1.37) | 33 |
| Tableau 3.2 | Résultats de la résistance à la compression (méthode de Faury avec G/S=1.7) | 33 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Tableau 3.3 | Résultats de la résistance à la compression (méthode de Dreux-Gorisse avec $G/S=1.48$) | 35 |
| Tableau 3.4 | Résultats de la résistance à la compression (méthode de dreux-Gorisse avec $G/S=1.7$) | 36 |

Liste des abréviations

Mf : module de finesse de sable

Mvabs : La Masse volumique absolue

Mvapp : La masse volumique apparente

Ab : Coefficient d'absorption du gravier

G/S : La quantité du gravier /la quantité du sable

Rc : la résistance à la compression du béton

Résumé

La formulation d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents composants dont on dispose afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la réalisation d'un ouvrage résistant avec une durabilité accrue.

Dans ce travail nous avons étudié la résistance à la compression du béton en utilisant deux méthodes de formulation à savoir la méthode de FAURY et celle de DREUX-GORISSE avec une variation des coefficients granulaire G/S.

Pour cela, nous avons réalisé un programme expérimental où plus de 40 éprouvettes cubique 10x10x10 cm ont été confectionnées.

Les résultats obtenus montrent que le béton réalisé par la formulation de la méthode de FAURY affiche une amélioration de la résistance à la compression par rapport à la formulation de la méthode de Dreux-GPRISSE.

Mots clé : Béton, courbe granulométrique, formulation, coefficient granulaire, la résistance à la compression.

Abstract:

The formulation of a concrete consists for defining the optimal mixture of the various components one has in order to carry out a concrete whose qualities are those required for the realization of a resistant construction with an increased durability.

In this work we have study the mechanical resistances of compression of concrete by the utilization of two methods of formulation which are FAURY method and DREUX-GORISSE with variation of granular coefficients G/S.

For this purpose, we have realized an experimental program of more than 40 cubic specimens 10x10x10 cm is prepared.

The obtained results prove that the concrete witch realized by the formulation of FAURY method show in amelioration on the mechanical resistances of compression following the results of the formulation by DREUX-GORISSE method.


Key words: Concrete, granularity curve, formulation, granular coefficient, resistance of compression.

ملخص:

تعتمد خلطة الخرسانة على تحديد المزيج الأمثل لمختلف المكونات لتحقيق خرسانة جيدة لبناء منشآت ذات جودة .

قمنا في هذا العمل بدراسة تأثير طريقة تحديد كميات الخلطة الخرسانية على مقاومة ضغط الخرسانة باستخدام طريقتين، تتمثل الأولى في طريقة DREUX-GORISSE والطريقة الثانية هي طريقة FAURY مع تغيير بالمعامل الحبيبي G/S لهذا قمنا بإجراء برنامج من التجارب تتضمن أكثر من 40 عينة مكعب (10×10×10)سم، حيث أظهرت النتائج المتحصل عليها أن الخرسانة التي تم خلطها بطريقة FAURY أعطت نتائج حسنة في مقاومة الضغط نسبة للخرسانة المتعمدة على طريقة DREUX-GORISSE.

الكلمات المفتاحية: خرسانة، منحني حبيبي، خلطة، معامل حبيبي، مقاومة الضغط .



Introduction Générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Avec une consommation mondiale annuelle d'un mètre cube par personne, le béton est le matériau le plus utilisé sur la planète. Il est composé essentiellement de granulats, de ciment et d'eau. Avec l'apparition des nouveaux matériaux et l'exigence des chantiers, l'ingénieur est soumis à une pression croissante en termes de délais et de couts.

Malencontreusement, les entreprises négligent le problème de la formulation des bétons, même si de cet acte fondateur découle une grande partie des conséquences qui influent sur la résistance des bétons et de l'ouvrage réalisé.

Pour formuler un béton c'est-à-dire la mise au point de la composition qui se fait de façon expérimentale en se basant sur les études graphiques, parmi ces méthodes on peut citer la méthode de Dreux – Gorisse, la méthode de Faury, la méthode de Bolomey,, l'ensemble de ces méthodes est basé sur la recherche d'une compacité maximale du mélange.

Le béton est en réalité un matériau composite, avec une grande diversité d'applications et de méthodes de formulations. Les bétons font l'objet de beaucoup de recherches en effet, la relation entre la composition du béton et sa résistance mécanique a intéressé les chercheurs depuis toujours.

La caractéristique essentielle d'un béton à l'état durci est la résistance mécanique en compression à l'âge de 28 jours. Car il est un matériau qui travaille bien à la compression. De ce fait, la connaissance de cette propriété mécanique est donc indispensable pour le dimensionnement et le calcul des ouvrages.

Ce travail consiste à une étude comparative entre les méthodes de la formulation du béton les plus utilisées dans les bureaux d'étude et les laboratoires de notre région, qui sont la méthode de FAURY et la méthode de DREUX GORISSE, et l'optimisation de la composition et son ajustement, sont ensuite obtenus par des essais de compression sur des éprouvettes cubiques pour voir l'influence de la méthode de la formulation sur la résistance à la compression du béton étudié.

Pour viser ces objectifs on divise ce travail à trois chapitres, qui sont comme suit :

Dans le premier chapitre nous avons présenté une étude bibliographique sur le béton et ses composants essentiels, leur méthodes de formulation et ainsi que sa résistance à la compression.

Nous avons élaborés dans le deuxième chapitre les essais faites sur les matériaux utilisés dans ce travail, et la formulation du béton par les deux méthodes Dreux-Gorisse et Faury.

Dans le troisième chapitre nous avons essayés de donné les interprétations aux résultats obtenus après l'écrasement.

Finalement nous avons clôturé ce travail par une conclusion générale et des recommandations.



Chapitre 1

Généralités

1.1. Introduction

Le béton est le matériau de construction par excellence depuis presque un siècle. Constituer à l'origine de seulement quatre composants (gravillons, sable, ciment et eau), leurs méthodes de formulation ont évolué d'un savoir-faire empirique vers la science des matériaux [1].

Nous abordons dans ce travail un type de béton qui est le béton ordinaire, est un matériau de construction composite constitué d'un mélange de granulats (sable, gravillons) un liant. Le liant peut être «hydraulique», il est appelé ciment.

Dans ce chapitre nous avons élaboré une présentation générale sur le béton et ses composants

1.2. Les composants d'un béton ordinaire

Le béton est un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, sable, gravier et, le plus souvent, adjuvants (figure 1.1) qui constituent un ensemble homogène. [2]

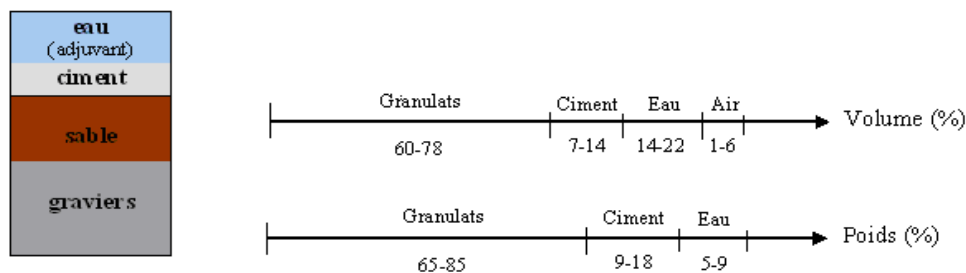


Figure 1.1: Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire [2]

1.2.1. Les composants :

a. Les granulats: XPP 18-540

C'est l'ensemble des grains de dimensions comprises entre 0 et 125 mm, peuvent être d'origine naturelle (sables et graviers de mer et de rivières), artificiels (argile expansée) ou issue du recyclage de déchets de l'industrie (laitier de haut fourneaux). Ils constituent l'ossature du béton et occupent 70 à 80 % environ du volume d'un béton, ils sont inertes en principe mais peuvent favoriser certaines réactions d'hydratation de certains minéraux du clinker c'est l'exemple des silicates tricalciques C3S en présence de filler d'origine calcaire. Leur utilisation pour la confection d'un béton est motivée par le faible coût volumique, par une meilleure durabilité et stabilité volumétrique par rapport au mélange ciment-eau.

En effet, la nature, la quantité, la forme, la granulométrie, la propreté, l'état de surface et le type de granulats sont des facteurs ayant une influence sur les caractéristiques du béton, aussi bien à l'état durci qu'à l'état frais. Les principales divisions granulométriques des granulats données par la norme XP P18-540, sont les suivantes [3] :

- fillers 0/D ou $D < 2$ mm avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm ;
- sablons 0/D ou $D \leq 1$ mm avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm
- sables 0/D ou $1 < D \leq 6,3$ mm
- graves 0/D ou $D > 6,3$ mm
- gravillons d/D ou $d \geq 1$ et $D \leq 125$ mm
- ballasts d/D ou $d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm

D'après la même norme les caractéristiques essentielles des granulats destinés aux bétons hydrauliques sont les suivantes pour :

b. Le gravier : Grains de dimensions allant de 1 à 125 mm, d'après la norme P18-591, que l'essai de propreté des graviers consiste à déterminer le pourcentage d'éléments $< 0,5$ mm, le pourcentage de vase et argiles, éliminées lors de l'essai doit être $\leq 1,5\%$ pour gravillons n'ayant pas subi de concassage, et $\leq 3\%$ pour ce qui ont subi le concassage [4].

La granularité du gravier est fixée par le D prescrit ou admissible pour le béton à préparer, l'absorption d'eau la norme NF P18 541, qui fixe à 5% la valeur maximale pour les bétons hydrauliques[5].

c. Le sable : Grains de dimensions allant de 0 à D où $1 < D \leq 6,3$ mm, d'après la norme P18-598, que l'essai d'équivalent de sable (ES), les sables ayant un ES compris entre 75 et 85%, de granularité définies principalement par les paramètres suivants [6] :

- Teneur en fines (passant à 0,08mm $\leq 12\%$)
- Module de finesse ($Mf = 1,8$ à 3,2)
- Bonne continuité de la courbe granulométrique est nécessaire pour la maniabilité du béton suivant la norme P18-541.

Les sables peuvent être classés, selon leurs provenances comme suit [7] :

-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 mer : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.

-Sable de carrière : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.

-Sable artificiel : 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.

-Sable de dune : les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara.

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

Les silicates tricalciques (alite) : $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ [C₃S]

Les silicates bicalciques (belite) : $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ [C₂S]

Les aluminates tricalciques : $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ [C₃A]

Les aluminoferrites tétracalciques : $4\text{CaO} \cdot \text{AlO}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ [C₄AF]

Autres : (sulfates, alcalins, impuretés, . . .).

Les silicates de calcium C₃S et C₂S représentent à peu près 75% de la masse du ciment. Les caractéristiques granulaires du ciment sont exprimées par sa granulométrie et sa finesse de mouture. Cette finesse de mouture appelée aussi surface spécifique de Blaine peut atteindre 4000 cm²/g et plus pour les ciments à forte résistance au jeune âge [8].

Le ciment peut être classé comme suit:

Selon sa composition : le teneur des constituants autres que le gypse ajouté ou non au clinker, la norme européenne NF EN 197-1 donne 27 ciments courants, qui sont regroupés en cinq types principaux à savoir :

- . CEM I Ciment Portland Artificiel
- . CEM II Ciment Portland composé
- . CEM III Ciment de haut fourneau
- . CEM IV Ciment pouzzolanique
- . CEM V Ciment aux laitiers et aux cendres.

Selon ses résistances à la compression : La norme NF EN 197-1, classes les ciments courant d'après leur résistance à la compression (résistance normale) déterminée conformément à la norme EN 196-1, mesurée à 28 jours en six classes de résistance. (Annexe1)

Selon le type d'environnement: Certains ciments ont des propriétés supplémentaires leur permettant de s'adapter à des environnements spéciaux [9]

e. L'eau de gâchage : d'après la norme NF EN 1008, il 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 du béton, sa perméabilité, les résistances mécaniques, la durabilité [10].

L'eau de gâchage peut avoir plusieurs origines, mais seule l'eau potable est présumée conforme aux exigences de la norme NF EN 1008, 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 que les essais chimiques.

1.3. Les différents types du béton

Le matériau béton, est devenu irremplaçable dans le domaine de la construction, pour des raisons économiques et techniques, il existe plusieurs types notamment sont :

1.3.1. Béton auto-plaçant (BAP)

Développé dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon, le béton auto-plaçant 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, ils se caractérisent 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 [11,12].

1.3.2. Béton de hautes performances (BHP)

Sont des bétons aux résistances mécaniques élevées au jeune âge et à 28 jours (Supérieure à 50 MPa), et un rapport pondéral E/C inférieur à 0.40. Leur propriété essentielle est leur grande résistance en compression qui dépasse largement le cas des bétons ordinaires [13].

1.3.3. Béton de fibres

Est un béton dans lequel sont incorporées des fibres synthétiques ou naturelles, ce qui permet suivant l'ouvrage, de supprimer le treillis soudé traditionnel [14].

1.3.4. Béton compacte au rouleau (BCR)

Ayant une apparence très sèche et raide et un affaissement nul, constitué d'une proportion importante de granulats avec une faible quantité de ciment d'où l'ajout des minéraux (cendres volantes, fibres calcaires, résidus miniers etc...). Il est utilisé pour la construction de barrages et aussi très utilisé au Canada dans la construction des routes [15]

1.3.5. Béton préfabriqué

Sert à la fabrication, généralement en usine et en milieu contrôlé, de diverses composantes allant de l'élément standardisé comme le bloc jusqu'aux éléments de structure ou des panneaux de façades multifonction [16].

1.3.6. 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 des adjuvants accélérateurs de durcissement, des ciments à durcissement rapide, la diminution du rapport E/C ou bien par le traitement thermique [17]

1.3.7. Béton de terre

C'est un assemblage de granulats divers (cailloux, graviers, sables, limons ou silts), il doit sa cohésion à une colle qui n'est pas le ciment mais l'argile, la fraction la plus fine du sol [18].

1.3.8. Béton léger

La norme NF EN 206-1 définit les bétons légers comme ayant une masse volumique après séchage entre 800 et 2100 kg/m³, 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 [19].

1.3.9. 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 [20].

1.3.10. Béton extra lourd

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 [21].

1.3.11. Béton réfractaire

Est un béton qui résiste à des températures élevées pouvant atteindre 1300°C, obtenue par le mélange de ciment Alumineux et de granulats réfractaires (chamottes, corindon), ou granulats isolants (Pouzzolane, vermiculite, argile expansée), le béton réfractaire sert à la construction de cheminées et de sols d'usines sidérurgiques [21,22].

1.3.12. Béton de poudre réactive (BPR)

Le BPR est caractérisé par des performances mécaniques élevées et une durabilité améliorée. La ductilité que l'ajout de fibres métalliques confère au BPR le rend apte à être utilisé dans de nombreuses applications sans aucune armature passive. Les résistances en traction et en compression sont très élevées voir mêmes supérieures à celles des aciers (350 MPa) [21].

1.3.13. 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 $20 \text{ MPa} \leq f_{c28} \leq 50 \text{ MPa}$ [22].

1.4. Formulation de béton

La formulation joue le rôle effectuant par ses paramètres propriétaires qui permettent d'apporter un nouveau regard sur béton, 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, 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. 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, notamment celle des granulats [23].

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 Olliver, 1996].

1.4.1. La méthode de Dreux –Gorisse

Cette méthode française est de nature fondamentalement empirique qui date de 1970. Dreux a mené une large enquête pour recueillir des données sur des bétons satisfaisants, sur la base

d'une analyse statistique de ce grand nombre de bétons et en combinant les courbes granulaires obtenues, ils ont pu fonder une approche empirique pour déterminer une courbe granulair de référence ayant la forme de deux lignes droites dans un diagramme

Semi-logarithmique.

Elle est d'autre part très simple d'utilisation puisqu'elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés [24]

- Résistance visée :

$$\sigma'_{28j} = \sigma_{28j} + 0.15 \sigma_{28j}, \quad \text{Soit } \sigma'_{28j} = 1.15 \sigma_{28j}$$

- Dosage en ciment et en eau :

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

avec : $f_c' = \sigma'_{28j}$ résistance visée à 28 jours

f_{CE} : classe vraie de ciment en MPa.

G : coefficient granulaire. (Annexe 2)

C : dosage en ciment (Kg de ciment/m³ de béton).

E : dosage en eau (Kg d'eau/m³ de béton ou litre d'eau/m³ de béton).

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

$$E = \text{le rapport } \left(\frac{C}{E} \right) \times \text{dosage de ciment.} \quad \dots\dots\dots (1)$$

- Tracé de la courbe granulair de référence AOB :

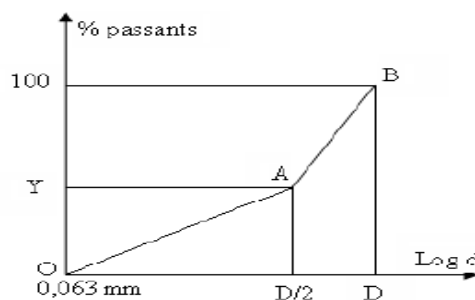


Figure 1.2 : La courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse

- Sur le graphe d'analyse granulométrique, type AFNOR (pourcentage de tamisât en fonction du module ou diamètre de tamis) nous traçons une composition granulair 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 granulats).

Le point de brisure A aux coordonnées [D/2; Y], suivantes:

- en abscisse :

- si $D \leq 20$ mm, le point de brisure a pour abscisse: $A = D/2$

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

D : diamètre du plus gros granulats

K : un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés. (Annexe3)

- La ligne de partage :

La ligne de partage joint le point d'ordonnée 95% de la courbe granulaire du plus petit granulats au point d'ordonnée 5%, de la courbe granulaire du plus gros granulats. 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 1m^3 :

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

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.

$V_C = \frac{C}{V_{abs}}$ soit, C: dosage en ciment (kg/m^3)

-Volume absolu de granulats :

De la relation de $\gamma = (V_C + V_g + V_S)$ on en déduit V_g et V_S

en remplaçant le volume de granulats $V_S + V_g$ par la valeur V_G , alors $\gamma = (V_C + V_G)$

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

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

γ : Coefficient de compacité (Annexe 4)

-Volume de sable = Le pourcentage $\times V_G$

- Détermination de la composition pondérale sèche en Kg

-Masse de ciment : le dosage choisi

-La quantité d'eau : E par la formule (1)

-Masse de sable $S = V_s \times M_{v_{abs}}$

-Masse de gravillons $G_{3/8} = V_G \times M_{v_{abs}}$

$$G_{8/15} = V_G \times M_{v_{abs}}$$

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

1.4.2. Méthode de Faury

Cette méthode qui date de 1942 s'inspire des travaux de Caquot Faury. La méthode prend comme échelle :

-en abscisse, la ${}^5\sqrt{D}$

-en ordonnée, la décimale suivant le pourcentage en volume absolu de matière passant à travers les passoires correspondantes.

-Le calcul est il fait par les étapes suivantes

$$D_{max} = D_{n-1} \left(1 + \frac{x}{2y} \right)$$

D_{n-1} : le diamètre qui correspond au tamis n-1

X : le refus sur le tamis n-1

y: le refus entre D_{n-1} et $\frac{D_{n-1}}{2}$

$$\text{Alors } D_{max} = D_{n-1} \left(1 + \frac{x}{2y} \right)$$

$$Y \frac{D_{max}}{2} = 27 + 17.8 \sqrt[5]{D_{max}} + 3.5$$

-On calcul $\frac{D}{2}$

D : la fraction max de la classe supérieure

$D_{100\%}$... D : le diamètre du tamis situé avant le premier tamis d'analyse granulométrique.

-D'après ce calcul la courbe de référence de Faury est définie par trois points

$$[0.0065 ; 1], \left[\frac{D}{2} ; Y \frac{D_{max}}{2} \right], [D_{100\%} ; 100\%]$$

-après le traçage la courbe granulaire de FAURY.

⇒ La quantité E, d'eau est donnée par la formule suivante :

$$E = \frac{0.39}{5\sqrt{D}} \times 1000 \dots\dots\dots(2)$$

⇒ Détermination des éléments secs

Eléments secs ES = 1000 - E

Pour notre cas on a choisi le dosage de ciment à 350Kg /m³

Donc le volume de ciment dans un mètre cube de béton égal $V_c = \frac{350}{M_{vabs}}$

Alors le pourcentage de ciment égal à $\frac{V_c}{ES} \times 1000$

⇒ Les pourcentages

-D'après la courbe on obtient alors :

-Le pourcentage de sable

-Le pourcentage de gravier (3/8)

-Le pourcentage de gravier (8/15)

-La composition d'un mètre cube de béton en volume égal à :

Sable = le pourcentage de sable × ES

Gravier (3/8) = le pourcentage de 3/8 × ES

Gravier (8/15) = le pourcentage de 8/15 × ES

Ciment = le dosage choisi par un mètre cube

Eau = calculé par la formule (2)

La composition en masse : les quantités massiques des granulats sont déterminées par la formule suivante :

$$\text{Le volume en litre} \times \frac{\text{la densité absolue}}{\text{la densité apparente}} = \text{la masse en Kg}$$

1.5. La résistance à la compression

Généralement la résistance en compression c'est la caractérisation de base du béton durci. Cette résistance est déterminée suivant la norme européenne NF EN 12390-3. La résistance à 28 jours après un mûrissement à l'eau sert en général de référence.

La liaison entre la pâte durcie et les granulats qu'elle enrobe conditionne également la résistance mécanique du béton. Une bonne résistance à la compression est la performance bien souvent recherchée pour le béton durci. Cette résistance dépend d'un certain nombre de

paramètres, en particulier le type et le dosage du ciment, le facteur E/C, rapport du dosage en eau au dosage en ciment. [25]

D'après BOUTIBA la résistance à la compression d'un béton ordinaire formulé par la méthode de dreux-Gorisse pour des éprouvettes 15x15 pour 02, 07 et 28 jours est égale à 14.19, 26.81 et 32.68 MPa respectivement. [26]

1.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons traité l'essentiel des éléments qui nous concerne dans cette étude en l'occurrence les constituants élémentaires pour la réalisation du béton, la propriété mécanique (compression). Ainsi que les deux méthodes de formulation étudiée.



Chapitre 2

Matériels et Essais

2.1.Introduction

L'objectif de ce chapitre expérimental, est la caractérisation des matériaux utilisés dans ce travail et la composition de béton et sa résistance à la compression, Ainsi que tous les essais sont normalisés et réalisés dans le cadre des normes Afnor au laboratoire des travaux publics de sud de la wilaya d'Ouargla.

2.2. Matériaux utilisés:

2.2.1. Le sable : est un sable alluvionnaire d'oued Amouri de la wilaya de Laghouat

a. L'analyse granulométrique NF P 18-560

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

Tableau 2.1 : L'analyse granulométrique de sable

| Tamis (mm) | Refus partiel (g) | Refus cumulé(g) | Refus cumulé(%) | Tamisât(%) |
|------------|-------------------|-----------------|-----------------|------------|
| 8 | 0.7 | 0.7 | 0.07 | 99.93 |
| 6.3 | 0.1 | 0.8 | 0.08 | 99.92 |
| 5 | 0.4 | 1.2 | 0.12 | 99.88 |
| 2.5 | 23.6 | 24.8 | 2.48 | 97.52 |
| 1.25 | 97.8 | 122.6 | 12.26 | 87.74 |
| 0.63 | 263.8 | 386.4 | 38.64 | 61.36 |
| 0.315 | 439.1 | 825.5 | 82.55 | 17.45 |
| 0.160 | 153 | 978.5 | 97.85 | 2.15 |
| 0.080 | 21.5 | 1000 | 100 | 0 |

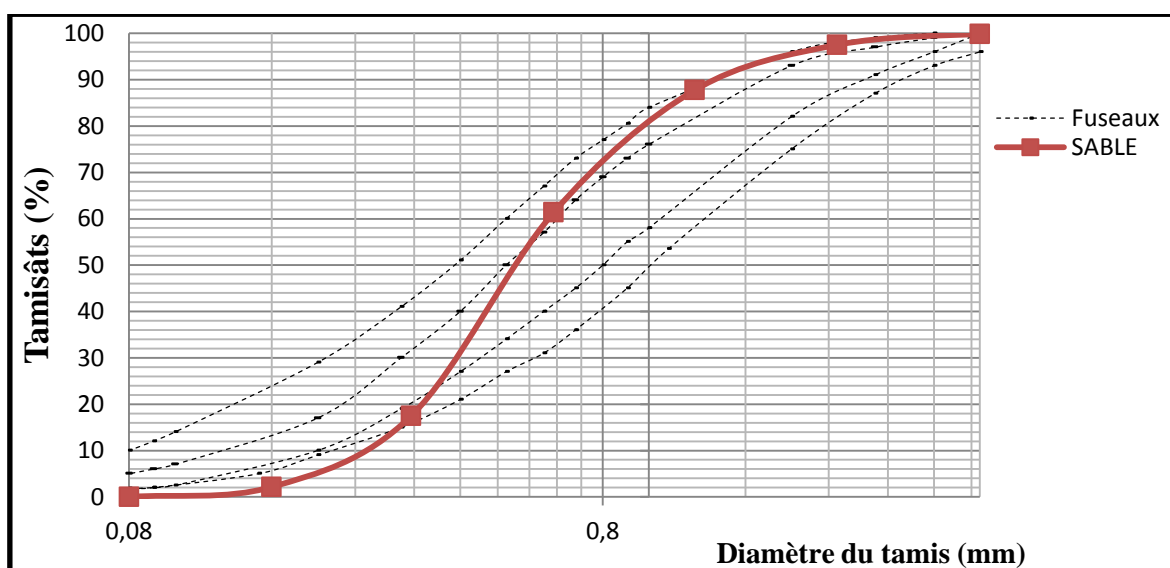


Figure 2.1: la courbe granulométrique du sable

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 (0.08)

Il est donné par la relation suivante :

$$Mf = \frac{\sum Ri}{100}$$

Avec : Ri : refus cumulés en (%).

$$Mf = \frac{0.07+0.08+0.12+2.48+12.26+38.64+82.55+97.85}{100} = 2.34\%$$

Donc notre sable est un sable préférentiel.

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/m³, 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.

-La Masse volumique absolue

- pesé une fiole avec une quantité d'eau V1.
- Pesé 300 g de sable M, et l'introduire dans la fiole
(Éliminer les bulles d'air)
- Lire le nouveau poids V2.
- Le volume absolue est : $V_{abs} = V2 - V1$

La masse volumique absolue est :

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

$$M_{vabs} = 300 / (923.5 - 809) = 2,62 \text{ g/cm}^3.$$



Photo2.1: Essai de la masse volumique absolue

-Masse volumique apparente : NF P 18-554

- Mettre une quantité suffisante de sable dans l'appareil P.DETE
- 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 :

$$Mvapp = (M2-M1) / V1$$

M1 : la masse de récipient vide.

M2 : la masse de récipient + le sable.

V1: le volume de récipient

$$Mvapp = (311 - 53.34) / 161.24 = 1,60 \text{ g/cm}^3.$$



Photo 2.2:Essai de la masse volumique apparente

d. Equivalent de sable NF P 18-597

L'équivalent de sable est donné par:

$$ES_v = h_2/h_1 \times 100, \quad ES = h_2'/h_1 \times 100$$

ES : équivalent de sable mesuré au piston.

ES_v : équivalent de sable visuel mesuré visuellement

h₁ : Hauteur du sable propre et élément fins.

h₂ : Hauteur du sable propre seulement

h₂' : Hauteur du sable propre seulement au piston.

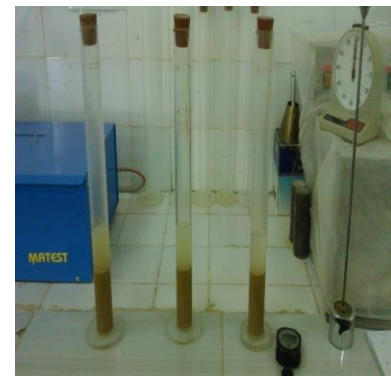


Photo 2.3: essai d'équivalent de sable

Tableau 2.2 : résultats d'équivalent de sable

| Type de sable | ESV (%) | ES (%) | Nature et qualité du sable |
|----------------|---------|--------|--|
| Sable concassé | 75.60 | 73.13 | Selon la norme NF P18-541, on a un sable propre à faible pourcentage de fines (Annexe 5) |

2.2.2. Le gravier : le gravier ramené de la carrière de Ben Brahim de la wilaya de d'Ouargla.

Dans ce travail on a utilisé deux classes de gravier de 3/8 et 8/15.

a. Analyse granulométrique : la norme NF P18-560

Les résultats de l'analyse granulométrique sont présentés sur les tableaux suivants :

Tableau 2.3: Analyse granulométrique du gravier de classe 8/15

| Tamis | Refus partiel | Refus cumulé | Refus cumulé(%) | Tamisât(%) |
|-------|---------------|--------------|-----------------|------------|
| 20 | 9.1 | 9.1 | 0.23 | 99.77 |
| 16 | 530.7 | 539.8 | 13.56 | 86.44 |
| 12.5 | 1421.9 | 1961.7 | 49.28 | 50.72 |
| 10 | 1011.7 | 2973.4 | 74.70 | 25.30 |
| 8 | 674.7 | 3648.1 | 91.65 | 8.35 |
| 6.3 | 285.5 | 3933.6 | 98.82 | 1.28 |
| 5 | 40.9 | 3974.5 | 99.85 | 0.15 |
| 3.15 | 5.9 | 3980.4 | 100 | 0 |

Tableau 2 .4: Analyse granulométrique du gravier de la classe 3/8

| Tamis | Refus partiel | Refus cumulé | Refus cumulé(%) | Tamisât(%) |
|-------|---------------|--------------|-----------------|------------|
| 10 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 8 | 3.2 | 3.2 | 0.08 | 99.92 |
| 6.3 | 182 .8 | 186 | 4.65 | 95.35 |
| 5 | 1422.4 | 1608.4 | 40.21 | 59.79 |
| 3.15 | 1666.8 | 3275.2 | 81.88 | 18.12 |
| 2 | 164 | 3439.2 | 85.98 | 14.02 |
| 1 | 554.8 | 3994 | 99.85 | 0.15 |

b. Les masses volumiques apparentes et absolues 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/m³ et 1600 kg/m³ et la masse volumique absolue est nettement plus élevée et est comprise entre 2550 kg/m³ et 2620 kg/m³. Les résultats des masses volumiques obtenus pour les différents graviers, sont récapitulés sur le tableau suivant :

Tableau 2.5 : les masses volumique des graviers

| Classe de Gravier | Mvapp (kg/m ³) | Mvabs (kg/m ³) |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| 3/8 | 1190 | 2550 |
| 8/15 | 1600 | 2620 |



Photo 2.4 : essai de la masse apparente et absolue de gravier

c. 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 2.6 : les coefficients d'absorptions des graviers

| | | |
|----------------------|------|------|
| La classe de gravier | 3/8 | 8/15 |
| Ab(%) | 0.04 | 0.03 |

2.2.3. Le ciment :

Le ciment utilisé est un CPJ – CEM II/BL 42.5 N en provenance de la cimenterie de Biskra, Les analyses physiques et mécaniques du ciment sont représenté sur la fiche technique à l'annexe 6.

2.2.4. L'eau de gâchage

C'est l'eau de robinet de laboratoire des travaux de sud d'Ouargla. De la nappe (cité NASRE-Ouargla).

L'analyse chimique de l'eau a été effectuée au laboratoire de traitement des eaux d'Ouargla, l'analyse montre que la potabilité chimiques est de bonne à passable. Les détails des analyses chimiques sont regroupés à l'annexe 7.

2.3. Formulation de béton :

Pour l'étude expérimentale de la formulation du béton, on a utilisé deux méthodes, la méthode de DREUX-GORISSE et celle de FAURY, nous avons respecté les étapes et le mode opératoire de laboratoire tel qu'il est. A fin de voir l'influence de la méthode de composition sur la résistance à la compression.

2.3.1. La formulation selon la méthode 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: $\sigma_{28j} = 25 \text{ MPa}$

La résistance visée vaut alors: $\sigma'_{28j} = 1.15 \sigma_{28j} = 1.15 \times 25 = 28.75 \text{ MPa}$

⇒ Dosage en ciment et en eau :

La formule ci-dessous permet de calculé la résistance à la compression visée à 28 jours, soit:

$$f'c = G.F_{CE} \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right)$$

$$f'c = \sigma'_{28j} \text{ résistance visée à 28 jours donc : } f'c = 28.75 \text{ MPa}$$

$$f'c = G.F_{CE} \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) \rightarrow \frac{C}{E} = \frac{28.75}{0.5 \times 42.5} + 0.5 = 1.85$$

⇒ Dosage en ciment d'un mètre cube de béton :

Notre étude est sur un béton courant, donc on a choisi le dosage de ciment égal à 350 kg/m^3 - d'après le rapport $\frac{C}{E} = 1.85$ la quantité d'eau sera estimé comme suit :

$$E = \frac{350}{1.85} = 189 \quad \Rightarrow \quad E = 189 \text{ L}$$

Cette quantité est confirmée par le calcul théorique par le rapport $\frac{C}{E}$ et pratiquement par l'affaissement souhaité A au cône d'ABRAMS, nous déduisons, grâce à l'abaque $\frac{C}{E}$ en fonction de A, le dosage en eau correspondant (annexe 8)



Photo 2.5: Essai de cône d'ABRAMS

Tracé de la courbe granulaire de référence AOB :

Nous traçons une courbe 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 granulat).

Le point de brisure A aux coordonnées suivantes:

- en abscisse :

- Le plus gros granulat est $D = 20\text{mm}$, donc le point de brisure a pour abscisse: $A = D/2 = 10\text{mm}$

- en ordonnée :

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K$$

K : Terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés, pour notre cas de gravier concassé $K=+2$

$$\text{Alors} \quad Y = 50 - \sqrt{20} + 2 = 47.53$$

Ainsi, les coordonnées du point de brisure A sont:

$$[10 ; 47.53]$$

⇒ Les lignes de partage de 95% et 5% d'ordonnée sont tracées sur la figure suivante :

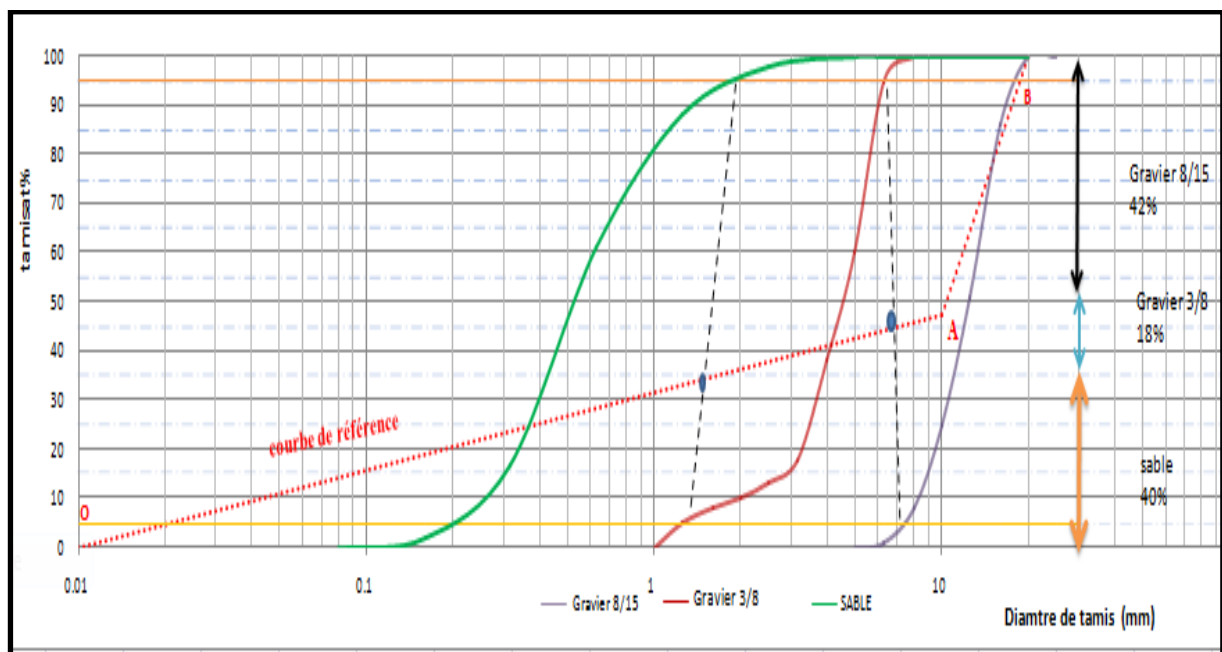


Figure 2.2 : Courbe granulaire de Dreux-Gorisse

⇒ Nous obtenons donc un mélange optimal avec un volume absolu de 40% de sable et de 60% de gravier (Gravier 3/8 + Gravier 8/15).

Sur la courbe de granulométrie, les points d'intersection entre les lignes de partage et la courbe OAB donne les pourcentages des granulats suivants:

- Sable: 40%

- Gravier 3/8: 18%

- Gravier 8/15: 42 %

⇒ 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 1m^3 :

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

$$V_C = \frac{350}{3100} = 0.113 \times 1000 = 113 \text{ dm}^3$$

- Volume absolu de granulats :

De la relation de $\gamma = (V_C + V_g + V_S)$ on en déduit V_g et V_S

en remplaçant le volume de granulats $V_S + V_g$ par la valeur V_G , alors $\gamma = (V_C + V_G)$

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

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

γ : Coefficient de compacité $\gamma = 0.825 - 0.03 = 0.795$

Alors $V_G = (1000 \times 0.795) - 113$

$$V_G = 682 \text{ dm}^3$$

- Volume de sable :

$$V_S = 40\% \times 682 = 272.8 \text{ dm}^3$$

- Volume de gravillons

$$V_G = 60\% \times 682 = 409.2 \text{ dm}^3$$

$$\text{Volume de gravier } (3/8) = 18\% \times 682 = 122.8 \text{ dm}^3$$

$$\text{Volume de gravier } (8/15) = 42\% \times 682 = 286.44 \text{ dm}^3$$

⇒ Détermination de la composition pondérale sèche en Kg

Masse de ciment $C = 350 \text{ Kg/ m}^3$

Masse d'eau $E = 189 \text{ L/ m}^3$

Masse de sable $S = V_S \times M_{v_{abs}}$

$$S = 272.8 \times 2.62 = 715 \text{ Kg/ m}^3$$

Masse de gravillons $G_{3/8} = V_g \times M_{v_{abs}} = 122.8 \times 2.55 = 313 \text{ Kg/m}^3$

$G_{8/15} = V_g \times M_{v_{abs}} = 286.44 \times 2.62 = 750 \text{ Kg/m}^3$

Tableau 2.7:Le volume des composants en (dm³) Tableau 2.8: les composants en masse(Kg)

| Constituants | Le volume (dm ³) |
|--------------|------------------------------|
| Sable | 272.8 |
| Gravier 3/8 | 122.8 |
| Gravier 8/15 | 286.44 |
| Ciment | 113 |

| Constituants | La masse (Kg) |
|--------------|---------------|
| Sable | 715 |
| Gravier 3/8 | 313 |
| Gravier 8/15 | 750 |
| Ciment | 350 |

Tableau 2.9: les coefficients granulaires

| Les rapports granulaires | |
|--------------------------------------|------|
| G/S | 1.48 |
| g _{3/8} /S | 0.44 |
| g _{8/15} /S | 1.05 |
| g _{3/8} / g _{8/15} | 0.42 |

2.3.2. La formulation de la méthode de Faury

$D_{max} = D_{n-1} (1 + \frac{x}{2y})$

D_{n-1} : le diamètre qui correspond au tamis n-1

X : le refus sur le tamis n-1

y : le refus entre D_{n-1} et $\frac{D_{n-1}}{2}$

Alors $D_{max} = D_{n-1} (1 + \frac{x}{2y})$

$D_{max} = 16 (1 + \frac{503.7}{2 \times 39.025}) = 17.6 \dots \dots \dots (1)$

A partir de (1) on calcul $Y \frac{D_{max}}{2} = 27 + 17.8 \sqrt[5]{D_{max} + 3.5}$

$Y \frac{D_{max}}{2} = 27 + 17.8 \sqrt[5]{17.6 + 3.5} = 64.82 \text{ mm}$

$D_{100\%} = 20 \text{ mm}$

D’après ce calcul la courbe de référence de Faury est définie par trois points

$$[0.0065 ; 1], \left[\frac{D}{2} ; Y \frac{D_{max}}{2}\right], [D_{100\%} ; 100\%]$$

Alors les trois points ont les coordonnées suivants [0.0065 ; 1], [10; 64.82], [20 ; 100%]

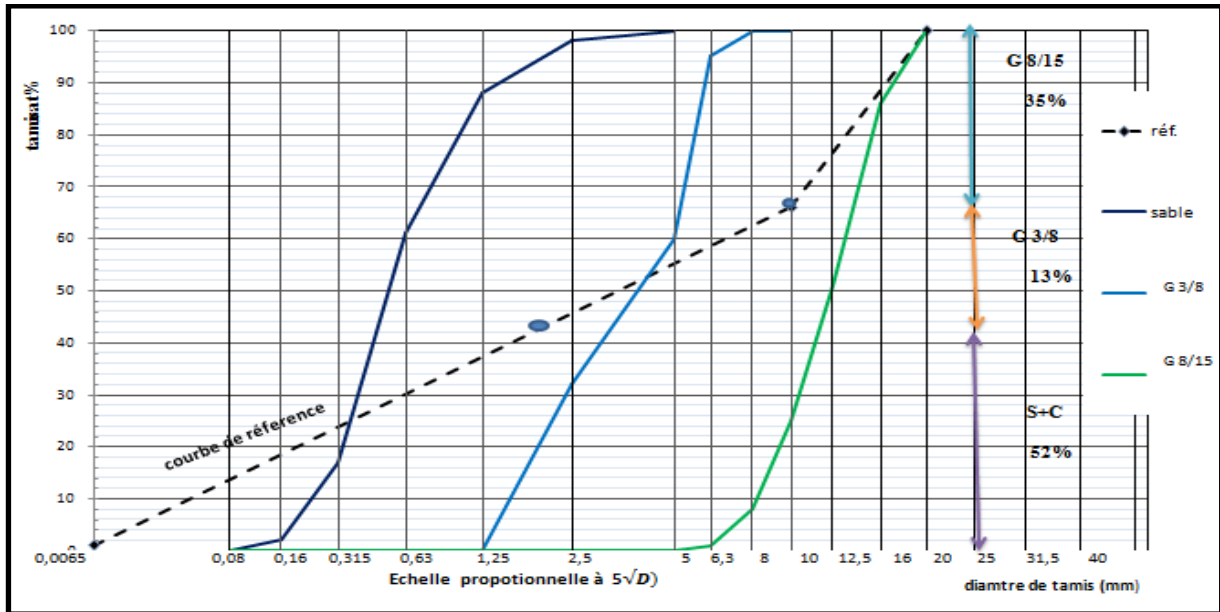


Figure 2.3: La courbe granulatoire de FUARY

⇒ La quantité E, d'eau est donnée par la formule suivante :

$$E = \frac{0.39}{5\sqrt{D}} \times 1000 \quad \Rightarrow \quad E = \frac{0.39}{5\sqrt{26.66}} \times 1000 = 202 \text{ litre}$$

⇒ Détermination des éléments secs

Eléments secs $1000 - E = 1000 - 202 = 798 \text{ L}$

Pour notre cas on a choisi le dosage de ciment à 350 Kg / m^3 , sa densité égal à 3100 kg/m^3

Donc le volume de ciment dans un mètre cube de béton égal à $\frac{350}{3.1} = 113 \text{ litre}$

Alors le pourcentage de ciment égal à $\frac{113}{798} \times 1000 = 14\%$

⇒ Les pourcentages

-D'après les graphes on obtient

-Le pourcentage de sable = 38%

-Le pourcentage de gravier (3/8) = 13%

-Le pourcentage de gravier (8/15) = 35%

⇒ Alors la composition d'un mètre cube de béton en volume égal à :

Sable = $38\% \times 798 = 303 \text{ L}$

Gravier (3/8) = $13\% \times 798 = 104 \text{ L}$

Gravier (8/15) = $35\% \times 798 = 279 \text{ L}$

Eau =202 L

⇒ La composition en masse :

$$\text{Le volume en litre} \times \frac{\text{la densité absolue}}{\text{la densité apparente}} = \text{la masse en Kg}$$

$$\text{Sable} = 303 \times \frac{2.62}{1.6} = 496 \text{ Kg}$$

$$\text{Gravier (3/8)} = 104 \times \frac{2.55}{1.2} = 223 \text{ Kg}$$

$$\text{Gravier (8/15)} = 279 \times \frac{2.62}{1.6} = 457 \text{ Kg}$$

Ciment =350Kg

Eau=202 L

Tableau 2.10 : les composants en volume (dm³) Tableau 2.11: Les composants en masse (Kg)

| Constituants | Le volume (dm ³) |
|--------------|------------------------------|
| Sable | 303 |
| Gravier 3/8 | 104 |
| Gravier 8/15 | 279 |
| Ciment | 113 |

| Constituants | La masse (Kg) |
|--------------|---------------|
| Sable | 496 |
| Gravier 3/8 | 223 |
| Gravier 8/15 | 457 |
| Ciment | 350 |

Tableau 2.12 : les coefficients granulaires

| Les rapports granulaires | |
|--------------------------------------|------|
| G/S | 1.37 |
| g _{3/8} /S | 0.44 |
| g _{8/15} /S | 0.92 |
| g _{3/8} / g _{8/15} | 0.49 |

2.3.3. Formulation avec l'optimisation des proportions du squelette granulaire : G/S=1.7

D'après le DTR, on prend comme optimisation la valeur de coefficient granulaire G/S égale à 1.7 [(la quantité de gravier 3/8 + la quantité de gravier 8/15) / la quantité du sable] , pour le cas de notre béton ,alors il suffit de refaire les mêmes procédures précédentes pour les formulations de la méthode de Dreux-Gorisse et de Faury en gardant tout les paramètres tel qu'il est sont , en changeant que les quantités des graviers.

Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux suivants : (2.11 - 2.12 -2.13 - 2.14)

a. La méthode de formulation de Dreux-Gorisse

Tableau 2.13: le composant en masse (G /S=1.7)

| Constituants | La masse (Kg) |
|--------------|---------------|
| Sable | 715 |
| Gravier 3/8 | 376 |
| Gravier 8/15 | 858 |
| Ciment | 350 |

Tableau 2.14 : les coefficients granulaires

| Les rapports granulaires | |
|--------------------------------------|------|
| G/S | 1.7 |
| g _{3/8} /S | 0.53 |
| g _{8/15} /S | 1.2 |
| g _{3/8} / g _{8/15} | 0.44 |

b. La méthode de formulation de Faury

Tableau 2.15 : les composant en masse (G /S=1.7)

| Constituants | La masse (Kg) |
|--------------|---------------|
| Sable | 496 |
| Gravier 3/8 | 277 |
| Gravier 8/15 | 568 |
| Ciment | 350 |

Tableau 2.16 : les coefficients granulaires

| Les rapports granulaires | |
|--------------------------------------|------|
| G/S | 1.7 |
| g _{3/8} /S | 0.56 |
| g _{8/15} /S | 1.15 |
| g _{3/8} / g _{8/15} | 0.49 |

2.3.4. Étapes de confection du béton

Dans cette partie on explique le mode de travail de notre étude, après la détermination des quantités des composants de chaque méthode pour un mètre cube de béton, on doit transférer les quantités pour un volume d'éprouvette de $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$.

Photo2.6: Moule cubique 10×10×10 cm³

Préparation des mélanges

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



Photo 2.7:L'étape de préparation

Mise en place du béton dans les moules

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.



Photo 2.8: L'essai d'affaissement

Lorsque l'affaissement mesuré est inférieur ou égale à 5 cm, nous avons procédé à la mise en place du béton dans le moule cubique 10x10 cm en deux couches d'égale importance

par aiguille vibrante, conformément à la norme NF P 18-422, et nous accompagnons l'introduction d'un mouvement de répartition par la table vibrante prend 10 seconds.



Photo 2.9: La mise en place du béton

Enfin, nous procédons 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.



Photo 2.10: L'arasement des éprouvettes

La conservation des éprouvettes avant démoulage: L'arasement terminé, les éprouvettes sont conservées, sans être déplacées pendant 24 heures \pm 1 heure, au sein de notre laboratoire à la température d'environ 20 °C \pm 2 °C et chacune d'entre-elle est numérotée.



Photo 2.11 : La conservation des éprouvettes avant le démoulage

Conservation après démoulage

Le démoulage des éprouvettes s'est effectué avec le plus grand soin pour ne pas épaufrer les arrêtes.



Photo 2.12: Le démoulage des éprouvettes

Après le démoulage, les éprouvettes ont été conservées à la même température, sous l'eau pendant 14 jours, pour nous permettre de comparer la différence entre la résistance à la compression à 7 jours, 14, 21 et à 28 jours.



Photo 2.13: Conservation des éprouvettes dans un bain d'eau de 20°C°

2.4. La résistance à la compression

La résistance à la compression du béton est généralement considérée comme sa plus importante propriété bien que, dans de nombreux cas pratiques. 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.

2.4.1. La conduite de l'essai

L'essai pour la détermination de la résistance à la compression des éprouvettes, est exécuté conformément aux prescriptions de la norme NA 427. La contrainte de rupture est donnée directement par la machine d'essai avec une précision de 0.5 MPa.



Photo 2.14: Machine d'essai de la compression

2.4.2. La mise en place et centrage de l'éprouvette

En utilisant un contre-plateau inférieur et des cales, nous devons veiller à son centrage par rapport au contre-plateau supérieur. Les faces de chargement des plateaux ou contre-plateau ainsi que les faces de chargement de l'éprouvette sont nettoyés afin qu'elles soient propres.

L'éprouvette est placée, face d'écrasement vers le haut et centrée (l'erreur de centrage doit être inférieure à 1/100 du diamètre de l'éprouvette).



Photo 2.15 : La mise en place dans la machine

2.4.3. La mise en charge

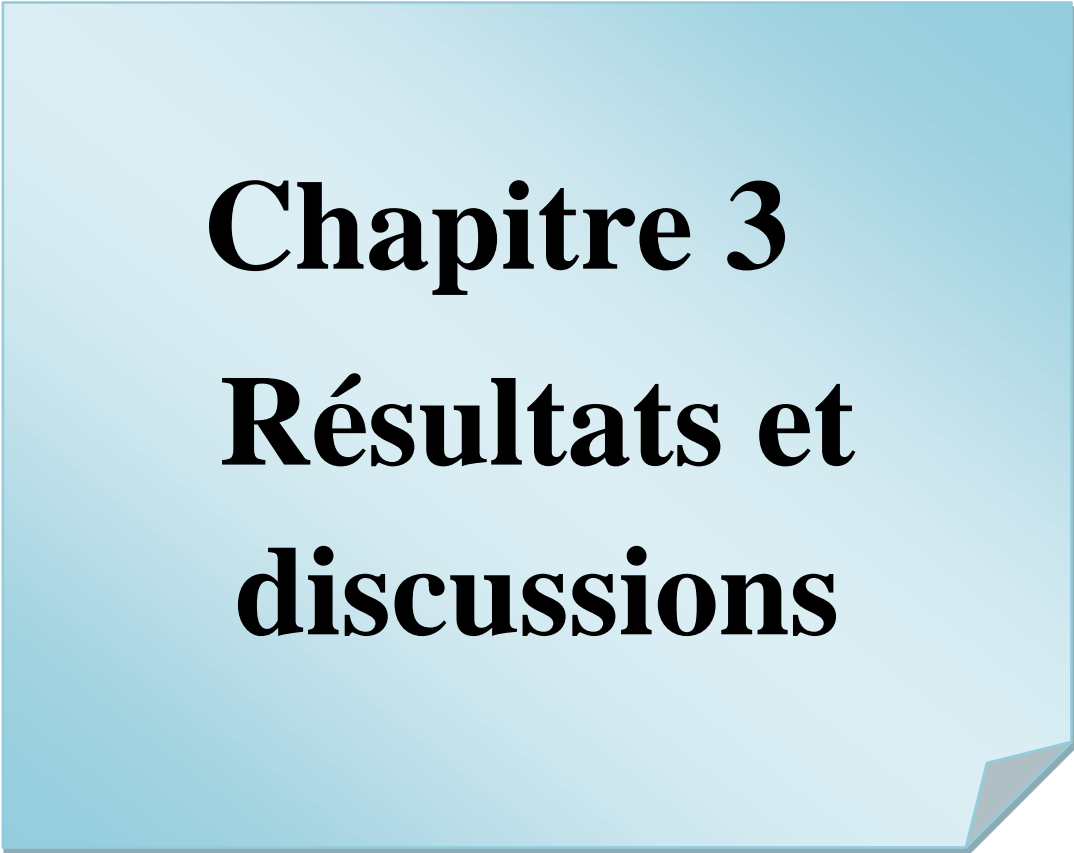
Le contact de l'éprouvette au plateau supérieur comportant la rotule doit être uniforme. La machine de compression doit subir une charge de manière continue et uniforme sans chocs de sorte que l'on provoque un accroissement uniforme de contrainte de $(0,6 \pm 0,4$ MPa) jusqu'à la rupture de l'éprouvette.



Photo 2.16 : La rupture de l'éprouvette

2.5 Conclusion :

Nous avons montré dans ce chapitre une caractérisation sur les matériaux utilisées dans notre projet, ainsi que les procédures expérimentales qui vont nous permettre d'analyser nos résultats afin d'évaluer l'influence de la méthode de formulation du béton sur sa résistance à la compression



Chapitre 3
Résultats et
discussions

3.1. Introduction :

Nous présente dans ce chapitre les courbes granulaires obtenues par les matériaux utilisés, comme les résultats de la résistance à la compression du béton formulé par les méthodes de DREUX-GORISSE et de FAURY, en différents coefficients granulaires.

3.2. Les courbes d'analyse granulométrique :

Les résultats obtenus par le tamisage des granulats dans le chapitre précédent, sont représentés sous forme d'un tracé (courbe granulométrique) sur un diagramme granulométrique comportant en abscisse le diamètre du tamis (mm) et en ordonnée le pourcentage des tamisât.

3.2.1. Sable

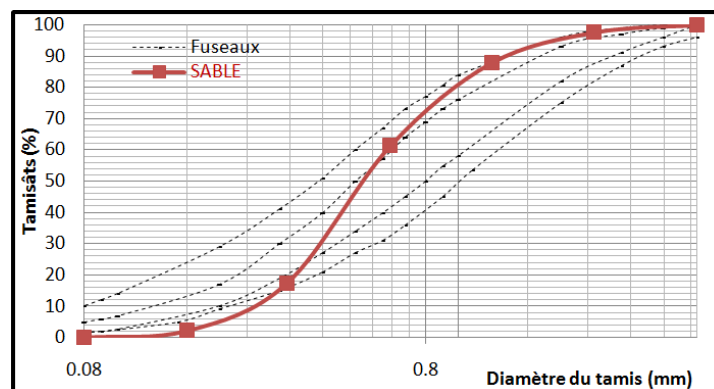


Figure 3.1 : la courbe granulométrique de sable

D'après la courbe granulométrique de la figure 3.1, on remarque qu'elle est une tracé continuée, uniforme et étalée, qui nous confirme que le sable présente une bonne granulométrie bien gradué, et qu'elle se situe dans le fuseau recommandé par la norme NFP 18-560 .

3.2.2. Gravier 8/15

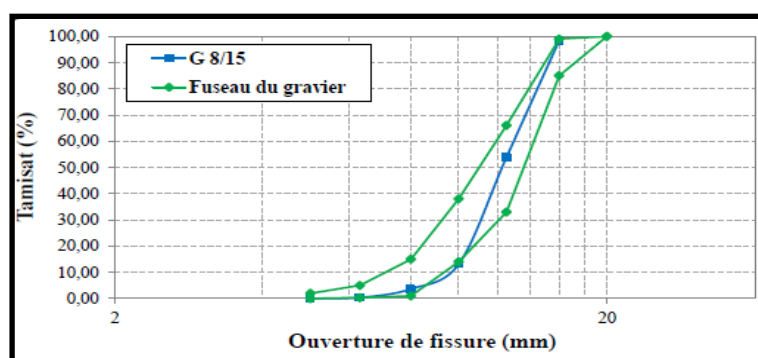


Figure 3.2 : la courbe granulométrique de gravier 8/15

La figure 3.2 nous montre que la courbe de gravier 8/15 est continue c.à.d. elle ne présente pas de discontinuité dans la répartition granulaire, comme elle est uniforme et qu'elle se situe à l'intérieur du fuseau de référence, qui nous assure la bonne répartition des granulats.

3.2.3. Gravier 3 /8

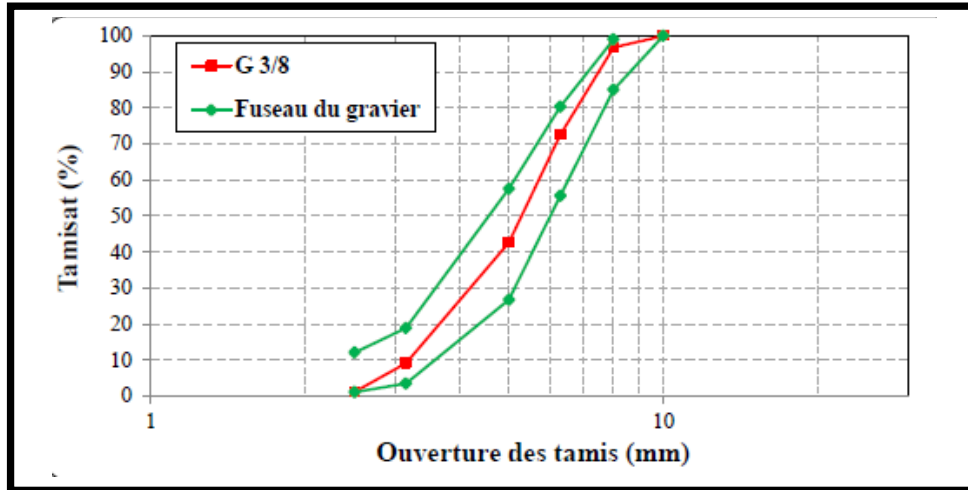


Figure 3.3 : la courbe granulométrique de gravier 3/8

D'après la figure 3.3, On remarque que le gravier de classe 3/8 est bien séré dans le fuseau qui nous montre la bonne distribution de différentes dimensions des granulats.

3.3. La courbe granulométrique par la méthode de Dreux-Gorisse

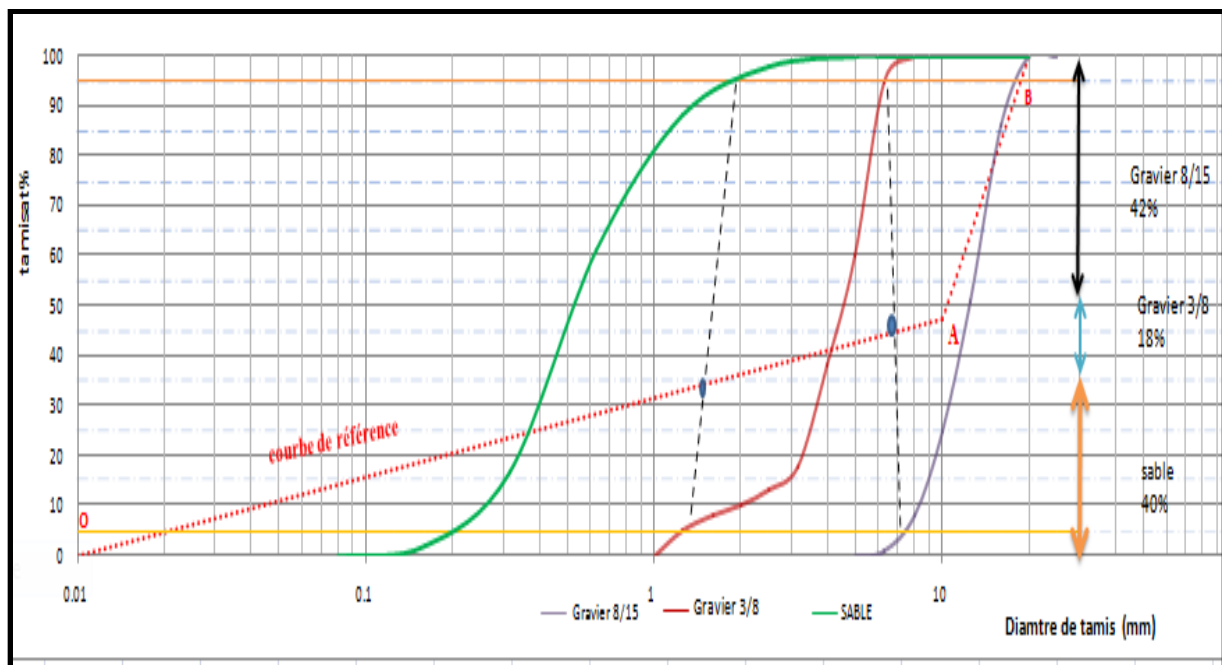


Figure 3.4 : la courbe granulométrique selon M.Dreux-gorisse

La figure 3.4 présente les pourcentages des granulats obtenus par le calcul de la méthode formulation du béton Dreux-Gorisse, qui nous donne 40% de sable ,18% de gravier

3/8 et 42% de gravier 8/15, par mètre cube de béton. D'après les pourcentages trouvés, nous remarquons que le rapport gravier/sable est de l'ordre de 1,48.

3.4. La courbe granulométrique par la méthode de FAURY :

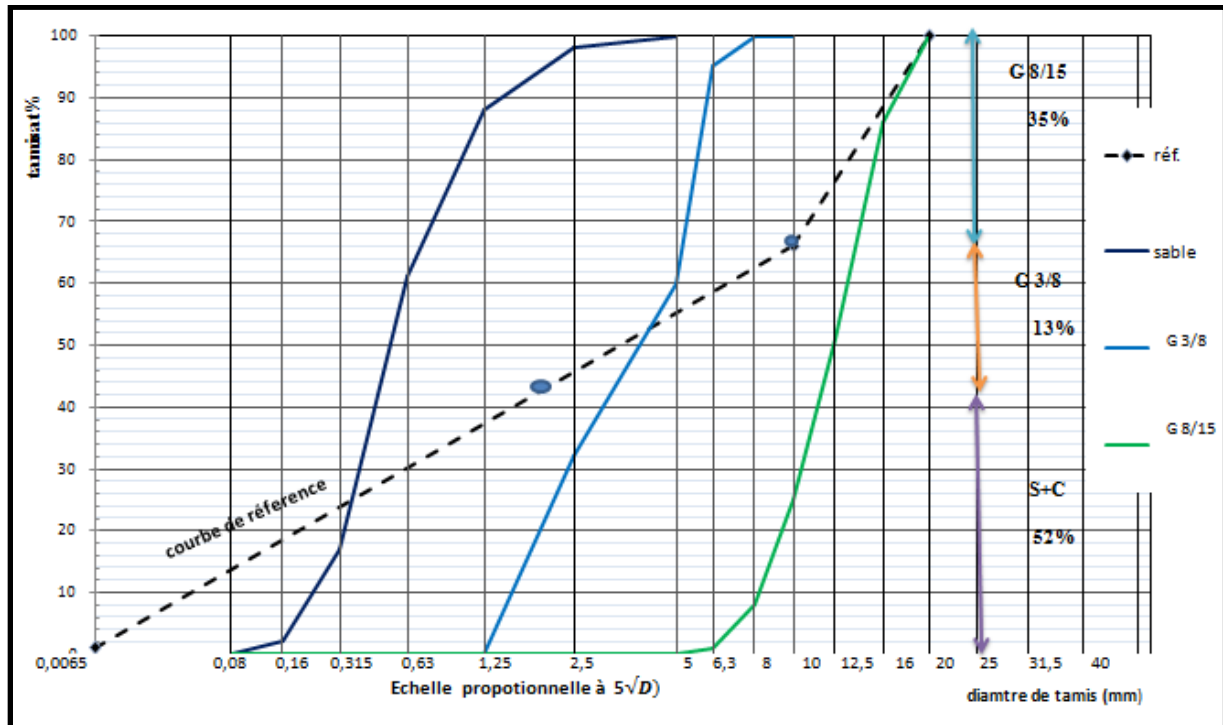


Figure 3.5 : la courbe granulométrique selon méthode de Faury

On remarque d'après la courbe granulaire de la figure 3.5, que les pourcentages obtenus pour chaque constituant à savoir (sable + ciment), gravier 3/8 et gravier 8/15, de l'ordre respective de 52%, 18% et 35% par mètre cube de béton.

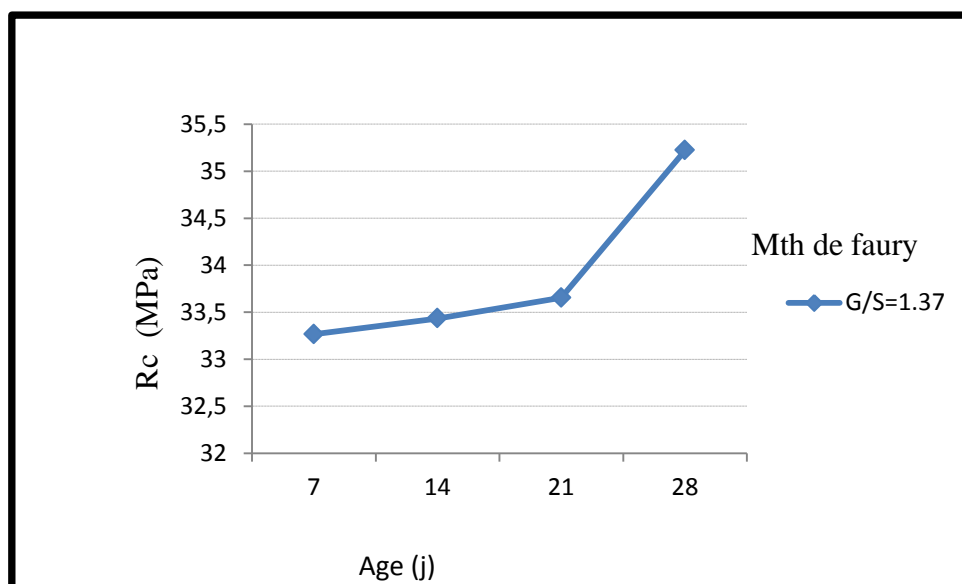
Les pourcentages des granulats sont déterminés par les points d'intersection avec la courbe de référence, et par projection sur l'axe des ordonnées, ses proportions nous permettent d'avoir un coefficient granulaire G/S égal à 1.37.

3.4.1. Formulation du béton par la méthode de Faury

On présente dans les tableaux et les figures ci-dessous les résultats obtenus de la résistance à la compression (R_c) du béton formulé par la méthode de M.Faury avec les deux compositions de différents coefficients granulaires.

Tableau 3.1 : Résultats de la résistance à la compression (méthode de faury avec $G/S = 1.37$)

| Age (j) | 7 | 14 | 21 | 28 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| Rc1 (MPa) | 35.075 | 35.349 | 33.366 | 34.171 |
| Rc2(MPa) | 28.013 | 31.517 | 33.942 | 33.38 |
| Rc3(MPa) | 31.455 | 30.021 | 31.582 | 36.273 |
| Rc moy | 33.265 | 33.433 | 33.654 | 35.222 |

Figure 3.6 : Résistance à la compression du béton (méthode de Faury avec un coefficient $G/S=1.37$) en fonction d'âge

D'après les résultats présentés dans le tableau 3.1 et la figure 3.6, nous observons que la résistance à la compression du béton formulé par la méthode de Faury avec un coefficient granulaire égale à 1,37, présente une résistance de 35,22 MPa à 28 jours, ce résultat est très significatif comparativement à la plage de résistance réservé au béton classique, qui se situe entre les deux limites à savoir 20 MPa et 40 MPa.

Tableau 3.2: Résultats de la résistance à la compression (Méthode de Faury avec $G/S=1.7$)

| Age (j) | 7 | 14 | 21 | 28 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| Rc1(MPa) | 15.987 | 13.872 | 16.986 | 20.876 |
| Rc2(MPa) | 16.098 | 16.543 | 19.54 | 21.987 |
| Rc3(MPa) | 15.776 | 16.654 | 19.598 | 23.932 |
| Rc moy(MPa) | 15.882 | 16.598 | 19.326 | 22.959 |

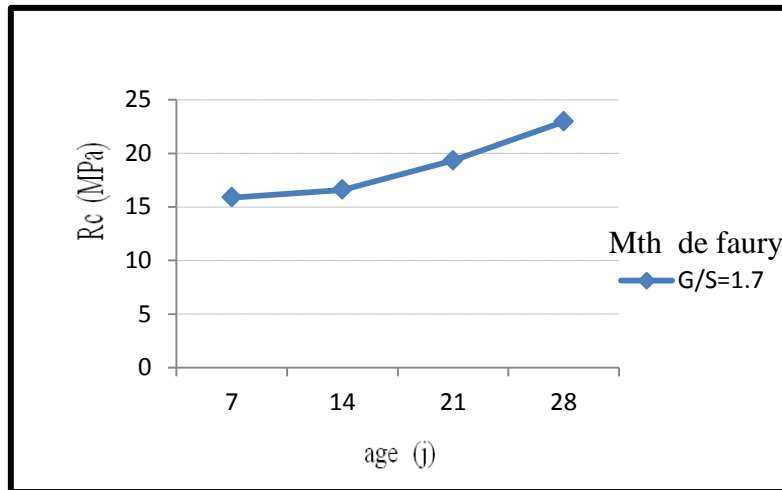


Figure 3.7 : Résistance à la compression du béton (méthode de Faury avec un coefficient $G/S=1.7$) en fonction d'âge

Nous remarquons que les résultats obtenus par le tableau 3.2 et la figure 3.7 présente les résistances à la compression du béton formulé par la méthode de Faury avec un coefficient granulaire égal à 1,7, une résistance à la compression à 28 jours de l'ordre de 22,95 MPa.

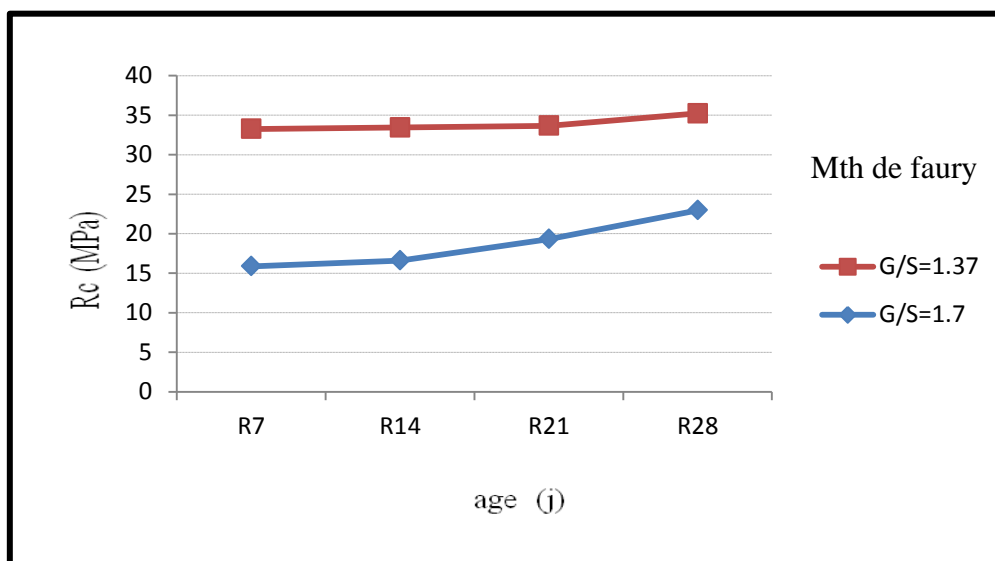


Figure 3.8: Résistance à la compression des bétons formulés (méthode de Faury) avec différent G/S en fonction d'âge

La figure 3.8 montre que les résultats trouvés permettent d'observer que la résistance à la compression diminue d'autant plus que le coefficient G/S est élevé, alors la deuxième composition de $G/S = 1,7$ présente une diminution à 28 jour de l'ordre de 34,81 % par rapport à la première composition qu'ayant un rapport granulaire $G/S = 1,37$.

3.4.2. Formulation du béton par la méthode de Dreux-Gorisse

D'après la formulation de la méthode de Dreux-Gorisse, les tableaux et les figures ci-dessous présente les résultats trouver par la résistance à la compression du béton avec les deux compositions de différents coefficients granulaires.

Tableau 3.3 : Résultats de la résistance à la compression
(méthode de Dreux-Gorisse avec $G/S=1.48$)

| Age (j) | 7 | 14 | 21 | 28 |
|--------------|---------|--------|--------|--------|
| Rc1(MPa) | 23.799 | 27.195 | 30.657 | 31.987 |
| Rc2(MPa) | 25.348 | 30.843 | 30.245 | 31.389 |
| Rc3(MPa) | 22.304 | 30.323 | 27.97 | 30.867 |
| Rc moy (MPa) | 24.5735 | 30.583 | 30.446 | 31.688 |

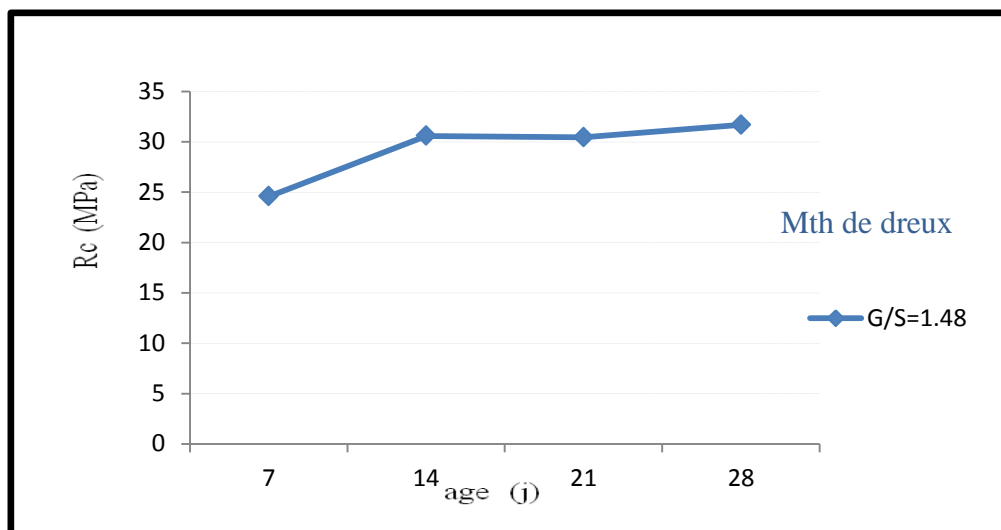


Figure 3.9: Résistance à la compression
(méthode de Dreux-Gorisse avec coefficient $G/S= 1.48$) en fonction d'âge

D'après la figure 3.9 et le tableau 3. 3 nous remarquons que la formulation par la méthode de Dreux-Gorisse ayant un coefficient granulaire égal à 1.48, présente une résistance à la compression de 31,68 MPa à 28 jours. on peut dire que cette résistance est acceptable du fait que la résistance souhaité est de 25 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 28.75 MPa. qui est bien inférieure à celle trouvée à l'aide de l'expérimentation.

Tableau 3.4: Résultats de la résistance à la compression ($G/S=1.7$)

| Age (j) | 7 | 14 | 21 | 28 |
|--------------|------|-------|------|------|
| Rc1(MPa) | 6.99 | 6.03 | 6.88 | 8.21 |
| Rc2(MPa) | 6.88 | 6.99 | 6.10 | 9.95 |
| Rc3(MPa) | 7.34 | 10.10 | 7.96 | 9.10 |
| Rc moy (MPa) | 6.94 | 6.51 | 7.42 | 9.48 |

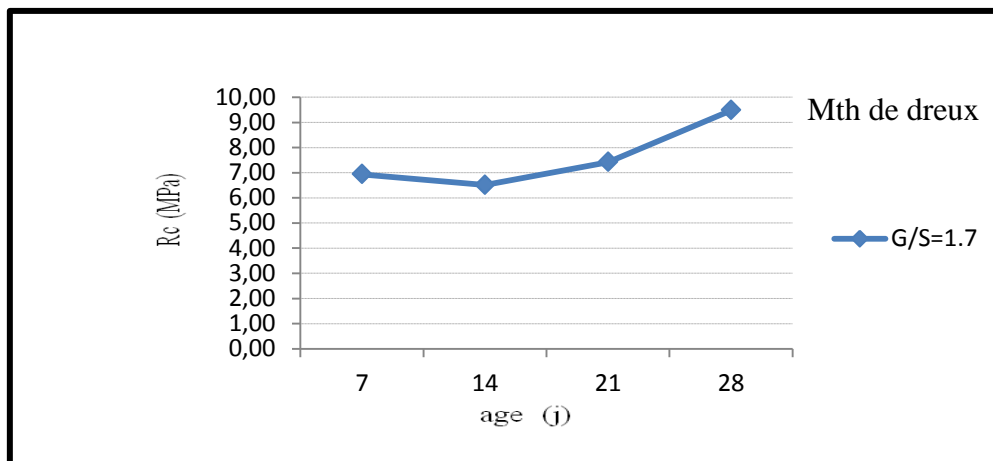


Figure 3.10 : Résistance à la compression

(méthode de Dreux-Gorisse avec un coefficient $G/S = 1.7$) en fonction d'âge

La figure 3.9 montre la résistance à la compression du béton à 7, 14, 21 et 28 jours avec l'utilisation d'un coefficient granulaire égal à 1.7, dans la formulation par la méthode de Dreux-Gorisse, nous avons obtenus une résistance à 28 jours de l'ordre de 9.48 MPa. Cette diminution de la résistance est très significative.

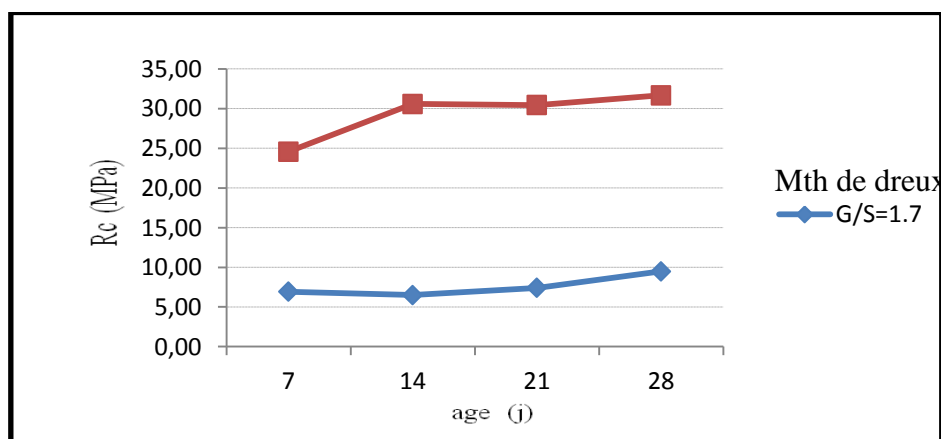


Figure 3.11 : Résistance à la compression des bétons (méthode de Dreux-Gorisse) avec différent G/S en fonction d'âge

Nous remarquons d'après la figure 3.11 que la résistance à la compression trouvée par la formulation de la méthode de Dreux-Gorisse ayant un coefficient granulaire $G/S = 1.48$ est nettement supérieure par rapport à celle ayant le rapport de $G/S = 1.7$, où ce dernier affiche une diminution de l'ordre de 70.07% par rapport au premier.

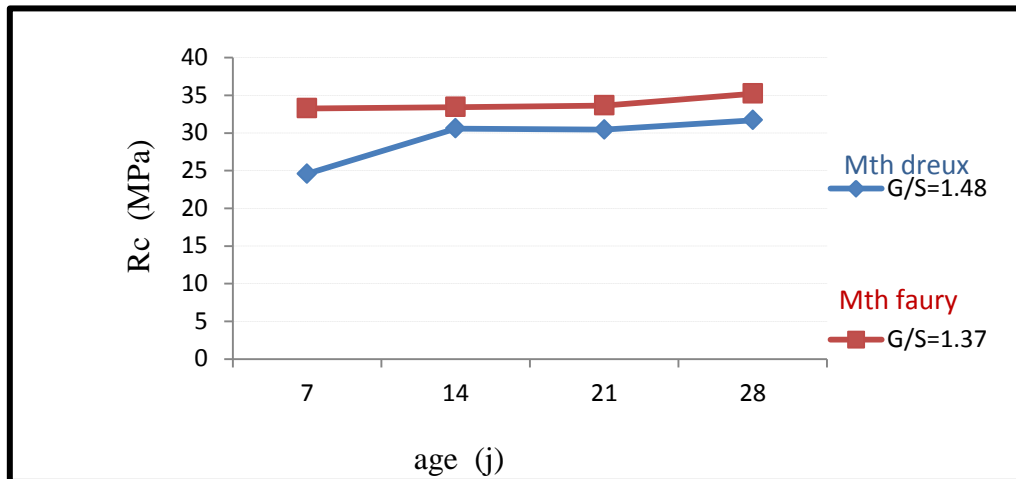


Figure 3.12: Résistance à la compression des bétons (méthode de Dreux-Gorisse et méthode de Faury) avec différent G/S en fonction d'âge

La figure 3.12 présente la résistance à la compression du béton trouvée par la formulation de la méthode de Dreux-Gorisse et de la méthode de faury de différents coefficients granulaires, Alors on observe que les résistances obtenues par formulation de la méthode de faury de coefficient granulaire égal à 1.37 sont élevées par rapport à la méthode de Dreux-Gorisse de l'ordre de 10%.

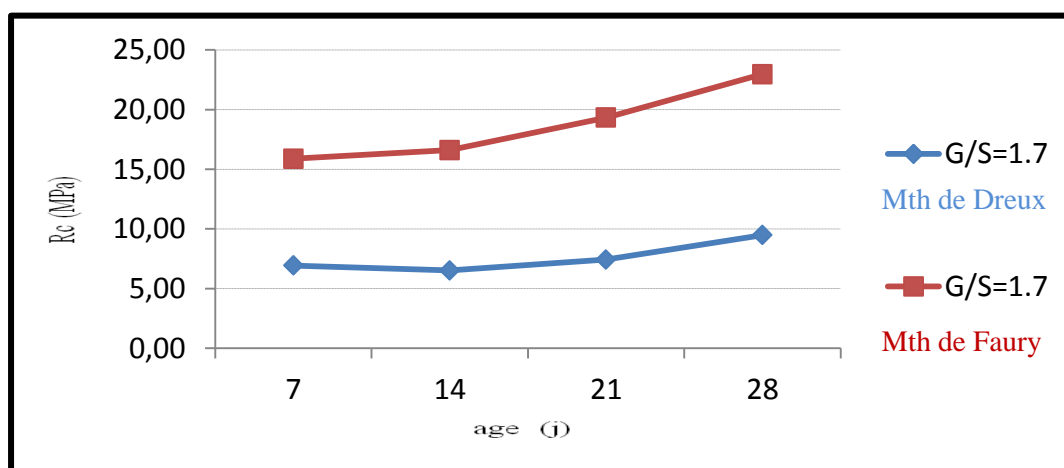


Figure 3.13: Résistance à la compression des bétons

(méthode de Dreux-Gorisse et méthode de Faury) avec le même G/S en fonction d'âge

La figure 3.13 présente la résistance à la compression des bétons réalisés par les deux méthodes de formulation à savoir la méthode de Dreux-Gorisse et celle de Faury, en utilisant le même coefficient granulaire $G/S=1.7$, les résultats obtenus montre que la résistance du béton confectionné à l'aide de la méthode de Faury présente un résultat meilleur par rapport au béton réalisé par la méthode de Dreux-Gorisse. Cette augmentation est de l'ordre de 58.71%. Ce résultat est peut être due à la différence de la structure granulaire.

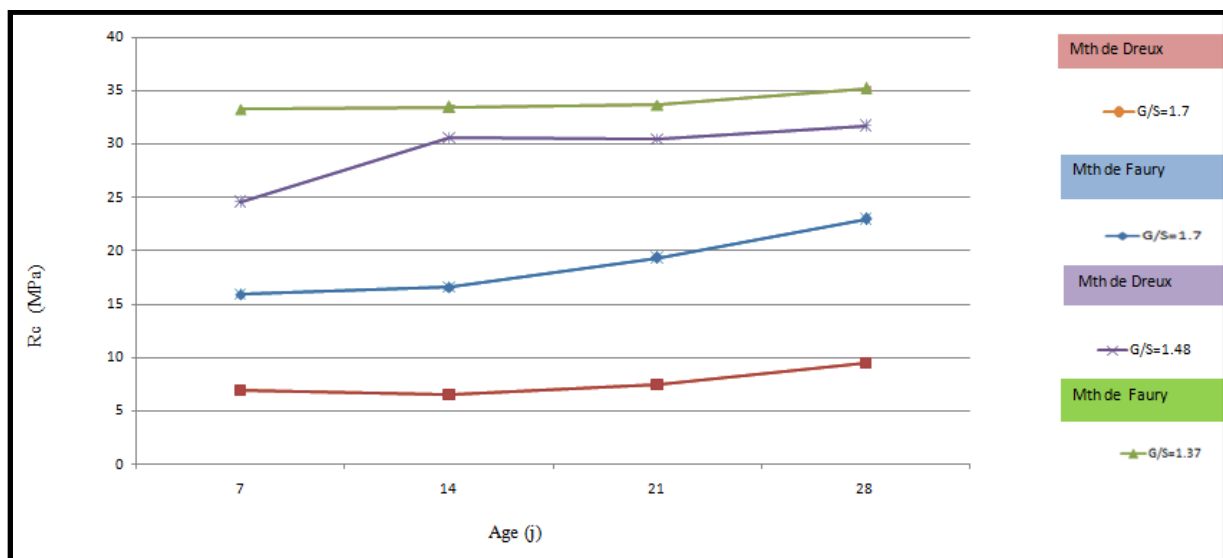


Figure 3.14: Résistance à la compression des bétons (méthode de Dreux-Gorisse et méthode de Faury) avec différents G/S en fonction d'âge

La figure 3.14 nous représente la résistance à la compression des bétons formulés par la méthode de Faury et la méthode de Dreux-Gorisse, avec différents coefficients granulaires, où nous remarquons que la meilleure résistance à la compression du béton est obtenue par la formulation de la méthode de Faury avec un coefficient granulaire égal à 1.37 ce résultat est de l'ordre de 35.22 MPa au-delà une résistance de 31,68 MPa du béton formulé par la méthode de Dreux-Gorisse avec un coefficient 1.48 par la suite une résistance de l'ordre de 22.95 MPa du béton formulé par la méthode de Faury avec un coefficient de 1.7, dernièrement une résistance égal à 9.48 MPa de la formulation de la méthode de Dreux-Gorisse avec un coefficient granulaire égal à 1.7.

Cette diminution est probablement due au squelette granulaire du mélange du fait que le rapport G/S a augmenté ce qui favorise le manque d'enrobage du gravier par la pâte de ciment. Peut être à cause de la répartition du gravier dans le mélange du béton dans l'éprouvette.

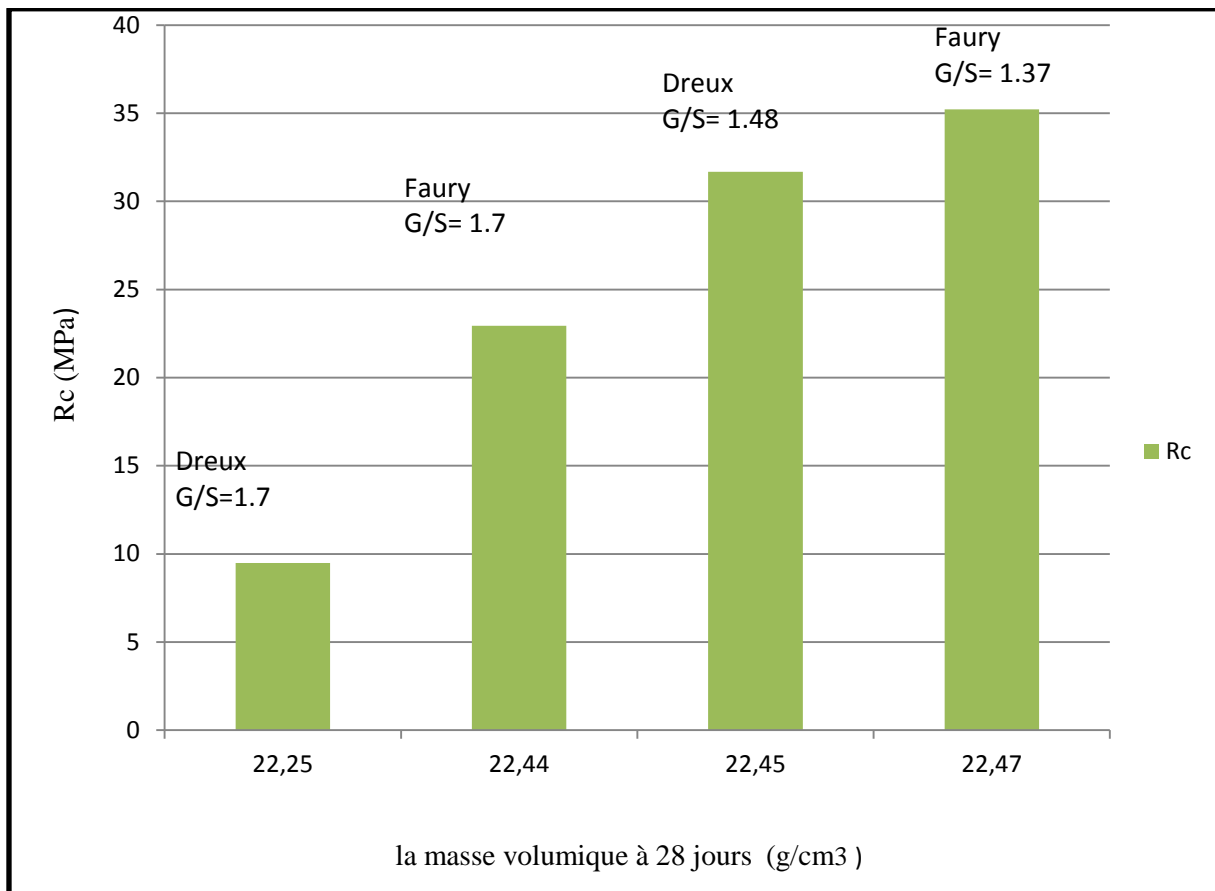



Figure 3.15 : Résistance à la compression des bétons (méthode de Dreux-Gorisse et de Faury) avec différents G/S en fonction de la masse volumique .

D'après la figure 3.15 qui présente la résistance à la compression du béton formulé par la méthode de Dreux-Gorisse et la méthode de Faury avec différents coefficients granulaires en fonction de la masse volumique à 28 jours, nous remarquons que la résistance est en croissance en fonction de la masse volumique 9.48 MPa à 35.22 MPa de l'ordre de 22.25 g/m³ à 22.47 g/m³.

3.5 Conclusion

Ce chapitre renferme l'ensemble des résultats expérimentaux sur les deux méthodes de formulation du béton afin de répondre sur la question si oui ou non la méthode de formulation influe sur la résistance à la compression du béton.

Les résultats trouvés montre qu'il ya pas une grande différence entre les résultats de la résistance à la compression du béton formulé par la méthode de Dreux-Gorisse qui est de l'ordre de 10% de diminution par rapport à la méthode de Faury.



**Conclusion
Générale et
Recommandations**

Conclusion générale

L'obtention d'un bon béton est basée sur la qualité des constituants et leur dosage dans le mélange, pour cela cette étude est effectuée pour voir l'influence de l'application de deux méthodes de formulation, méthode de Faury et méthode de Dreux-Gorisse.

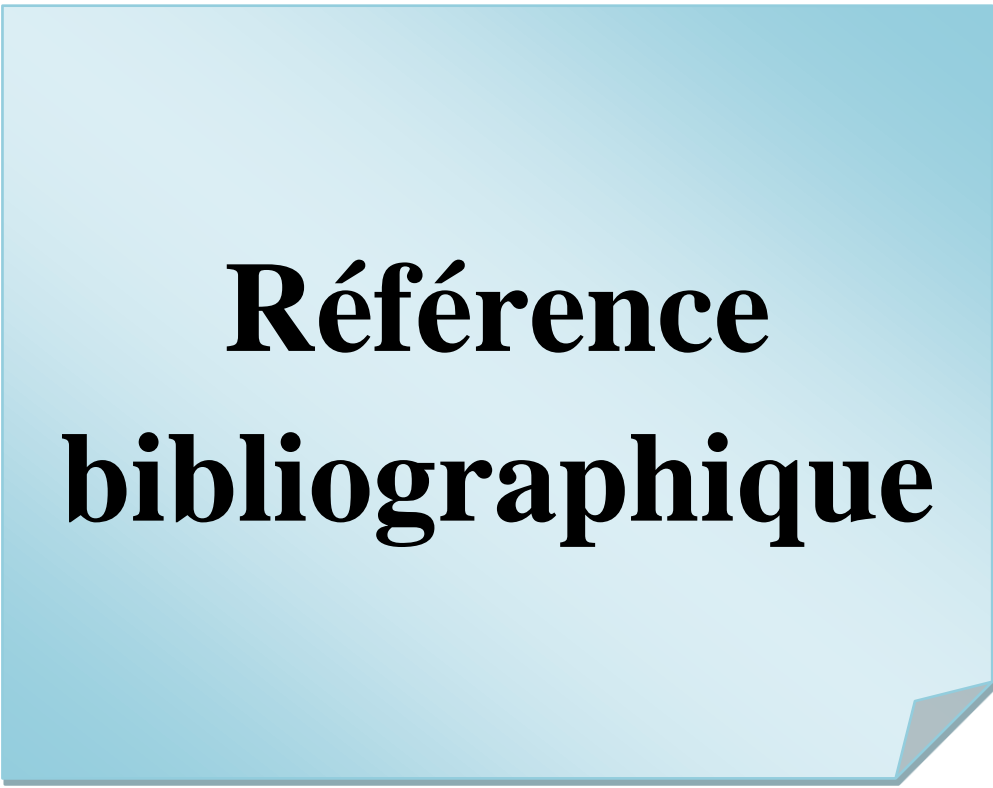
D'après les résultats présentés dans ce travail, nous observons que la résistance à la compression des bétons formulés par la méthode de Faury et la méthode de Dreux-Gorisse, avec différents coefficients granulaires, la résistance à la compression obtenue par l'utilisation de la formule de Faury avec un coefficient granulaire égal à 1.37 de l'ordre de 35.22 MPa est supérieure à celle trouvée par la méthode de dreux-Gorisse avec un coefficient 1.48, cette résistance est de 31,68 MPa, avec l'utilisation d'un coefficient granulaire de 1.7, en appliquant de nouveau la méthode de Faury nous avons obtenus une résistance à la compression égale à 22 .95MPa supérieur à celle obtenue dans les mêmes conditions, c'est-à-dire avec un coefficient granulaire de 1.7 en utilisant de nouveau la méthode se Deux-Grorisse en obtenant une résistance de 9.48 MPa. La diminution de la résistance à la compression est probablement due au squelette granulaire du mélange du fait que le rapport G/S a augmenté ce qui favorise le manque d'enrobage du gravier par la pate de ciment. Peut être aussi à cause de la répartition du gravier au sein du mélange.

D'après l'ensemble des résultats expérimentaux sur les deux méthodes de formulation du béton, on peut conclure qu'il n'y a pas une grande différence entre les résultats de la résistance à la compression du béton formulé par la méthode de Dreux-Gorisse qui est de l'ordre de 10% de diminution par rapport à la méthode de Faury, cependant il faut indiquer qu'il y'a une économisation de la quantité de gravier égale à 36% et 32% par la méthode de Faury avec le coefficient granulaire de 1,37 et 1,7.

Recommandations

➤ Pour voir l'influence de ces méthodes sur le comportement du béton, il est préférable d'évaluer d'autres propriétés mécaniques, comme l'étude de retrait et le fluage sur le béton étudié.

- Afin d'obtenir une résistance à la compression considérable, on propose de faire une étude comparative de la résistance à la compression du béton formulé avec différents coefficients granulaires de $G/S = 1.8$ à 2.0 , selon le DTR B.E.21.
- Etude de l'influence de rapport sable/ciment sur ces méthodes.
- Pour assurer l'homogénéité du mélange (bon malaxage), il est recommandé d'utiliser un malaxeur.



**Référence
bibliographique**

Références

- [1] Gilles Chanvillard. Concepts avancés de formulation des bétons basés sur la science des matériaux, Article de doctorat.
- [2] John Wiley and Sons, Taylor F, Thompson S, 1912. A treatise on concrete plain and reinforced, New York.
- [3] Feret R. la compacité des mortiers hydrauliques, Annales des Ponts et Chaussées, Série 7, vol. 4, 1893, pp. 5-164.
- [4] Andreasen A.H.M., Andersen J. Uber die beziehung zwischen kornabstufung und zwischenraum in produkten aus losen kornern, Kolloid Z. 50, 1930, p.217-228 .
- [5] Dinger D.R., Funk J.E.: Particle Packing – II .Review of packing of polydisperse particle systems, Interceram, 41, 1992, p.95-97.
- [6] John Wiley and Sons, Powers T.-C 1968. The properties of fresh concret, New York
- [7] Baron J, Lesage R. Décembre 1976. La composition du béton hydraulique, du laboratoire au chantier, Rapport de recherche des laboratoires des Ponts et Chaussées 64.
- [8] Sidi Mohammed El Amine BOUKLI HACENE. la contribution a l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemcen. Thèse de doctorat
- [9] Granulats- Définitions, conformité, spécifications , indice de classement P 18-540.
- [10] petrov.n avril 2003 .effets combinés de différents facteurs sur l'expansion des bétons causée par la formation différée de l'étringite, Thèse de doctorat à l'Université Sherbrooke Canada.
- [11] Baron.J et Sauterey.R, 1982 .Le béton hydraulique Connaissances et Pratique, Presses de l'école des ponts et chaussées, sous la direction de Jacques Baron et Raymond Sauterey
- [12] Chanvillard. G, 1999. Connaissances générale sur le matériau béton, Ed. Aléas
- [13] CIM béton, 2000. Construire avec les bétons, Ed du Moniteur.
- [14] Dreux.G et Festa.J.1998. Nouveaux guide du béton et de ces constituants,
- [15] BaCaRa Projet Français, 1996. Le béton compacté au rouleau, Presses de l'Ecole-, Nationale des Ponts et Chaussées, Ed.Eyrolles France.
- [16] Aitcin .P.C, 2001 Ed. Eyrolles. Bétons haute performance.
- [17] Bresson.J,1980. Prévission des résistances, facteur de maturité, temps équivalent, Journée d'étude ITBTP du 15 novembre 1979 ;durcissement accéléré des bétons,Paris ,AnnInst.Tech. Batim.Trav.publics, 1980,387, 106-111.

- [18] Poitrat.E ,2004: Biocarburants, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique, BE 8550.
- [19] Cormon.P 1973. Bétons légers d'aujourd'hui, Ed. Eyrolles,Paris.
- [20] CIM béton ,2000.Le ciment et ses applications, Fiches techniques.
- [21] Richard et Cheyrezy.M 1995.Les bétons de poudres réactives, Annales ITBTP. Série béton 320
- [22] Dupain.R, Lanchon.R et Saint-Arroman.J.C, 1995.Granulats, sols, ciments et bétons, Ed Educavivre, 276p Paris.
- [23]De Larrard 2000. Structures granulaires et formulation des bétons, traduit de l'anglais par LECOMTE A, études et recherches des laboratoires des ponts et chaussées, Paris, 414 p.
- [24] Dupain, 2000, Lanchon,Saint-Arroman.
- [25] DE LARRARD F, BELLOC A (1999). L'influence du granulat sur la résistance à la compression des bétons. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, N°219, Janvier Février, pp.41-52.
- [26] BOUTIBA Aldjia. Accélération du durcissement par énergies renouvelables du béton frais et caractérisation du béton durci. Mémoire de magister.

Normes

- XPP 18-540: AFNOR Les granulats, spécifications, Définitions, konformste, 01 XPP 18-540 ;10/1997
- INF EN 197-1: AFNOR,Partie 1 : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants ; 05/02/2001
- EN 196-1, Partie 1: Determinaton des résistances mécaniques, ciment 20/08/1995
- NF EN 1008 eau d gâchage :Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton,telle que l'eau de gâchage pour béton, 05/07/2003
- NF EN 206-1 : béton léger Partie 1: Spécification, performances, production et conformité, 05/02/2002.
- NF P 18-560 L'analyse granulométrique : Analyse granulométrique par tamisage, 09/1990
- NF P 18 304 module de finesse
- NF P 94-061 La masse volumique absolue et apparente :détermination de la masse volumique d'un matériau en place Partie 1: Méthode au gammadensimètre à pointe (à transmission directe, 05/10/1996
- NF P 18-597 Equivalent de sable : Détermination de la propreté des sables : équivalent de sable à 10 % de fines
- NF P18-541 Critères de qualification des granulats naturels pour béton hydraulique

- NF EN 12620 granulats pour béton
- NFP18-555 Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables
- NF P 18-451 12/1981 l'essai d'affaissement Essai d'affaissement
- NF P 18-422. Mise en place par aiguille vibrante
- NF P 18-404. Essais d'étude, de convenance et de contrôle; Confection et conservation des éprouvettes
- NF EN 12390-4 Partie 4: Résistance en compression—Caractéristiques des machines d'essai

Annexes

ANNEXES

Annex1 : Exigences mécaniques définies en termes de valeur caractéristiques

| Classe de résistance | Résistance à la compression (MPa) | | | |
|----------------------|-----------------------------------|-------------|---------------------|-------------|
| | Résistance à court terme | | Résistance courante | |
| | 2 jours | 7 jours | 28 jours | |
| 32,5 N | — | $\geq 16,0$ | $\geq 32,5$ | $\leq 52,5$ |
| 32,5 R | $\geq 10,0$ | — | | |
| 42,5 N | $\geq 10,0$ | — | $\geq 42,5$ | $\leq 62,5$ |
| 42,5 R | $\geq 20,0$ | — | | |
| 52,5 N | $\geq 20,0$ | — | $\geq 52,5$ | — |
| 52,5 R | $\geq 30,0$ | — | | |

Annexe 2 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire

| Qualité des granulats | Dimension D des granulats | | |
|-----------------------|---------------------------|---------------|----------|
| | D ≤ 16mm | 25 ≤ D ≤ 40mm | D ≥ 63mm |
| Excellente | 0.55 | 0.60 | 0.65 |
| Bonne, courante | 0.45 | 0.50 | 0.55 |
| Passable | 0.35 | 0.40 | 0.45 |

Annexe3: Valeur du terme correcteur K [Dreux et Festa, 1998]

| 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 |

Annexe 4 : (γ) Coefficient de compacité du béton

| 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 |

Annexe 5 : Les valeurs d'équivalent de sable d'après F. GORISSE. F. « Essais et contrôle des bétons » P200 édition Eyrolles1978.

| ES à vue | ES au piston | Nature et qualité du sable |
|-------------------|-------------------|---|
| ES <65 | ES <60 | Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité. |
| $65 \leq ES < 75$ | $60 \leq ES < 70$ | Sable légèrement argileux de propreté admissible pour béton de qualité courante et on ne craint pas particulièrement le retrait. |
| $75 \leq ES < 85$ | $70 \leq ES < 80$ | Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité. |
| ES \geq 85 | ES \geq 80 | Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses, risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau. |

Annexe 6 : Le ciment utilisé est un CPJ – CEM II/B 42.5 en provenance de la cimenterie de Biskra

MATINE
Ciment pour béton exigeant
CEM II/B 42,5 N NA 442



FICHE TECHNIQUE

Réf : DC/FT MT. v03

Analyses et caractérisation

Analyses chimiques

| | |
|--|--------------|
| Perte au feu (%), (NA 5042): | 7,50 – 12,00 |
| Résidus insolubles (%), (NA 5042): | 0,7 – 2,00 |
| Teneur en sulfates SO ₃ (%), (NA 5042): | 2,00 – 2,70 |
| Teneur en oxyde de magnésium MgO (%): | 1,00 – 2,20 |
| Teneur en chlorures (%), (NA 5042): | 0,01 – 0,05 |
| Teneur équivalent en alcalis (%): | 0,3 – 0,75 |

Composition hypothétique du clinker (Bogue)

| | |
|---|---------------|
| Silicates tricalciques C ₃ S (%): | 58 - 64 |
| Silicates bicalciques C ₂ S (%): | 12 - 18 |
| Aluminates tricalciques C ₃ A (%): | 6,00 – 8,00 |
| Aluminoferrites tetracalciques C ₄ AF (%): | 10,00 – 12,00 |

Propriétés physiques

| | |
|--|-------------|
| Consistance normale de la pâte de ciment (%): | 25 – 28,50 |
| Finesse suivant la méthode de Blaine (NA 231): | 4150 – 5250 |
| Retrait à 28 jours en µm/m | <1 000 |
| Expansion en mm | 0,3 – 2,5 |

Temps de prise à 20°C (NA 230)

| | |
|----------------------|-----------|
| Début de prise (min) | 140 - 195 |
| Fin de prise (min) | 195 - 290 |

Résistance à la compression (NA 234)

| | |
|----------------|--------|
| 02 jours (MPa) | ≥ 10,0 |
| 28 jours (MPa) | ≥ 42,5 |

Algerian Cement Company (SPA)

Hamtram: Dala, Msila (ACC)
Tel: +213 35 50 78 20
Fax: +213 35 50 70 30

Direction générale

33, Rue des Pina, Hydra, Alger
Tél: +213 (0) 21 48 16 65
Fax: +213 (0) 21 48 10 71

Ciment Blanc Algérie (SPA)

Usine Ojjar (CBA)
BP 57, 20250, Mascara
Tél. / Fax: +213 (0) 40 04 66 50

LAFARGE
لافارج



**ESSAI POUR BETON DURCI RESISTANCE
A LA TRACTION DES EPROUVETTES
SELON NF EN 12390-6**

BETON

Procès-verbal N°

Ciment biskra

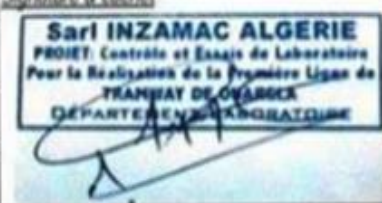
SARL INZAMAC ALGERIE - Lot 779 Ouled Bechouj - BP 159 - Saoula Alger - CP 16305 / - Tél/Fax: 021 30 97 30 - Mail: inzamac.algerie@inzamac.com

| | | | | | |
|---------------|-------------------------------------|-----------|--|---------------------|---|
| Client : | GROUPEMENT TRAMWAY OUARGLA | | | Référence matériels | |
| Projet : | Tramway ouargla | | | Presse: | 1 |
| Ouvrage : | Plateforme | Séquence: | | Ruban: | |
| Position: | | | | | |
| Batiment: | | | | | |
| Elément: | | | | | |
| Observations: | Essai de convenance (ciment biskra) | | | | |

Type de Béton : C30/37 XA1 D25 HMD S3 CPJ

| | | | | |
|--|---|------------------------------------|---------------|--------|
| Bon de livraison N° : | 23852 | Composition du béton | | |
| Type des éprouvettes : | Cubique 15*15*15 | | | |
| Prélèvement effectué par : | INZAMAC | Constituant | Provenance | Dosage |
| Nombre d'éprouvettes prélevées : | 15 | Gravier 15/25 (kg/m ³) | HASSI | 300 |
| Affaissement (cm) : | 12,0 | Gravier 8/15 (kg/m ³) | HASSI | 408 |
| Température du béton (°C): | 30,2 | Gravier 3/8 (kg/m ³) | HASSI | 278 |
| Mode de vibration : | | Sable 1 0/3 (kg/m ³) | * | 0 |
| Piquage <input checked="" type="checkbox"/> vibreur <input type="checkbox"/> | | Sable 0/2 (kg/m ³) | Laghouat | 925 |
| Schéma de la rupture d'éprouvette : |  | Ciment (kg/m ³) | ciment biskra | 350 |
| | | Eau (litre) | | 150 |
| | | Adjuvant 01 (%) | GLENUM 114 | 1,14 |
| | | Adjuvant 02 (%) | | |

| N° | Date de | Date | Age | Poids | Masse vol. | Charge | Résistance (Mpa) | RC Moyenne (Mpa) | Schéma |
|-------------|------------|------------|---------|-------|---------------------|--------|------------------|------------------|--------|
| Echantillon | Coulage | D'essai | (jours) | (g) | (T/m ³) | (KN) | | | |
| 1 | 22/08/2016 | 19/09/2016 | 28 | 7830 | 2.32 | 150 | 6,67 | 5,9 | 1 |
| 1 | | | | 7841 | 2.33 | 125 | 5,56 | | 1 |
| 1 | | | | 7893 | 2.34 | 125 | 5,56 | | 1 |

| | | | | |
|---------------------|-----------|---------------------------|-----------|--|
| Essai réalisé par : | | Vérifié et approuvé par : | | Signature & cachet  |
| Nom: | ZIOUECHE | Nom: | omari | |
| Prénom: | RYAD | Prénom: | billal | |
| Qualité | OPERATEUR | Qualité | Ingénieur | |



**ESSAI POUR BETON DURCI RESISTANCE
A LA COMPRESSION DES EPROUVETTES
SELON NF EN 12390-3**

BETON

Procès-verbal N°

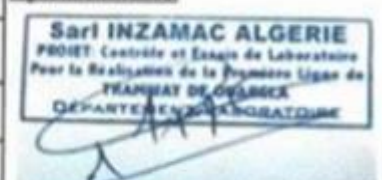
Ciment Biskra

| | | | | | | | |
|----------------|-------------------------------------|------------|--|---------------------|---|-----------|---|
| Client : | GROUPEMENT TRAMWAY OUARGLA | | | Référence matériels | | | |
| Projet : | Tramway ouargla | | | Presse : | 1 | Balance : | 1 |
| Ouvrage : | Plateforme | Séquence : | | Ruban : | | Planche : | |
| Position : | | | | | | | |
| Batiment : | | | | | | | |
| Element : | | | | | | | |
| Observations : | Essai de convenance (ciment biskra) | | | | | | |

Type de Béton : C30/37 XA1 D25 HMD S3 CPJ

| | | | | |
|---|------------------|------------------------------------|---------------|--------|
| Bon de livraison N° : | 23852 | Composition du béton | | |
| Type des éprouvettes : | Cubique 15*15*15 | | | |
| Prélèvement effectué par : | INZAMAC | Constituant | Provenance | Dosage |
| Nombre d'éprouvettes prélevées : | 15 | Gravier 15/25 (kg/m ³) | HASSI | 300 |
| Affaissement (cm) : | 12,0 | Gravier 8/15 (kg/m ³) | HASSI | 406 |
| Température du béton (°C) : | 30,2 | Gravier 3/8 (kg/m ³) | HASSI | 276 |
| Mode de vibration : | | Sable 1 0/3 (kg/m ³) | * | 0 |
| Piquage <input checked="" type="checkbox"/> vibreur <input type="checkbox"/> | | Sable 0/2 (kg/m ³) | Laghouat | 925 |
| Schéma de la rupture d'éprouvette : | | Ciment (kg/m ³) | ciment biskra | 350 |
|     | | Eau (Litre) | | 150 |
| | | Adjuvant 01 (%) | GLENIUM 27 | 1,14 |
| | | Adjuvant 02 (%) | | ** |

| N° | Date de | Date | Age | Poids | Masse vol. | Charge | Résistance (Mpa) | RC Moyenne (Mpa) | Schéma |
|-------------|------------|------------|---------|-------|------------|--------|------------------|------------------|--------|
| Echantillon | Coulage | D'essai | (jours) | (g) | (T/m3) | (KN) | | | |
| 1 | 22/08/2016 | 25/08/2016 | 3 | 7784 | 2.31 | 747 | 33,20 | 33,5 | 1 |
| 1 | | | | 7797 | 2.31 | 745 | 33,11 | | 1 |
| 1 | | | | 7834 | 2.32 | 772 | 34,31 | | 1 |
| 2 | | 29/08/2016 | 7 | 7838 | 2.33 | 1004 | 44,62 | 44,7 | 1 |
| 2 | | | | 7834 | 2.32 | 997 | 44,31 | | 1 |
| 2 | | | | 7869 | 2.34 | 1018 | 45,24 | | 1 |
| 4 | | 19/09/2016 | 28 | 7885 | 2.34 | 1247 | 55,42 | 55,1 | 1 |
| 4 | | | | 7873 | 2.34 | 1219 | 54,18 | | 1 |
| 4 | | | | 7884 | 2.34 | 1256 | 55,82 | | 1 |

| | | | | |
|---------------------|-----------|---------------------------|-----------|---|
| Essai réalisé par : | | Vérifié et approuvé par : | | Signature & cachet  |
| Nom: | ZIOUECHE | Nom: | omari | |
| Prénom: | RYAD | Prénom: | billal | |
| Qualité | OPERATEUR | Qualité | Ingénieur | |

SARI INZAMAC ALGERIE - Lot 779 Ouled Beuhdi - BP 159 - Soukha Alger - CP 16305 / Tél/Fax: 021 30 97 10 - Mail: inzamac.algerie@inzamac.com

Département Contrôle Qualité & Carrière .

Service Support Technique Clientèles

CERTIFICAT DE QUALITE

Date de Prélèvement : 29-Jul-16

Type du Ciment : Ciment Portland au Calcaire NA 442 - CEM II / B-L 42,5

Matine

CARACTERISTIQUES PHYSICO- CHIMIQUES DU CIMENT

| Caractéristiques | Normes | Resultats | Unité |
|---|---------|-----------|--------------------|
| SiO ₂ | NA 5042 | 18,88 | % |
| Al ₂ O ₃ | | 4,36 | % |
| Fe ₂ O ₃ | | 3,10 | % |
| CaO | | 62,23 | % |
| K ₂ O | | 0,58 | % |
| | | | |
| Perte au feu "PAF" | NA 5042 | 6,50 | % |
| Teneur en oxyde de Magnésium (MgO) | | 1,43 | % |
| Teneur en anhydrite sulfurique (SO ₃) | NA 5042 | 2,70 | % |
| Chlorure | NA5042 | 0,030 | % |
| Finesse Blaine (cm ² /g) | NA231 | 4200 | cm ² /g |
| Début du Temps de Prise (min) | NA230 | 200 | min |
| Fin du Temps de Prise (min) | | 245 | min |
| Expansion "Le Chatelier" (mm) | NA230 | 1,00 | mm |

RESISTANCE A LA COMPRESSION SUR MORTIER

| Échéances | Normes | Resultats | Unité |
|-----------------|--------|-----------|-------|
| 2 Jours en MPa | NA234 | 24,00 | MPa |
| 7 Jours en MPa | | 36,50 | |
| 28 Jours en MPa | | | |

Annexe 7 : l'analyse chimique d'eau de gâchage

| Composants | Unité | Valeurs (eau de robinet) |
|---|-------|--------------------------|
| Ph | - | 7,5 |
| K ⁺ | mg/l | 25 |
| chlorures (Cl ⁻) | mg/l | 795,2 |
| NaCl | mg/l | 1310,4 |
| sulfates (SO ₄ ⁻²) | mg/l | 818,57 |
| CO ₃ ⁻² | mg/l | - |
| HCO ₃ ⁻ | mg/l | 97 |
| calcium (Ca ⁺²) | mg/l | 264,53 |
| magnésium (Mg ⁺²) | mg/l | 106,92 |
| oxyde de carbone | mg/l | - |
| Conductivité | ms/cm | 4,560 |
| NO ₃ ⁻ | mg/l | 13 |

Annexe 8 : Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône)

